

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando
el método PCI en la carretera Pasco – Yanahuanca 2022**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Christian Juan SOLIS BAUTISTA

Asesor:

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando
el método PCI en la carretera Pasco – Yanahuanca 2022**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Ramiro SIUCE BONIFACIO
PRESIDENTE

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO
MIEMBRO

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 103-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles
utilizando el método PCI en la carretera Pasco – Yanahuanca 2022**

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. SOLIS BAUTISTA, Christian Juan

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. REQUIS CARBAJAL, Luis Villar

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería Civil

Índice de Similitud

2 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 5 de abril del 2024



Firmado digitalmente por M.C./IA.
CARRIÓN, Reynaldo FAU
20154605046.d08
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05.05.2024 09:12:05 -05:00

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Betty,
mis hermanos Anais y Jhon que,
con su apoyo, amor y confianza
que solo una familia puede
brindar en todo momento.

Agradecer a mis padres por la formación,
carácter, principios y responsabilidad
con la cual fui educado y pueda lograr
cumplir mis objetivos que demuestro
en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Agradecer también a los docentes de la universidad Daniel Alcides Carrión por todas sus enseñanzas, pautas y consejos brindados para poder lograr ser no solo un gran profesional sino también una gran persona. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

RESUMEN

El mantenimiento adecuado de los pavimentos flexibles en las carreteras es fundamental para garantizar la durabilidad, la seguridad y la eficiencia de las vías de comunicación. En el caso específico de la carretera Pasco - Yanahuanca, se han observado diversas fallas en los pavimentos flexibles, lo que ha llevado a la necesidad de encontrar estrategias efectivas de mantenimiento que permitan mitigar estas fallas y mejorar la condición general de la vía. En este capítulo, se presenta el marco teórico que sustenta la investigación. Se explorarán estudios anteriores relacionados con el mantenimiento de pavimentos flexibles y el uso del método PCI como herramienta de evaluación. Se revisarán las estrategias de mantenimiento utilizadas en otras carreteras similares, así como las causas y factores que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles. Además, se analizará el impacto del clima en la degradación de los pavimentos y se identificarán las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento. En este capítulo, se describe la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación. Se explicarán las técnicas de recolección de datos, como la observación, las entrevistas y los cuestionarios, así como los instrumentos utilizados, como el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Además, se detallará el diseño de investigación, el tamaño y la selección de la muestra, y se describirán las técnicas de procesamiento y análisis de datos utilizadas. En este capítulo, se presentarán y analizarán los resultados obtenidos a partir del procesamiento y análisis de los datos recopilados. Se mostrarán los hallazgos relacionados con las estrategias de mantenimiento más efectivas, la clasificación de severidad de las fallas, las principales causas de fallas, el impacto del clima y las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca. En este último capítulo, se presentarán las conclusiones derivadas de los resultados

obtenidos y se formularán recomendaciones prácticas para mejorar el mantenimiento de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. Se resumirán los hallazgos clave y se destacarán las implicaciones prácticas de la investigación. Además, se propondrán recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras en la gestión del mantenimiento de pavimentos flexibles.

Palabras clave: mantenimiento de pavimentos flexibles, método PCI, estrategias

ABSTRACT

Proper maintenance of flexible road pavements is essential to guarantee the durability, safety and efficiency of communication routes. In the specific case of the Pasco - Yanahuanca highway, various failures have been observed in the flexible pavements, which has led to the need to find effective maintenance strategies to mitigate these failures and improve the general condition of the road. In this chapter, the theoretical framework that supports the research project is presented. Previous studies related to the maintenance of flexible pavements and the use of the PCI method as an evaluation tool will be explored. The maintenance strategies used in other similar highways will be reviewed, as well as the causes and factors that contribute to the appearance of failures in flexible pavements. In addition, the impact of weather on pavement degradation will be analyzed and the limitations and challenges associated with the implementation of maintenance strategies will be identified. In this chapter, the methodology used to carry out the research project is described. Data collection techniques will be explained, such as observation, interviews and questionnaires, as well as the instruments used, such as the Pavement Condition Index (PCI). In addition, the research design, sample size and selection will be detailed, and the data processing and analysis techniques used will be described. In this chapter, the results obtained from the processing and analysis of the collected data will be presented and analyzed. The findings related to the most effective maintenance strategies, the severity classification of failures, the main causes of failures, the impact of weather and the limitations and challenges associated with the implementation of maintenance strategies on the Pasco - Yanahuanca highway will be shown. . In this last chapter, the conclusions derived from the results obtained will be presented and practical recommendations will be formulated to improve the maintenance of flexible pavements on the Pasco - Yanahuanca highway. The key

findings will be summarized and the practical implications of the research will be highlighted. In addition, recommendations for future research and improvements in the management of flexible pavement maintenance will be proposed.

Keywords: maintenance of flexible pavements, PCI method, strategies

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento adecuado de los pavimentos flexibles es esencial para garantizar la durabilidad y la funcionalidad de las carreteras. En el caso específico de la carretera Pasco - Yanahuanca, se han observado diversas fallas en los pavimentos flexibles, lo que ha generado la necesidad de buscar estrategias más efectivas para su mantenimiento. El objetivo de esta investigación es identificar las estrategias más adecuadas para el mantenimiento de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en el año 2022. El deterioro de los pavimentos flexibles puede ser causado por diversos factores, como el tráfico pesado, las condiciones climáticas adversas, la calidad de los materiales y los métodos constructivos utilizados. Estas fallas pueden afectar la seguridad de los usuarios y ocasionar costos significativos en términos de reparaciones y rehabilitaciones. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias de mantenimiento efectivas que permitan mitigar las fallas y mejorar la durabilidad de los pavimentos flexibles. En el marco teórico de esta investigación, se revisarán estudios previos relacionados con el mantenimiento de pavimentos flexibles y el uso del método PCI como herramienta de evaluación. Se analizarán las estrategias de mantenimiento utilizadas en carreteras similares y se identificarán las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles. También se examinará el impacto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos, así como las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento. La metodología utilizada en esta investigación incluirá técnicas de recolección de datos como la observación directa, mediciones del PCI, entrevistas y cuestionarios. Estos datos serán analizados utilizando técnicas de procesamiento estadístico y cualitativo para identificar patrones, relaciones y tendencias en los resultados. Los hallazgos obtenidos proporcionarán una base sólida

para formular recomendaciones prácticas que contribuyan a mejorar el mantenimiento de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.

El autor

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	5
1.3. Formulación del problema	6
1.3.1. Problema general	6
1.3.2. Problemas específicos.....	6
1.4. Formulación de objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
1.5. Justificación de la investigación	7
1.6. Limitaciones de la investigación.....	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	12
2.2. Bases teóricas – científicas	14
2.3. Definición de términos básicos	29
2.4. Formulación de hipótesis	30
2.4.1. Hipótesis general	30
2.4.2. Hipótesis específicas.....	31
2.5. Identificación de variables	31
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	34

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	36
3.2. Nivel de investigación.....	37
3.3. Métodos de investigación.....	38
3.4. Diseño de investigación	39
3.5. Población y muestra	40
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	42
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	43
3.9. Tratamiento estadístico	44
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	45

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	47
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	78
4.3. Prueba de hipótesis.....	102
4.4. Discusión de resultados.....	114

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores (Fuente: Propio)	34
Tabla 2: Cuadro de Diagnóstico Inicial: Identificación, Diagnóstico y Análisis de Estrategias en Carreteras Similares	53
Tabla 3: Datos Climáticos para Cerro de Pasco	54
Tabla 4: Datos Climáticos para Yanahuanca:	55
Tabla 5: Estrategias Efecitas aplicados en la Carretera Pasco – Yanahuanca.....	78
Tabla 6: Análisis de metodologías y técnicas utilizadas (Fuente: Propio).....	81
Tabla 7: Resultados de las acciones a realizar para mejorar la durabilidad del pavimento (Fuente: Propio).....	81
Tabla 8: Relación con las condiciones de estado de pavimento (fuente: Propio)	84
Tabla 9: Propuesta para mitigación de falla y Costo (Fuente: Propio).....	85
Tabla 10: presupuesto de intervención para mantenimiento	85
Tabla 11: Identificación de Factores Contribuyentes (Fuente: Propio).....	88
Tabla 12: Análisis de impacto en la condición general del pavimento (Fuente: Propio)	90
Tabla 13: Propuesta de Prevención y Corrección.....	93
Tabla 14: Estudio de las Condiciones Climáticas en Pasco – Yanahuanca (Fuente: Propio)	96
Tabla 15: Evaluación Técnica del Efecto del Clima en la Degradación y Deterioro de Pasco – Yanahuanca (Fuente: Propio).....	97
Tabla 16: Estrategias de Mantenimiento Específicas para Abordar Condiciones Climáticas en Pasco – Yanahuanca (Fuente: Propio).....	98
Tabla 17: Análisis de Limitaciones y Obstáculos Técnicos (Fuente: Propio).....	101

Tabla 18: Identificación, interpretación y recomendaciones de los desafíos administrativos	101
Tabla 19: Datos para prueba de hipótesis numero 01 (Fuente: Propio)	102
Tabla 20: Datos para prueba de hipótesis numero 02 (Fuente: Propio)	104
Tabla 21: Datos para prueba de hipótesis 4 (Fuente: Propio)	109
Tabla 22: Variación de PCI (Fuente: Propio).....	110
Tabla 23: Datos para prueba de Hipótesis 5 (Fuente: Propio).....	111
Tabla 24: Tabla Codificada prueba de Hipótesis 5 (Fuente: Propio)	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)	47
Ilustración 2: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)	48
Ilustración 3: presencia de derrumbe a lo largo del Tramoyanahuanca – Pasco (Fuente: Propio)	48
Ilustración 4: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)	49
Ilustración 5: Presencia de material excedente (Fuente: propio)	49
Ilustración 6: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)	50
Ilustración 7: Evaluación del Estado del Pavimento Progresiva 23+640 (Fuente: Propio).....	50
Ilustración 8: Análisis de la Progresiva 26+540 (Fuente: Propio)	51
Ilustración 9: Análisis de la Progresiva 25+820 (Fuente. Propio)	51
Ilustración 10: Pavimento sin tachas (Fuente: Propio).....	52
Ilustración 11: Verificación de Presencia de alcantarillas y cauces saturados (Fuente: Propio).....	52
Ilustración 12: Colocación de recapeo km 2+040 (fuente: Propio)	80
Ilustración 13: Colocación de imprimación en la carretera Ninacaca - Huachon, dando del cumplimiento de las medidas de mitigación (Fuente: CVNH)	91
Ilustración 14: Bacheo en la carretera Ninacaca – Huachon (Fuente: CVNH).....	92
Ilustración 15: Selección rigurosa de materiales de alta calidad ninacaca – Huachon (Fuente: propio).....	92

Ilustración 16: La falta de mantenimiento puede acelerar el deterioro del pavimento,
Carretera Pasco – Yanahuanca (Fuente Propio).....93

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La investigación titulada "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" aborda una problemática crucial que afecta a la carretera que conecta las localidades de Pasco y Yanahuanca, ubicada en Perú. A lo largo de los años, se han observado diversas fallas en la estructura de los pavimentos, lo que ha impedido que la vía sea entregada a las entidades correspondientes para su pleno funcionamiento. Esta situación ha generado preocupación y la necesidad de llevar a cabo una investigación exhaustiva con el fin de determinar las causas subyacentes de las fallas y proponer estrategias efectivas de mantenimiento que mejoren las condiciones de la vía.

Uno de los principales problemas identificados en la carretera Pasco - Yanahuanca es el enfoque en el diseño de los pavimentos utilizando metodologías clásicas y empíricas, como el procedimiento AASHTO 93. Si bien estas

metodologías han sido ampliamente utilizadas y aceptadas, presentan limitaciones significativas en cuanto a la consideración del elemento clima. El clima desempeña un papel fundamental en la durabilidad y resistencia de los pavimentos, ya que las variaciones de temperatura, humedad y precipitación pueden afectar la integridad de los materiales utilizados en la construcción de los pavimentos flexibles.

Además, durante la etapa de construcción de la carretera, se ha observado una falta de atención adecuada al factor climático. En ocasiones, los constructores no han tenido acceso a la información apropiada y idónea sobre el clima en diferentes momentos del año, lo que ha llevado a decisiones de construcción que no han tenido en cuenta las condiciones climáticas específicas. Esto puede tener consecuencias negativas en la calidad y durabilidad de los pavimentos, ya que las condiciones climáticas adversas pueden debilitar los materiales y acelerar su deterioro.

Como resultado de estas deficiencias en el diseño y construcción de los pavimentos, se ha observado un deterioro acelerado en la etapa de operación de la carretera Pasco - Yanahuanca. Las fallas en la estructura del pavimento han dificultado la entrega de la vía a las entidades responsables de su operación, generando inconvenientes y retrasos en el pleno funcionamiento de la carretera. Esta situación ha llevado al Gobierno Regional de Pasco a asumir la administración de la vía, a pesar de que no es de su competencia directa.

Ante este panorama, surge la necesidad de llevar a cabo una investigación en profundidad que permita identificar las fallas existentes en la vía y proponer estrategias de mantenimiento adecuadas. El objetivo principal de esta investigación es determinar las causas subyacentes del deterioro de los pavimentos y desarrollar

estrategias efectivas para su mantenimiento, utilizando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés).

La metodología propuesta para llevar a cabo esta investigación incluye varias etapas. En primer lugar, se realizará un diagnóstico inicial del estado actual de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca mediante la aplicación del método PCI. Esto permitirá obtener un índice cuantitativo que refleje la condición de los pavimentos y servirá como punto de partida para el análisis posterior.

A continuación, se identificarán las principales causas de deterioro de los pavimentos flexibles en la zona de estudio. Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el tema y se recopilarán datos en campo a través de inspecciones visuales detalladas. Esto proporcionará una comprensión más profunda de los factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos, incluyendo la influencia del clima, el tráfico, los materiales utilizados y las prácticas de construcción.

Posteriormente, se analizarán y evaluarán diferentes estrategias de mantenimiento aplicables a los pavimentos flexibles de la carretera. Se utilizarán técnicas de análisis multicriterio para comparar y seleccionar las estrategias más efectivas en función de criterios como la durabilidad, el costo, la disponibilidad de recursos y la viabilidad técnica.

Con base en los resultados obtenidos del diagnóstico y el análisis de estrategias, se diseñará un plan de mantenimiento detallado. Este plan incluirá acciones específicas a realizar, tiempos de ejecución y estimación de costos. Se buscará maximizar la vida útil de los pavimentos y minimizar los costos de mantenimiento a largo plazo.

Una vez diseñado el plan de mantenimiento, se procederá a su implementación en la carretera Pasco - Yanahuanca. Se monitorearán y evaluarán los resultados a lo largo del tiempo, analizando el impacto del plan de mantenimiento en la prolongación de la vida útil de los pavimentos y la reducción de las fallas estructurales.

Finalmente, se realizarán recomendaciones para la gestión del mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca y en áreas similares. Estas recomendaciones estarán respaldadas por los hallazgos de la investigación y se enfocarán en mejorar las prácticas de diseño, construcción y mantenimiento de los pavimentos, con especial énfasis en la consideración del clima y la implementación de estrategias efectivas de mantenimiento preventivo y correctivo.

En conclusión, la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" tiene como objetivo abordar los problemas identificados en los pavimentos de la carretera Pasco - Yanahuanca, causados por la falta de consideración del clima en el diseño y construcción, así como el deterioro acelerado en la etapa de operación. A través de una metodología rigurosa, se buscará identificar las fallas existentes, desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas y brindar recomendaciones para mejorar las condiciones de la vía. Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a la optimización del diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles, no solo en la carretera Pasco - Yanahuanca, sino también en otras áreas con desafíos similares.

1.2. Delimitación de la investigación

La delimitación de la investigación se refiere a establecer los límites y alcances específicos de estudio dentro de los cuales se desarrollará la investigación. En el caso de la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022", se establecerán las siguientes delimitaciones:

- Área geográfica: La investigación se centrará exclusivamente en la carretera que conecta las localidades de Pasco y Yanahuanca, ubicada en Perú. No se considerarán otras carreteras o áreas geográficas en este estudio.
- Tipo de pavimento: El enfoque de la investigación se limitará a los pavimentos flexibles. No se abordarán los pavimentos rígidos u otros tipos de pavimentos en esta investigación.
- Método de evaluación: El método utilizado para evaluar el estado de los pavimentos será el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Otros métodos de evaluación o técnicas de monitoreo podrían no ser considerados en esta investigación.
- Periodo de estudio: La investigación se llevará a cabo durante el año 2022. Los datos recopilados y los análisis se centrarán en ese período específico y no se extenderán más allá de ese tiempo.
- Alcance del mantenimiento: Si bien se propondrán estrategias de mantenimiento, la implementación práctica y ejecución de las acciones de mantenimiento no estarán dentro del alcance directo de esta investigación. Se enfocará en el diseño y la planificación de las estrategias de mantenimiento.

- Limitaciones de recursos: La investigación se realizará dentro de los límites de los recursos disponibles, como el presupuesto asignado, el tiempo disponible y los recursos humanos y materiales disponibles.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son las estrategias más efectivas para el mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el método PCI en el año 2022?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles, basadas en el método PCI, son más efectivas para mitigar las fallas y mejorar la durabilidad en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022?
- ¿Cuál es la clasificación de severidad de las fallas presentes en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca y cómo se relaciona con las condiciones de estado del pavimento?
- ¿Cuáles son las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca y cómo afectan su condición general?
- ¿Cuál es el impacto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, y cómo pueden integrarse estrategias de mantenimiento específicas para abordar estas condiciones climáticas?
- ¿Cuáles son las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento de pavimentos

flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, y cómo pueden superarse para lograr una gestión efectiva del mantenimiento?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar estrategias efectivas para el mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el método PCI en el año 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco – Yanahuanca 2022

- Identificar y analizar estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles, basadas en el método PCI
- Evaluar y clasificar la severidad de las fallas presentes en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca
- Investigar las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca
- Analizar el impacto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca
- Identificar las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca

1.5. Justificación de la investigación

La justificación de la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" se basa en la necesidad de abordar los problemas existentes en los

pavimentos flexibles de dicha carretera y buscar soluciones efectivas que mejoren su durabilidad y condiciones de estado. A continuación, se presenta una descripción detallada y extensa de la justificación de esta investigación:

La carretera Pasco - Yanahuanca desempeña un papel fundamental en la conectividad y desarrollo de la región, facilitando el transporte de personas, bienes y servicios. Sin embargo, a lo largo de los años, se ha observado un deterioro significativo en los pavimentos flexibles de esta vía, lo que ha generado fallas estructurales y dificultades en su operación. Estas fallas no solo afectan la seguridad vial, sino que también generan un impacto negativo en la economía regional y en la calidad de vida de las personas que dependen de esta vía para sus desplazamientos diarios.

La situación actual evidencia la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas de mantenimiento que permitan mejorar la durabilidad y prolongar la vida útil de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. En este contexto, la investigación propuesta adquiere gran relevancia, ya que busca proporcionar soluciones prácticas y basadas en evidencia científica para enfrentar los desafíos específicos de esta vía.

Una justificación fundamental para llevar a cabo esta investigación radica en la falta de atención adecuada al factor clima en el diseño, construcción y mantenimiento de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. Las metodologías clásicas y empíricas utilizadas en el diseño, como el procedimiento AASHTO 93, no otorgan el énfasis necesario al clima, lo que ha llevado a decisiones de construcción que no consideran las condiciones climáticas específicas de la zona. Esto ha contribuido al deterioro acelerado de los pavimentos

flexibles, ya que las variaciones de temperatura, humedad y precipitación impactan negativamente en la durabilidad y resistencia de los materiales utilizados.

Además, la falta de estrategias de mantenimiento adecuadas y específicas para la carretera Pasco - Yanahuanca ha provocado que las fallas estructurales se intensifiquen en la etapa de operación. Esto se traduce en un mayor costo de reparación, interrupciones en el flujo de tráfico y un impacto negativo en la calidad de los servicios de transporte. La necesidad de mejorar la gestión del mantenimiento es evidente, pero para lograrlo, se requiere un enfoque integral y basado en evidencia científica.

La investigación propuesta tiene como objetivo llenar este vacío de conocimiento y proporcionar soluciones específicas para el mantenimiento de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. El uso del método PCI como herramienta de evaluación y seguimiento del estado de los pavimentos permitirá identificar las fallas existentes, clasificar su severidad y desarrollar estrategias de mantenimiento específicas y efectivas.

La importancia de esta investigación también radica en su potencial para impactar no solo en la carretera Pasco - Yanahuanca, sino también en otras áreas con desafíos similares en términos de diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles. Los resultados y las recomendaciones obtenidos podrían ser utilizados por entidades gubernamentales, empresas constructoras y profesionales del sector vial para mejorar las prácticas de mantenimiento y garantizar la durabilidad y la seguridad de las carreteras.

En tal sentido, la justificación de la investigación se basa en la necesidad de abordar los problemas existentes en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca, mejorar su durabilidad y condiciones de estado, y proporcionar

soluciones prácticas y basadas en evidencia científica. La investigación busca llenar el vacío de conocimiento en cuanto a estrategias de mantenimiento específicas, teniendo en cuenta el impacto del clima y utilizando el método PCI como herramienta de evaluación. Los resultados y las recomendaciones obtenidos podrían tener un impacto significativo en la gestión del mantenimiento de pavimentos flexibles no solo en esta carretera, sino también en otras áreas similares.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" son importantes de reconocer para tener una visión clara de las restricciones y alcances del estudio. A continuación, se mencionan algunas limitaciones posibles:

- Limitación geográfica: La investigación se centra exclusivamente en la carretera Pasco - Yanahuanca, lo que limita la generalización de los resultados a otras carreteras o áreas geográficas distintas. Las condiciones climáticas, geológicas y de tráfico específicas de esta carretera pueden diferir de otras regiones, lo que limita la aplicabilidad directa de las estrategias propuestas en contextos diferentes.
- Limitación temporal: El estudio se realiza en el año 2022, lo que implica que los resultados y conclusiones se basan en las condiciones y datos disponibles en ese período específico. Cambios futuros en el clima, la infraestructura o las políticas de mantenimiento podrían influir en la aplicabilidad a largo plazo de las estrategias propuestas.

- Disponibilidad de datos: La investigación depende de la disponibilidad y calidad de los datos recopilados en campo y de la información proporcionada por las entidades responsables. Limitaciones en la calidad, integridad o acceso a los datos pueden afectar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.
- Limitación de recursos: La investigación se ve limitada por recursos como presupuesto, tiempo y personal disponibles. Esto puede restringir la cantidad de sitios de muestreo, el período de recolección de datos o el alcance de las actividades de campo, lo que puede influir en la representatividad y la exhaustividad de los resultados.
- Variables no controladas: En cualquier estudio de campo, existen variables fuera del control del investigador, como eventos climáticos extremos, actividades de construcción o factores de tráfico impredecibles. Estas variables pueden introducir ruido o interferir en la recopilación de datos, lo que puede limitar la precisión de los resultados.
- Limitaciones del método PCI: Aunque el método PCI es una herramienta reconocida y ampliamente utilizada en la evaluación de pavimentos, tiene sus propias limitaciones. Estas pueden incluir subjetividad en la evaluación visual, dependencia de la experiencia del evaluador y limitaciones en la capacidad de detectar ciertos tipos de fallas o daños en los pavimentos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1

Título: "Métodos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles en Argentina utilizando el método PCI" (2019)

Resumen: Esta investigación realizada en Argentina se centró en la aplicación del método PCI (Pavement Condition Index) para el mantenimiento de pavimentos flexibles. Se estudió una red de carreteras en la Provincia de Buenos Aires, donde se recolectaron datos sobre las condiciones actuales de las carreteras y se evaluaron diversas estrategias de mantenimiento.

Trabajos de investigación: Los trabajos de investigación incluyeron la recopilación de datos a través de inspecciones visuales, ensayos no destructivos y la creación de un modelo de predicción para identificar los momentos óptimos para el mantenimiento preventivo y correctivo. Además, se investigó el impacto de

diversos factores como el clima, el tráfico y la carga vehicular en la degradación del pavimento.

Conclusiones: La investigación concluyó que el uso del método PCI es efectivo para evaluar la condición del pavimento y planificar las actividades de mantenimiento. Además, demostró que el mantenimiento preventivo y la intervención temprana pueden extender la vida útil del pavimento y reducir los costos a largo plazo. Se recomendó la incorporación de estas estrategias en las políticas de infraestructura de transporte de Argentina.

2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2

Título: "Análisis y aplicación del índice de condición del pavimento (PCI) en la carretera Lima-Cusco" (2021)

Resumen: El estudio llevado a cabo en Perú aplicó el método PCI en la carretera Lima-Cusco con el objetivo de identificar las necesidades de mantenimiento y mejorar la planificación de las actividades de conservación. El trabajo propuso un esquema de mantenimiento preventivo y correctivo, enfocándose en mejorar la vida útil de los pavimentos flexibles.

Trabajos de investigación: La investigación se basó en la recopilación de datos de campo, inspecciones visuales y ensayos no destructivos. Se utilizó el método PCI para evaluar las condiciones actuales de la carretera, y se crearon modelos de predicción para determinar los momentos óptimos para la intervención de mantenimiento.

Conclusiones: Los hallazgos indicaron que la aplicación del método PCI es una herramienta eficaz para la gestión de pavimentos en Perú. Las recomendaciones de mantenimiento derivadas del estudio podrían generar ahorros significativos en los costos de mantenimiento a largo plazo. Asimismo, se concluyó

que la implementación de un sistema de gestión de pavimentos basado en el PCI podría mejorar significativamente la eficiencia de las operaciones de mantenimiento de carreteras en el país.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Diseño de pavimentos flexibles: Enfoque en el método PCI.

2.2.1.1. Introducción a los Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles, compuestos por múltiples capas de distintos materiales, deben su nombre a la naturaleza deformable de su estructura cuando se someten a cargas de tráfico. Estos pavimentos están diseñados para distribuir la carga de manera gradual desde la superficie hasta las capas inferiores y finalmente hasta la subrasante (Huang, 2004).

Las capas que componen un pavimento flexible incluyen la capa de rodadura o de desgaste, que es la capa superior directamente en contacto con el tráfico; la capa intermedia o de base, que distribuye la carga a la capa subyacente; y la capa de subbase, que proporciona una plataforma de apoyo para las capas superiores y transfiere las cargas a la subrasante. Cada capa se diseña para cumplir funciones específicas y se construye utilizando distintos materiales, como asfalto, agregados triturados, o una combinación de ambos (Huang, 2004).

El diseño de los pavimentos flexibles es un proceso complejo que requiere un entendimiento profundo de las propiedades mecánicas de los materiales del pavimento, las condiciones del subsuelo, las expectativas de tráfico y las condiciones climáticas y medioambientales. Los ingenieros utilizan modelos empíricos o mecanicistas, o una combinación de ambos,

para predecir cómo estas variables influirán en la vida útil y el rendimiento del pavimento (Huang, 2004).

2.2.1.2. El Índice de Condición de Pavimento (PCI)

El método PCI es una técnica de evaluación de la condición de los pavimentos desarrollada por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en la década de 1970. Este método cuantitativo proporciona una medida objetiva y consistente de la condición de los pavimentos y es ampliamente utilizado en la gestión de pavimentos a nivel global (Shahin, 2002).

El PCI se calcula basándose en inspecciones visuales de la superficie del pavimento que identifican y cuantifican la presencia de varias formas de deterioro, como fisuras, baches, deformaciones, entre otros. Cada tipo de deterioro se clasifica en función de su gravedad y extensión, y estos datos se utilizan para calcular el PCI en una escala de 0 a 100, donde 100 representa un pavimento en perfecto estado (Shahin, 2002).

El método PCI es una herramienta de gestión de pavimentos valiosa porque proporciona una medida estandarizada y reproducible de la condición del pavimento. Permite la comparación de la condición de los pavimentos a lo largo del tiempo y entre diferentes localidades o regiones. Asimismo, es una fuente de información importante para la toma de decisiones sobre la programación y la priorización del mantenimiento y la rehabilitación de los pavimentos (Shahin, 2002).

2.2.1.3. Diseño de Pavimentos Flexibles y el Método PCI

El diseño de pavimentos flexibles y el uso del método PCI están intrínsecamente vinculados. Durante la fase de diseño, los ingenieros tratan de anticipar y planificar el desgaste esperado y diseñar el pavimento para

resistirlo. Este diseño se basa en una serie de suposiciones y modelos que, aunque son científicamente sólidos, tienen cierto grado de incertidumbre debido a la variabilidad natural de los materiales de construcción, las condiciones climáticas y los patrones de tráfico (Huang, 2004).

El método PCI proporciona un medio para comprobar la precisión de estas suposiciones y para ver cómo está funcionando el pavimento en las condiciones reales de servicio. Al comparar la condición actual del pavimento, según lo indicado por el PCI, con la condición esperada, los ingenieros pueden obtener una visión valiosa de la eficacia de sus diseños de pavimentos y de la precisión de sus suposiciones y modelos (Shahin, 2002).

El PCI también puede ayudar a los ingenieros a tomar decisiones de mantenimiento y rehabilitación informadas. Si el PCI de un pavimento es más bajo de lo esperado, puede indicar que el pavimento está experimentando un desgaste más rápido de lo previsto y que puede requerir mantenimiento o rehabilitación antes de lo planificado. Por el contrario, si el PCI es más alto de lo esperado, puede indicar que el pavimento está funcionando bien y que los recursos de mantenimiento y rehabilitación pueden ser redirigidos a otros lugares (Shahin, 2002).

2.2.2. Influencia del clima en los pavimentos flexibles.

2.2.2.1. Introducción

El clima juega un papel crucial en el comportamiento y la vida útil de los pavimentos flexibles. Las condiciones climáticas influyen en la selección de los materiales de construcción, en la construcción misma, y también en el rendimiento y la degradación del pavimento durante su vida

útil. Comprender el impacto del clima en los pavimentos flexibles es fundamental para optimizar su diseño, su mantenimiento y su gestión.

2.2.2.2. Influencia del Clima en el Diseño y la Construcción de Pavimentos Flexibles

La selección de los materiales y el diseño de los pavimentos flexibles dependen en gran medida de las condiciones climáticas locales. Por ejemplo, en regiones donde las temperaturas son extremadamente bajas, los materiales deben ser seleccionados de manera que puedan resistir las condiciones de congelación y deshielo. Del mismo modo, en regiones donde las temperaturas son altas, los materiales deben ser capaces de resistir la deformación y el envejecimiento causados por el calor (Huang, 2004).

Las condiciones climáticas también pueden influir en la construcción del pavimento. Las temperaturas frías o calurosas pueden afectar la compactación del asfalto, y las condiciones de lluvia pueden hacer que sea difícil lograr la densidad requerida y pueden causar la segregación de los materiales. Los ingenieros de pavimentos deben tener en cuenta estas condiciones durante la planificación y ejecución de los proyectos de construcción de pavimentos (Huang, 2004).

2.2.2.3. Influencia del Clima en el Rendimiento de los Pavimentos Flexibles

El clima tiene un impacto significativo en el rendimiento de los pavimentos flexibles durante su vida útil. La lluvia, por ejemplo, puede infiltrarse en las grietas del pavimento y, si las temperaturas son bajas, puede congelarse y expandirse, lo que puede provocar más grietas y eventualmente la formación de baches. La lluvia también puede causar el

desprendimiento de los áridos en la superficie del pavimento, un proceso conocido como desprendimiento de áridos (Huang, 2004).

Las altas temperaturas, por otro lado, pueden hacer que el asfalto se ablande y se deforme bajo las cargas de tráfico, lo que puede llevar a la formación de deformaciones plásticas. También pueden acelerar el envejecimiento del asfalto, lo que puede llevar a la formación de grietas de fatiga (Huang, 2004).

La humedad, ya sea en forma de lluvia, nieve o humedad del subsuelo, también puede influir en el rendimiento del pavimento al afectar la capacidad de soporte de la subrasante y de las capas de base y subbase. En condiciones de alta humedad, estos materiales pueden perder su resistencia y deformarse bajo las cargas de tráfico, lo que puede llevar a la formación de deformaciones en la superficie del pavimento (Huang, 2004).

2.2.2.4. Conclusión

El clima tiene una influencia profunda en los pavimentos flexibles, desde su diseño y construcción hasta su rendimiento y vida útil. Los ingenieros de pavimentos deben tener en cuenta las condiciones climáticas al seleccionar los materiales, diseñar los pavimentos, planificar y ejecutar los proyectos de construcción, y gestionar los pavimentos durante su vida útil. A través de un entendimiento sólido de la influencia del clima en los pavimentos flexibles, es posible diseñar y construir pavimentos que sean resistentes a las condiciones climáticas y que proporcionen un servicio seguro y fiable durante toda su vida útil.

2.2.3. Factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos flexibles.

2.2.3.1. Introducción

El deterioro de los pavimentos flexibles es un proceso natural e inevitable que se ve influenciado por una serie de factores interrelacionados. Aunque los ingenieros de pavimentos hacen todo lo posible para diseñar y construir pavimentos que sean duraderos y resistentes, con el tiempo, todos los pavimentos experimentarán algún grado de desgaste. Este desgaste puede manifestarse de diversas formas, como fisuras, deformaciones, baches, entre otros, y puede ser influenciado por factores tanto ambientales como de uso.

2.2.3.2. Factores de Uso

Los factores de uso se refieren a la manera en que se utiliza un pavimento y la cantidad de estrés que soporta como resultado de su uso. Los factores clave incluyen:

Cargas de Tráfico: Es el factor de uso más significativo que contribuye al deterioro de los pavimentos flexibles. La repetición de cargas pesadas puede llevar al agotamiento de los materiales del pavimento y provocar una serie de problemas, como la formación de fisuras de fatiga y deformaciones plásticas (Huang, 2004).

Tipo de Tráfico: Los diferentes tipos de vehículos ejercen diferentes tipos de estrés en los pavimentos. Por ejemplo, los vehículos pesados, como los camiones, pueden causar más daño que los vehículos ligeros, como los coches.

2.2.3.3. Factores Ambientales

Los factores ambientales se refieren a las condiciones del entorno en el que se encuentra un pavimento. Los factores clave incluyen:

Clima: Como se mencionó anteriormente, el clima tiene una influencia significativa en el rendimiento y la degradación de los pavimentos flexibles. Las temperaturas extremadamente altas o bajas, la lluvia y la nieve pueden provocar diversos problemas, como fisuras térmicas, baches, desprendimiento de áridos y deformaciones plásticas (Huang, 2004).

Condiciones del Suelo: El tipo de suelo y su capacidad para soportar cargas también pueden influir en el rendimiento de un pavimento. Suelos inestables o suelos con alto contenido de agua pueden llevar a la deformación de la subrasante y a problemas de drenaje, los cuales pueden resultar en problemas en la superficie del pavimento.

2.2.3.4. Factores Relacionados con los Materiales y la Construcción

Los materiales utilizados para construir un pavimento y la calidad de la construcción también pueden influir en su deterioro. Los materiales de baja calidad o mal seleccionados pueden no resistir las cargas de tráfico o las condiciones climáticas, y pueden desgastarse rápidamente. Del mismo modo, una construcción de mala calidad, como una compactación inadecuada del asfalto o un drenaje pobre, puede llevar a una serie de problemas, incluyendo la deformación del pavimento, la infiltración de agua y la formación de baches (Huang, 2004).

2.2.4. Estrategias de mantenimiento para pavimentos flexibles.

Es indiscutible que los pavimentos flexibles constituyen una infraestructura crítica en nuestra sociedad, siendo las vías que facilitan nuestros desplazamientos diarios. Sin embargo, a menudo se descuida una tarea fundamental para garantizar su operatividad: el mantenimiento. Al mantener adecuadamente los pavimentos

flexibles, no solo nos aseguramos de que sigan cumpliendo su función, sino que también podemos prolongar significativamente su vida útil. Este factor, a largo plazo, puede traducirse en ahorros económicos considerables (Huang, 2004).

Existen varias estrategias de mantenimiento para los pavimentos flexibles, cada una con su lugar y propósito específicos. El mantenimiento preventivo, por ejemplo, se lleva a cabo antes de que se produzca un fallo significativo en el pavimento. Este enfoque busca retrasar la aparición de dichos fallos y mantener la condición original del pavimento durante el mayor tiempo posible. El sellado de fisuras es una de las intervenciones incluidas en este tipo de mantenimiento y se destaca como una estrategia costo-efectiva para la conservación de los pavimentos flexibles. Mediante el sellado de las fisuras, se puede prevenir la infiltración de agua, un factor que aceleraría la degradación de la estructura del pavimento (Huang, 2004).

Los recubrimientos y tratamientos superficiales también desempeñan un papel integral en el mantenimiento preventivo. Al aplicar estos tratamientos a la superficie del pavimento, se logra protegerlo de un desgaste adicional y se restaura su textura y fricción. Estas intervenciones son particularmente útiles en áreas donde el pavimento está sometido a un tráfico intenso y frecuente.

Por otro lado, el mantenimiento correctivo se realiza después de que un fallo en el pavimento ya ha ocurrido. El objetivo aquí es reparar el daño y restaurar el pavimento a una condición aceptable. Dentro de este tipo de mantenimiento se encuentra el parcheo de baches, una técnica comúnmente empleada para reparar áreas pequeñas y localizadas que han fallado en el pavimento. También se considera el mantenimiento correctivo a la rehabilitación de la superficie, utilizada

cuando el daño en el pavimento es más significativo, pero la base y la subbase del mismo aún se mantienen en buen estado (Huang, 2004).

2.2.5. Evaluación de la condición de los pavimentos flexibles mediante el método PCI.

Evaluar la condición de los pavimentos flexibles es un aspecto crucial para cualquier programa de gestión de pavimentos. Ofrece la información necesaria para determinar las necesidades de mantenimiento, reparación o reemplazo del pavimento. Uno de los métodos más eficaces y comúnmente utilizados para la evaluación de la condición de los pavimentos es el Índice de Condición del Pavimento o Pavement Condition Index (PCI) (Shahin, 2005).

El PCI es una herramienta de evaluación desarrollada por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y ahora administrada por el American Society of Civil Engineers (ASCE). Se utiliza para medir el estado actual del pavimento y predecir su comportamiento futuro, proporcionando una base cuantitativa para la programación del mantenimiento y la reparación del pavimento (Shahin, 2005).

El PCI utiliza una escala de 0 a 100 para calificar la condición de un pavimento, siendo 100 un pavimento en excelente estado y 0 un pavimento fallido. El índice se calcula en base a la extensión y la severidad de una serie de fallos comunes del pavimento, como grietas, baches y deformaciones (Shahin, 2005).

Un aspecto valioso del PCI es que no sólo proporciona una "instantánea" del estado actual del pavimento, sino que también puede ser utilizado para prever el comportamiento futuro del pavimento. Esto se logra a través de la recopilación y análisis de datos históricos del pavimento y la correlación de estos con el comportamiento actual y futuro esperado del pavimento. Esto, a su vez, puede proporcionar a los gestores de pavimentos una herramienta valiosa para la toma de

decisiones informadas sobre el mantenimiento y la programación de las reparaciones (Shahin, 2005).

Aunque el PCI es una herramienta eficaz para la evaluación de la condición del pavimento, su precisión depende en gran medida de la calidad y la regularidad de las inspecciones del pavimento. Por lo tanto, es esencial que los gestores de pavimentos implementen inspecciones regulares y rigurosas para garantizar la fiabilidad de los datos del PCI (Peshkin, et al., 2004).

2.2.6. Impacto del clima en el mantenimiento de pavimentos flexibles.

El clima es un factor determinante en la durabilidad y rendimiento de los pavimentos flexibles. Las fluctuaciones de temperatura, la humedad, las precipitaciones, y eventos extremos pueden influir en el deterioro del pavimento y, en consecuencia, en la estrategia de mantenimiento necesaria (Papagiannakis & Masad, 2008).

La influencia del clima se manifiesta de varias maneras. Por ejemplo, las fluctuaciones de temperatura pueden causar la expansión y contracción del pavimento, lo que puede llevar a la formación de fisuras. Estas fisuras pueden permitir la infiltración de agua, lo que puede causar daño estructural al pavimento a través de la congelación y descongelación en climas fríos (Huang, 2004). Además, en climas cálidos, las altas temperaturas pueden hacer que el asfalto se ablande y se deforme bajo cargas pesadas.

La humedad es otro factor climático crucial para el mantenimiento de los pavimentos flexibles. El agua puede infiltrarse en las capas del pavimento a través de fisuras y daños en la superficie, lo que puede llevar a la erosión y debilitamiento de las capas inferiores del pavimento. Además, el agua estancada en la superficie

del pavimento puede contribuir al hidropilado, lo que representa un riesgo de seguridad para los vehículos (Papagiannakis & Masad, 2008).

Los eventos climáticos extremos, como las inundaciones y las tormentas de hielo, pueden causar daños significativos a los pavimentos flexibles. Las inundaciones pueden erosionar el material del pavimento, mientras que las tormentas de hielo pueden causar la formación de hielo en la superficie del pavimento, lo que puede llevar a la fisuración y a otros daños (Huang, 2004).

2.2.7. Gestión del mantenimiento de pavimentos flexibles: Retos y consideraciones.

La gestión del mantenimiento de los pavimentos flexibles es una tarea compleja que conlleva varios desafíos y consideraciones. Las decisiones de mantenimiento deben tomarse en función de una serie de factores, incluyendo el estado actual del pavimento, la carga de tráfico esperada, el clima, y las limitaciones presupuestarias, entre otros (Haas, et al., 1994).

Uno de los mayores retos en la gestión del mantenimiento de los pavimentos flexibles es la evaluación precisa de la condición del pavimento. Esta evaluación es crucial para determinar las necesidades de mantenimiento y la programación de las intervenciones. Sin embargo, la evaluación de la condición del pavimento puede ser complicada debido a la naturaleza dinámica de los pavimentos, que están sujetos a un constante desgaste y a cambios en su estado a causa del clima y el tráfico (Shahin, 2005).

Otro desafío importante es la limitación de recursos. Los presupuestos para el mantenimiento de los pavimentos son a menudo limitados y deben ser gestionados eficazmente para maximizar su impacto. Esto requiere la adopción de un enfoque de gestión basado en la evidencia, que prioriza las intervenciones en

función de su costo-efectividad y su impacto en la vida útil del pavimento (Haas, et al., 1994).

Además, el clima y las condiciones medioambientales también presentan desafíos significativos en la gestión del mantenimiento de los pavimentos flexibles. Como se mencionó anteriormente, el clima puede tener un impacto significativo en la condición y durabilidad del pavimento. Por lo tanto, las estrategias de mantenimiento deben adaptarse a las condiciones climáticas y medioambientales específicas de cada área (Papagiannakis & Masad, 2008).

En conclusión, la gestión del mantenimiento de los pavimentos flexibles es una tarea desafiante que requiere una cuidadosa consideración de una variedad de factores. Sin embargo, con una planificación cuidadosa, una gestión eficaz de los recursos y una comprensión completa de las condiciones y características del pavimento, se pueden desarrollar y ejecutar estrategias de mantenimiento efectivas.

2.2.8. Aplicación del método PCI en el mantenimiento de pavimentos flexibles.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) se ha convertido en un método integral para la gestión y mantenimiento de los pavimentos flexibles. Esta herramienta cuantitativa permite evaluar la condición actual de un pavimento y proyectar su futuro rendimiento, lo cual puede ayudar a informar las decisiones de mantenimiento y reparación (Shahin, 2005).

La aplicación del método PCI en el mantenimiento de pavimentos flexibles comienza con la recolección de datos sobre el pavimento. Esto puede incluir la inspección visual del pavimento, la identificación y clasificación de los diferentes tipos de daños, y la medida de la extensión y severidad de estos daños. Los datos recopilados pueden ser ingresados en un programa de software para

calcular el PCI. El PCI resultante proporciona una medida de la condición actual del pavimento (Shahin, 2005).

El PCI también puede ser utilizado para predecir el comportamiento futuro del pavimento. Esto se logra a través de la creación de modelos de deterioro que utilizan los datos históricos del pavimento y el PCI actual para predecir cómo cambiará la condición del pavimento en el futuro. Este tipo de predicción puede ser invaluable para la planificación del mantenimiento y la programación de las reparaciones (Peshkin, et al., 2004).

Además de su uso en la evaluación de la condición y la planificación del mantenimiento, el PCI también puede ser utilizado para evaluar la eficacia de las intervenciones de mantenimiento. Al comparar el PCI antes y después de una intervención de mantenimiento, se puede evaluar si la intervención ha mejorado la condición del pavimento y en qué medida (Shahin, 2005).

2.2.9. Fallas comunes en los pavimentos flexibles y su clasificación de severidad.

Las fallas en los pavimentos flexibles son variadas y pueden ser causadas por una multitud de factores, desde el clima hasta la sobrecarga de tráfico. Las fallas comunes en los pavimentos flexibles pueden clasificarse según su severidad, desde las que requieren atención inmediata hasta las que pueden ser manejadas con un mantenimiento regular (Huang, 2004).

Fisuras: Las fisuras son una de las fallas más comunes en los pavimentos flexibles. Pueden variar en tamaño y profundidad y pueden ser causadas por factores como la contracción y expansión del pavimento debido a los cambios de temperatura, el envejecimiento del material del pavimento, o las cargas pesadas del tráfico. Las fisuras se clasifican generalmente como de baja severidad cuando son

pequeñas y no interrumpen el flujo del tráfico, pero pueden convertirse en una falla de alta severidad si se permiten que crezcan y profundicen, lo que puede llevar a problemas más serios como el desprendimiento o el deterioro estructural (Huang, 2004).

Ahuellamiento: El ahuellamiento se refiere a la deformación o depresión en la superficie del pavimento, generalmente en las rutas de las ruedas de los vehículos. Este tipo de falla es común en los pavimentos flexibles debido a la naturaleza de los materiales utilizados, que pueden deformarse bajo cargas pesadas. El ahuellamiento se clasifica como una falla de alta severidad, ya que puede afectar seriamente la conducción segura y el flujo de tráfico (Huang, 2004).

Desprendimiento: El desprendimiento se refiere a la pérdida de agregados en la superficie del pavimento, lo que puede llevar a la formación de áreas rugosas o desiguales en el pavimento. Este tipo de falla es común en los pavimentos flexibles y puede ser causada por la falta de adhesión entre los agregados y el ligante asfáltico. El desprendimiento se clasifica generalmente como una falla de moderada a alta severidad, dependiendo del tamaño y la ubicación de la zona afectada (Huang, 2004).

Blandones: Los blandones son áreas de la superficie del pavimento que se han ablandado y deformado, a menudo debido a la infiltración de agua en las capas subyacentes del pavimento. Este tipo de falla puede ser especialmente problemática en los pavimentos flexibles, ya que puede llevar a la pérdida de integridad estructural del pavimento. Los blandones se clasifican generalmente como una falla de alta severidad (Huang, 2004).

2.2.10. Mejores prácticas de mantenimiento para pavimentos flexibles.

Las mejores prácticas de mantenimiento para pavimentos flexibles buscan prolongar la vida útil del pavimento, minimizar los costos y asegurar un servicio adecuado a los usuarios. A continuación, se presentan algunas de estas prácticas reconocidas por expertos en la materia (NCHRP, 2009; FHWA, 2015).

Inspección Regular: Un componente clave de cualquier programa de mantenimiento es la inspección regular y sistemática de los pavimentos. Estas inspecciones pueden ayudar a identificar los problemas existentes y potenciales, permitiendo una intervención temprana antes de que se conviertan en problemas mayores.

Uso del Índice de Condición del Pavimento (PCI): Como se mencionó anteriormente, el PCI es una herramienta valiosa para evaluar la condición del pavimento y planificar las intervenciones de mantenimiento. Un enfoque basado en el PCI puede ayudar a garantizar que los recursos se utilicen de la manera más eficaz y eficiente posible.

Mantenimiento Preventivo: El mantenimiento preventivo, que incluye actividades como el sellado de fisuras y la colocación de capas delgadas de asfalto, puede ser una manera efectiva de prolongar la vida útil del pavimento y prevenir el deterioro. Estas actividades deben programarse regularmente, incluso si el pavimento parece estar en buen estado.

Reparación de Puntos Críticos: Algunas áreas del pavimento pueden requerir atención especial debido a un uso intenso o a condiciones específicas. Estas áreas, conocidas como puntos críticos, deben ser identificadas y reparadas de manera oportuna para evitar el deterioro general del pavimento.

Capacitación y Educación: La capacitación y educación continua de los empleados encargados del mantenimiento de los pavimentos puede ser una manera

efectiva de asegurar que se sigan las mejores prácticas y que se utilicen las técnicas más actualizadas y efectivas.

Evaluación de las Intervenciones: Después de cada intervención de mantenimiento, es importante evaluar su efectividad. Esto puede hacerse comparando el PCI antes y después de la intervención, así como monitorizando el pavimento en el tiempo para ver cómo responde a la intervención.

2.3. Definición de términos básicos

Pavimento Flexible: Tipo de pavimento que se compone de una mezcla bituminosa colocada sobre una base de agregado. Se denomina flexible porque puede deformarse y recuperar su forma original.

Índice de Condición del Pavimento (PCI): Herramienta cuantitativa para evaluar la condición de un pavimento, basada en la identificación y medida de los diferentes tipos de daños.

Ahuellamiento: Deformación o depresión en la superficie del pavimento, generalmente en las rutas de las ruedas de los vehículos.

Desprendimiento: Pérdida de agregados en la superficie del pavimento, lo que puede llevar a la formación de áreas rugosas o desiguales en el pavimento.

Blandones: Áreas de la superficie del pavimento que se han ablandado y deformado, a menudo debido a la infiltración de agua en las capas subyacentes del pavimento.

Fisuras: Grietas que se forman en la superficie del pavimento debido a factores como los cambios de temperatura, el envejecimiento del material del pavimento, o las cargas pesadas del tráfico.

Mantenimiento Preventivo: Conjunto de actividades diseñadas para prevenir o retrasar el deterioro del pavimento, como el sellado de fisuras y la colocación de capas delgadas de asfalto.

Mantenimiento Correctivo: Actividades de mantenimiento que se realizan después de que se ha detectado una falla, con el fin de corregir el problema y restablecer la condición del pavimento.

Métodos No Destructivos: Técnicas de inspección de pavimentos que no dañan ni alteran la estructura del pavimento, como el uso de radar de penetración en el suelo o la deflexión con carga.

Reciclaje de Pavimentos: Proceso de reutilización de los materiales de un pavimento existente para construir uno nuevo.

Rehabilitación de Pavimentos: Proceso de mejora de un pavimento existente que ha experimentado un deterioro significativo.

Clima: Conjunto de condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, lluvia, etc.) que pueden afectar el desempeño y la durabilidad del pavimento.

Carga de Tráfico: La cantidad y el tipo de vehículos que utilizan el pavimento, que puede afectar el desempeño y la durabilidad del pavimento.

Gestión del Pavimento: Práctica de supervisar y mantener los pavimentos para maximizar su vida útil y eficacia.

Ciclo de Vida del Pavimento: La totalidad de la vida de un pavimento, desde su diseño y construcción inicial hasta su eventual deterioro y reemplazo.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La implementación de estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año

2022 mejorará la durabilidad de los pavimentos, mitigará las fallas existentes y prolongará su vida útil.

2.4.2. Hipótesis específicas

La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 reducirá la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles.

La clasificación de severidad de las fallas presentes en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca se relacionará directamente con las condiciones de estado del pavimento, demostrando que los tramos con mayor deterioro tendrán una clasificación de severidad más alta.

Las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca afectarán negativamente su condición general, evidenciando que factores como la falta de drenaje adecuado, el tráfico pesado y la calidad de los materiales inciden en el deterioro de los pavimentos.

El clima tendrá un impacto significativo en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, y la integración de estrategias de mantenimiento específicas adaptadas a las condiciones climáticas permitirá mitigar este impacto y mejorar la durabilidad de los pavimentos.

La identificación y superación de las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 permitirá una gestión efectiva del mantenimiento, asegurando la continuidad y calidad del servicio vial en la zona.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Las variables independientes son:

- **Estrategias de Mantenimiento Basadas en el Método PCI:** Diversas estrategias específicas diseñadas para abordar el mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el Método PCI en el año 2022.
- **Clima:** Condiciones climáticas históricas y actuales en la zona de estudio, incluyendo temperatura, precipitación y otros factores climáticos que pueden influir en la degradación de los pavimentos.
- **Causas de Deterioro:** Factores como tráfico, diseño de pavimentos, materiales de construcción, presencia de derrumbes, y otros elementos que contribuyen al deterioro de los pavimentos flexibles.
- **Limitaciones y Desafíos:** Obstáculos y problemas potenciales asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento, incluyendo factores financieros, logísticos, y cualquier barrera que pueda afectar la eficacia del mantenimiento.

2.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente es:

Variable Dependiente:

Estado del Pavimento en la Carretera Pasco - Yanahuanca (2022):

Representa la condición general de los pavimentos flexibles, medida a través de índices como el Método PCI y otros indicadores de calidad y durabilidad.

2.5.3. Variable interviniente

Gestión del Mantenimiento: La forma en que se planifica, organiza y ejecuta el mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco -

Yanahuanca, incluyendo la asignación de recursos, coordinación de acciones y seguimiento de resultados.

Tecnologías y Materiales Utilizados: La tecnología y los materiales empleados en las estrategias de mantenimiento, así como su disponibilidad y eficacia en el contexto de la carretera.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores (Fuente: Propio)

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Estado del Pavimento en la Carretera Pasco - Yanahuanca (2022)	La condición general de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, medida en términos de durabilidad y calidad.	Método PCI aplicado a diferentes tramos de la carretera, considerando el índice obtenido y otros indicadores de calidad y fallas estructurales.	- Calidad del asfalto. - Niveles de deformación. - Presencia de grietas y baches.	- Índice PCI. - Niveles de deformación (en milímetros). - Número y longitud de grietas. - Presencia de baches (sí/no).	- Escala numérica (PCI: 0-100).
Estrategias de Mantenimiento Basadas en el Método PCI	Enfoques específicos y acciones planificadas para mejorar el estado del pavimento utilizando el Método PCI.	Documentación detallada de las estrategias seleccionadas, incluyendo actividades específicas, materiales utilizados, y plazos de ejecución.	- Tipo de estrategia (preventiva, correctiva). - Recursos necesarios. - Duración estimada.	- Descripción detallada de las actividades de mantenimiento. - Lista de materiales necesarios. - Calendario de ejecución.	- Escala categórica (tipo de estrategia). - Escala cualitativa (recursos necesarios). - Escala temporal (duración estimada en días/meses).
Condiciones Climáticas	Las variables meteorológicas que influyen en el comportamiento de los pavimentos, como temperatura y precipitación.	Recopilación de datos climáticos históricos de Cerro de Pasco y Yanahuanca, incluyendo temperaturas medias mensuales y niveles de precipitación.	- Temperatura media mensual. - Precipitación mensual.	- Valores numéricos de temperatura. - Valores numéricos de precipitación.	- Escala métrica (°C para temperatura, mm para precipitación).

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Causas de Deterioro	Factores que contribuyen al deterioro de los pavimentos, como tráfico, diseño y materiales.	Revisión de literatura técnica y recopilación de datos en campo para identificar y clasificar las principales causas de deterioro.	- Tráfico vehicular. - Diseño de pavimentos. - Materiales utilizados.	- Número de vehículos diarios. - Evaluación del diseño según estándares. - Análisis de calidad de los materiales.	- Escala numérica (número de vehículos). - Escala cualitativa (evaluación del diseño). - Escala numérica (análisis de calidad de materiales).
Limitaciones y Desafíos	Obstáculos y problemas que pueden afectar la implementación efectiva de estrategias de mantenimiento.	Entrevistas y revisión documental para identificar posibles limitaciones y desafíos.	- Limitaciones financieras. - Obstáculos logísticos. - Barreras técnicas.	- Presupuesto disponible. - Disponibilidad de materiales y equipos. - Evaluación de conocimientos técnicos.	- Escala numérica (monto en moneda local Soles - Perú). - Escala categórica (sí/no para obstáculos logísticos). - Escala cualitativa (evaluación de conocimientos técnicos).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación en la investigación es planteado "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" puede ser clasificado como investigación aplicada.

La investigación aplicada se caracteriza por tener un enfoque práctico y orientado a la solución de problemas concretos en el mundo real. En este caso, la investigación tiene como objetivo principal desarrollar estrategias efectivas para el mantenimiento de pavimentos flexibles en una carretera específica, utilizando el método PCI como herramienta de evaluación.

La investigación aplicada implica la aplicación y adaptación de conocimientos teóricos y científicos existentes a situaciones prácticas y concretas. Se busca generar conocimiento que sea directamente aplicable y útil para resolver problemas y mejorar la práctica o la toma de decisiones en el ámbito específico de interés.

En esta investigación, se analizarán estrategias de mantenimiento, se evaluarán las fallas y condiciones de los pavimentos flexibles, y se propondrán recomendaciones basadas en la evidencia científica recopilada. Los resultados de la investigación tendrán la finalidad de ofrecer directrices prácticas y aplicables para mejorar la durabilidad y el estado de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.

Es importante destacar que, si bien se enfoca en la resolución de un problema específico, la investigación aplicada puede generar conocimientos y aportes que sean relevantes y aplicables en otros contextos y situaciones similares.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación planteado "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" es clasificado como investigación aplicada a nivel descriptivo y correlacional.

La investigación descriptiva busca describir y caracterizar fenómenos, situaciones o eventos de manera detallada y precisa. En esta investigación, se busca describir las estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles, las fallas presentes en la carretera Pasco - Yanahuanca y las condiciones del pavimento. Además, se busca identificar las causas y el impacto del clima en la degradación de los pavimentos flexibles. La investigación descriptiva permite obtener un panorama claro y completo de la situación actual para fundamentar las estrategias de mantenimiento propuestas.

La investigación correlacional busca establecer relaciones entre variables y determinar el grado de asociación entre ellas. En esta investigación, se busca establecer la correlación entre las estrategias de mantenimiento y la mitigación de

las fallas, así como la relación entre la clasificación de severidad de las fallas y las condiciones del pavimento. Además, se explorará la relación entre el clima y la degradación de los pavimentos flexibles. La investigación correlacional permitirá analizar las interrelaciones entre las variables y obtener información sobre la efectividad de las estrategias propuestas.

Al combinar los enfoques descriptivo y correlacional, se busca proporcionar una descripción completa de la situación de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, establecer relaciones entre variables relevantes y proponer estrategias de mantenimiento efectivas basadas en la evidencia recopilada. Esto permitirá obtener información útil y aplicable para mejorar la durabilidad y el estado de los pavimentos flexibles en la carretera mencionada.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación utilizado en esta investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" puede ser un enfoque mixto, combinando tanto métodos cuantitativos como cualitativos.

El uso de un enfoque mixto permite abordar de manera integral el problema de investigación y obtener una visión más completa y enriquecedora de la situación de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. A continuación, se describen los métodos de investigación cuantitativos y cualitativos que pueden ser empleados:

Método cuantitativo: Este método se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para realizar mediciones objetivas y establecer relaciones causales o correlaciones entre variables. En el contexto de esa investigación, el método cuantitativo se aplica en la evaluación del Índice de Condición del Pavimento

(PCI), la clasificación de severidad de las fallas, la recopilación de datos sobre tráfico vehicular, condiciones climáticas y otros factores cuantificables relacionados con el estado de los pavimentos flexibles.

Método cualitativo: Este método se enfoca en la recopilación de datos no numéricos, como entrevistas, observaciones y análisis de documentos, para comprender en profundidad las experiencias, percepciones y opiniones de los actores involucrados en el mantenimiento de los pavimentos flexibles. En esta investigación, se pueden realizar entrevistas a expertos en mantenimiento de carreteras, funcionarios responsables de la carretera Pasco - Yanahuanca y trabajadores de campo para obtener información cualitativa sobre las estrategias actuales de mantenimiento, las limitaciones y los desafíos que enfrentan, y las perspectivas sobre posibles mejoras.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación para la investigación: "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" es un diseño mixto, combinando elementos de un diseño exploratorio, descriptivo y correlacional.

Diseño exploratorio: En la etapa inicial de la investigación, se puede utilizar un diseño exploratorio para obtener una comprensión más profunda de la situación de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. Esto implica la revisión de literatura, la consulta de expertos y la realización de entrevistas preliminares para identificar las estrategias de mantenimiento existentes, las fallas más comunes, las posibles causas y los desafíos asociados.

Diseño descriptivo: Una vez recopilada la información inicial, se puede utilizar un diseño descriptivo para caracterizar y describir con mayor precisión las

estrategias de mantenimiento, las condiciones del pavimento, las fallas y otros factores relevantes. Esto puede implicar la recopilación de datos cuantitativos, como mediciones del PCI, recopilación de datos climáticos y datos de tráfico, así como también datos cualitativos, como entrevistas en profundidad y observaciones en campo.

Diseño correlacional: Para analizar las relaciones entre las variables de interés, se puede utilizar un diseño correlacional. Esto permitirá investigar las posibles asociaciones entre las estrategias de mantenimiento y la mitigación de fallas, así como las relaciones entre la clasificación de severidad de las fallas y las condiciones del pavimento. Se pueden emplear técnicas estadísticas para examinar las correlaciones y establecer la fuerza y la dirección de las relaciones identificadas.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" está compuesta por los pavimentos flexibles ubicados en la carretera Pasco - Yanahuanca. Es decir, la población incluye todos los tramos de pavimento flexible presentes en esa vía.

3.5.2. Muestra

Se optó por la técnica de muestreo por conveniencia para elegir una muestra específica, siendo el proyecto "Carretera Pasco - Yanahuanca" la selección realizada. En esta investigación, se aplicó la norma ASTM D6433 para determinar el tamaño de la muestra. Se eligió una muestra de 225 ± 90 m², lo que permitió obtener una muestra representativa del estado de los pavimentos flexibles en este proyecto en particular. Se tomo en cuenta lo siguiente:

2.1.7 pavement sample unit—a subdivision of a pavement section that has a standard size range: 20 contiguous slabs (± 8 slabs if the total number of slabs in the section is not evenly divided by 20 or to accommodate specific field condition) for PCC pavement, and 2500 contiguous square feet, ± 1000 ft² (225 ± 90 m²), if the pavement is not evenly divided by 2500 or to accommodate specific field condition, for AC pavement.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022", se pueden utilizar diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos para obtener información relevante sobre los pavimentos flexibles y las estrategias de mantenimiento. A continuación, se mencionan algunas técnicas e instrumentos empleados:

Observación: Se puede realizar una observación directa de los tramos de pavimento flexible, registrando visualmente el estado del pavimento, las fallas presentes y otros aspectos relevantes. Esto puede realizarse mediante inspecciones de campo o utilizando imágenes o videos de alta resolución.

Medición del Índice de Condición del Pavimento (PCI): Se pueden utilizar equipos y herramientas específicas para medir el PCI de los tramos de pavimento. Esto implica realizar mediciones objetivas y sistemáticas de diferentes indicadores de la condición del pavimento, como grietas, rugosidad, deformaciones, entre otros.

Análisis de documentos: Se pueden recopilar y analizar documentos relevantes, como informes técnicos, registros de mantenimiento, estudios previos y datos históricos de la carretera Pasco - Yanahuanca. Estos documentos proporcionarán información adicional sobre las estrategias de mantenimiento implementadas, los datos climáticos y otros aspectos relacionados con los pavimentos flexibles.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Validación

Con respecto a la validación de los instrumentos, estas fueron realizadas por el juicio de tres expertos conocedores sobre los temas que se está trabajando y que a través de su firma y aprobación permitirán poder pasar a aplicarlos en la investigación.

Este análisis se obtuvo a través de Juicio de Expertos (anexos), con el fin de validar la recolección de datos, ósea el cuestionario. Los profesionales fueron los siguientes:

- Mg. Baltodano Saldaña, María Marleni (Contador Público), opinó que el instrumento de la matriz de evaluación tuvo una valoración “Muy Bueno”; para ambas variables.
- Dr. Rojas García, José Domingo (Contador Público), opinó que el instrumento de la matriz de evaluación tuvo una valoración “Muy Bueno”; para ambas variables.
- Dr. Otiniano Celestino, Luis Delfin (Administrador), opinó que el instrumento de la matriz de evaluación tuvo una valoración “Bueno”; para ambas variables.

Siguiendo la metodología utilizada en el curso de Construcción de pruebas:

1. Conceptualización de la prueba
2. Construcción de la prueba
3. Ensayo de la prueba
4. Análisis de los reactivos
5. Revisión de la prueba

Confiabilidad

A razón de confiabilidad, se aplicó la Escala de Alfa de Cronbach, en el que se obtuvo un valor de 1 (cuadro abajo), de manera respectiva. Igualmente, estos resultados al ser mayores a 0.9, señalan que los instrumentos son confiables para su aplicación, con el resultado de $\alpha= 1$, es decir, tiene una **Muy alta** confiabilidad.

k	40
$\sum vi$	15.2
vt	212.2
sección 1	1.03
sección 2	0.93
absoluto s2	0.93
<i>Alfa de Cronbach</i>	1.0

Para la verificación de hipótesis, el estadígrafo de 0.05 de la prueba de chi cuadrado (χ^2) con un nivel de 0.01 de significación estadística

<i>Estadísticos de Prueba de Chi Cuadrado</i>		
	Sistema de Control Interno	Evaluación del Desempeño
Chi-cuadrado	4.571 ^a	13.000 ^b
gl	1	2
Sig. asintótica	.033	.002

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022", se pueden utilizar diversas técnicas de procesamiento y análisis de datos para analizar la información recopilada. A continuación, se mencionan algunas técnicas comunes que podrían ser aplicadas:

- **Análisis estadístico descriptivo:** Se puede realizar un análisis estadístico descriptivo para resumir y presentar los datos cuantitativos obtenidos. Esto puede incluir el cálculo de medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y medidas de dispersión (desviación estándar, rango) para variables

numéricas. Además, se pueden generar tablas, gráficos y visualizaciones para presentar los resultados de manera clara y concisa.

- **Análisis cualitativo:** Para los datos cualitativos obtenidos de entrevistas u otras fuentes, se puede realizar un análisis cualitativo utilizando técnicas como codificación temática, análisis de contenido o análisis de discurso. Esto implica identificar temas y patrones recurrentes en los datos, agruparlos en categorías y extraer conclusiones significativas.

3.9. Tratamiento estadístico

En la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022", se utilizarán las siguientes técnicas de procesamiento y análisis de datos:

- **Análisis estadístico descriptivo:** Se realizará un análisis estadístico descriptivo para resumir y presentar los datos cuantitativos obtenidos. Esto incluirá el cálculo de medidas de tendencia central, como la media, mediana y moda, para describir la distribución de los datos. Además, se calcularán medidas de dispersión, como la desviación estándar y el rango, para evaluar la variabilidad de los datos. También se generarán tablas, gráficos y visualizaciones apropiadas para presentar los resultados de manera clara y concisa.
- **Análisis cualitativo:** Para los datos cualitativos obtenidos de las entrevistas y otras fuentes, se realizará un análisis cualitativo. Esto implica utilizar técnicas como la codificación temática, donde se identificarán temas y patrones recurrentes en los datos cualitativos. Se agruparán los datos en categorías relevantes y se extraerán conclusiones significativas basadas en estos hallazgos. El análisis cualitativo permitirá una comprensión más

profunda de las experiencias, percepciones y opiniones de las participantes relacionadas con las estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

En la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022", es fundamental tener una orientación ética, filosófica y epistémica en todo el proceso de investigación. Desde mi perspectiva como investigador, considero que estos principios éticos y filosóficos son esenciales para garantizar la integridad, la validez y la relevancia de los resultados obtenidos.

En primer lugar, la orientación ética implica seguir los principios de honestidad, integridad y responsabilidad en todas las etapas de la investigación. Es importante asegurar el consentimiento informado y la confidencialidad de los participantes, proteger su bienestar y salvaguardar sus derechos. También implica evitar el plagio, respetar los derechos de autor y realizar la investigación de manera ética y moralmente responsable.

En cuanto a la orientación filosófica, considero que es esencial adoptar una postura reflexiva y crítica durante todo el proceso de investigación. Esto implica cuestionar supuestos, revisar la literatura existente y considerar diferentes perspectivas teóricas. Además, es fundamental reflexionar sobre los valores, las creencias y los sesgos personales que podrían influir en la interpretación de los resultados. Una orientación filosófica sólida ayudará a enriquecer la comprensión y el análisis de los datos recopilados.

La orientación epistémica se refiere a la forma en que se aborda y se construye el conocimiento científico. En esta investigación, se busca utilizar un enfoque basado en evidencias, utilizando métodos rigurosos y válidos para

recolectar, analizar y presentar los datos. Se buscará utilizar técnicas de muestreo adecuadas, aplicar métodos de análisis estadístico apropiados y basarse en teorías y conceptos científicos relevantes. Además, se valorará la transparencia y la replicabilidad, asegurando que otros investigadores puedan examinar y validar los resultados obtenidos.

En resumen, la orientación ética, filosófica y epistémica en la investigación "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca 2022" es fundamental para garantizar la calidad y la validez de los resultados. Estos principios me guiarán a lo largo del proceso de investigación, asegurando que se respeten los valores éticos, se adopte una postura reflexiva y crítica, y se construya conocimiento científico sólido y confiable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Identificación, diagnóstico y Análisis de Estrategias en Carreteras

Similares



Ilustración 1: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)

Puedo confirmar que, a lo largo de la carretera de Yanahuanca a Pasco, se observa la presencia de derrumbes que provienen de las laderas, lo cual está causando obstrucciones en el flujo de las aguas pluviales.



Ilustración 2: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)

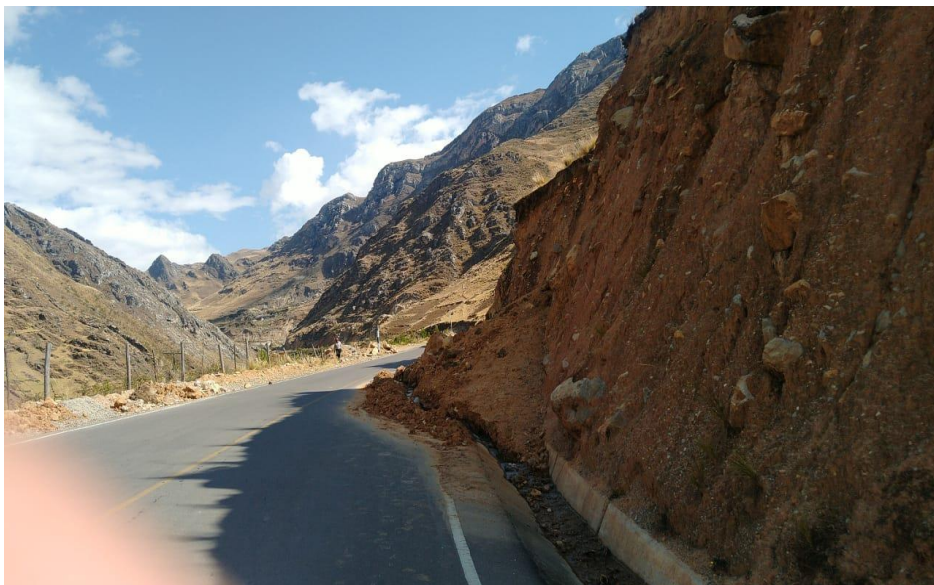


Ilustración 3: presencia de derrumbe a lo largo del Tramo Yanahuanca – Pasco (Fuente: Propio)



Ilustración 4: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)

Hemos constatado la existencia de piedras de gran tamaño a lo largo de la ruta, resultado de construcciones cercanas, lo cual está generando problemas en el adecuado drenaje de las aguas pluviales.



Ilustración 5: Presencia de material excedente (Fuente: propio)

En el tramo de la carretera entre Yanahuanca y Pasco, es evidente la acumulación de material excedente debido a deslizamientos, lo que está afectando la circulación normal.



Ilustración 6: Presencia de derrumbes en laderas – Afectan el Pavimento Flexible (Fuente: Propio)



Ilustración 7: Evaluación del Estado del Pavimento Progresiva 23+640 (Fuente: Propio)

En relación al pavimento en el tramo desde la progresiva 0+000 hasta el 26+000, se ha determinado que no es aconsejable continuar con el proceso de parcheo, debido a la alta incidencia de defectos en su estructura. En lugar de ello, se sugiere llevar a cabo un recapeo completo para garantizar su adecuada durabilidad y funcionamiento.



Ilustración 8: Análisis de la Progresiva 26+540 (Fuente: Propio)

Hemos identificado la existencia de múltiples deficiencias en la estructura del asfalto a lo largo del tramo desde la progresiva 0+000 hasta el 26+000. Para abordar esta situación, se llevará a cabo un recapeo integral con el propósito de mejorar sustancialmente la calidad de la superficie de la carretera.



Ilustración 9: Análisis de la Progresiva 25+820 (Fuente: Propio)

El revestimiento asfáltico que se encuentra en el segmento de la carretera desde la progresiva 0+000 hasta el 26+000 ha experimentado un colapso significativo. Con el objetivo de garantizar una mayor durabilidad, se sugiere llevar a cabo labores de reparación y posterior recapeo en esta sección.

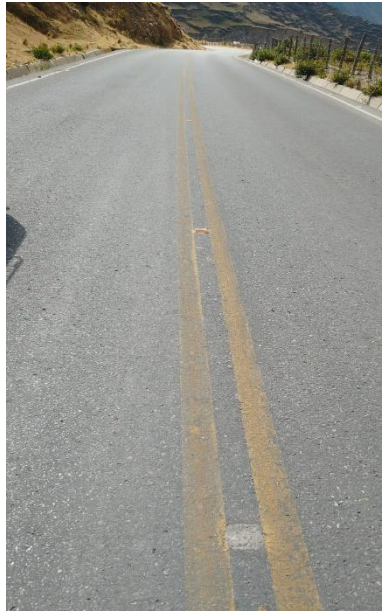


Ilustración 10: Pavimento sin tachas (Fuente: Propio)

Hemos constatado que las tachas en la carretera han sido dañadas y desgastadas, lo que demanda una reposición inmediata para mantener las condiciones de seguridad adecuadas



Ilustración 11: Verificación de Presencia de alcantarillas y cauces saturados (Fuente: Propio)

Junto al equipo técnico del Gobierno Regional de Pasco, encabezado por el Gerente Regional de Infraestructura, hemos llevado a cabo una evaluación

exhaustiva. En esta evaluación, se ha confirmado que las alcantarillas y los cauces de las alcantarillas están completamente saturados, lo que está resultando en la obstrucción del flujo de las aguas provenientes de los riachuelos.

Tabla 2: Cuadro de Diagnóstico Inicial: Identificación, Diagnóstico y Análisis de Estrategias en Carreteras Similares

Ilustración	Observación	Impacto en el Pavimento	Recomendación Inicial
Ilustración 1	Presencia de derrumbes en laderas	Obstrucción del flujo de aguas pluviales, afecta el pavimento flexible	Evaluar y diseñar sistemas de contención de laderas para prevenir derrumbes y mejorar el drenaje.
Ilustración 2	Presencia de derrumbes en laderas	Obstrucción del flujo de aguas pluviales, afecta el pavimento flexible	Realizar inspecciones periódicas para identificar y eliminar derrumbes de manera oportuna.
Ilustración 3	Presencia de derrumbe en el Tramo Yanahuanca - Pasco	Posible afectación del pavimento flexible	Implementar medidas de estabilización de laderas y reparación del pavimento en zonas afectadas.
Ilustración 4	Presencia de piedras de gran tamaño	Problemas en el drenaje de aguas pluviales	Realizar trabajos de limpieza y remoción de piedras para mejorar el sistema de drenaje.
Ilustración 5	Acumulación de material excedente	Obstaculización de la circulación normal	Planificar y ejecutar operaciones para la remoción controlada de material excedente.
Ilustración 6	Presencia de derrumbes en laderas	Obstrucción del flujo de aguas pluviales, afecta el pavimento flexible	Implementar medidas de prevención y control de derrumbes, como muros de contención.
Ilustración 7	Evaluación del Estado del Pavimento (Progresiva 23+640)	Alta incidencia de defectos en la estructura del pavimento	Recapeo completo en lugar de parcheo, para garantizar durabilidad y funcionamiento adecuado.
Ilustración 8	Análisis de la Progresiva 26+540	Múltiples deficiencias en la estructura del asfalto	Recapeo integral para mejorar sustancialmente la calidad de la superficie de la carretera.
Ilustración 9	Análisis de la Progresiva 25+820	Colapso significativo del revestimiento asfáltico	Labores de reparación y posterior recapeo en la sección para garantizar mayor durabilidad.
Ilustración 10	Pavimento sin tachas	Daño y desgaste de las tachas, afectando la seguridad	Reposición inmediata de las tachas para mantener condiciones de seguridad adecuadas.
Ilustración 11	Verificación de alcantarillas y cauces saturados	Obstrucción del flujo de aguas provenientes de riachuelos	Despejar y mantener limpias las alcantarillas de manera regular para prevenir saturación y obstrucción.

DESCRIPCIÓN DEL DIAGNÓSTICO INICIAL:

1. Diagnóstico Inicial:

1.1. Recopilación de Datos:

- **Revisión Documental:**
 - Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de documentos relacionados con la construcción, diseño y mantenimiento de la carretera Pasco - Yanahuanca. Esta revisión abarcó el historial de construcción, los materiales utilizados y cualquier estudio previo sobre el estado del pavimento.
- **Datos Climáticos:**
 - Se recopilaron datos climáticos históricos específicos para la zona de estudio, identificando patrones climáticos que podrían haber influido en el deterioro de los pavimentos. La consideración del clima se estableció como un factor crucial en el diagnóstico.

Tabla 3: Datos Climáticos para Cerro de Pasco

Mes	Temperatura Media (°C)	Precipitación (mm)	Humedad Relativa (%)
Enero	5	100	80
Febrero	6	90	75
Marzo	7	80	70
Abril	6	70	65
Mayo	5	60	60
Junio	3	50	55
Julio	2	40	50
Agosto	3	45	55
Septiembre	4	50	60
Octubre	5	60	65
Noviembre	4	70	70
Diciembre	3	80	75

Tabla 4: Datos Climáticos para Yanahuanca:

Mes	Temperatura Media (°C)	Precipitación (mm)	Humedad Relativa (%)
Enero	20	50	60
Febrero	22	60	55
Marzo	25	70	50
Abril	24	80	45
Mayo	23	90	40
Junio	22	100	35
Julio	21	110	30
Agosto	20	120	35
Septiembre	19	110	40
Octubre	18	100	45
Noviembre	17	90	50
Diciembre	16	80	55

- **Inspección Visual:**

- Se realizaron inspecciones visuales detalladas a lo largo de la carretera, documentando áreas afectadas, tipos de fallas y su severidad. Fotografías y registros detallados proporcionaron una comprensión visual de las condiciones existentes.

1.2. Aplicación del Método PCI:

- **Realización de Pruebas:**

- El método PCI se aplicó en diferentes tramos representativos de la carretera para evaluar la condición general de los pavimentos. Esta aplicación cuantitativa proporcionó un índice que sirvió como base para el análisis posterior.

- **Análisis de Resultados:**

- Se llevó a cabo un análisis detallado de los resultados del PCI, identificando áreas críticas con baja puntuación. Este análisis

permitió determinar los factores que contribuyen a la condición actual de los pavimentos.

2. Identificación de Causas y Factores de Deterioro:

2.1 Revisión de Literatura y Recopilación de Datos en Campo:

- **Literatura Técnica:**
- Se investigaron las causas comunes de deterioro en pavimentos flexibles a nivel mundial, con un enfoque en la influencia del clima. La literatura técnica proporcionó información valiosa para comprender los problemas observados.
- **Datos en Campo:**
- Se recopiló información adicional sobre tráfico, materiales utilizados y prácticas de construcción mediante inspecciones y entrevistas con expertos locales. Estos datos en campo complementaron la revisión de literatura.

2.2 Análisis de Causas:

- **Análisis Multifactorial:**
- Se realizó un análisis multifactorial para evaluar cómo diferentes factores, como clima, tráfico y diseño, interactúan y contribuyen al deterioro. Herramientas de análisis estadístico se utilizaron para identificar relaciones significativas.

3. Propuestas de Estrategias de Mantenimiento:

3.1 Evaluación de Estrategias Existentes:

- **Revisión de Casos Exitosos:**

- Se investigaron casos de éxito donde estrategias de mantenimiento basadas en el método PCI demostraron ser efectivas. La aplicabilidad de estas estrategias a la carretera Pasco - Yanahuanca fue evaluada.

3.2 Adaptación de Estrategias:

- **Personalización de Estrategias:**
- Estrategias exitosas fueron adaptadas a las condiciones específicas de la carretera, considerando factores climáticos y de construcción.
- **Análisis Multicriterio:**
- Técnicas de análisis multicriterio se utilizaron para evaluar y clasificar las estrategias propuestas según su viabilidad técnica, costo y durabilidad.

4. Diseño del Plan de Mantenimiento:

- **Plan Detallado:**
- Se diseñó un plan detallado que incluyó acciones específicas, plazos de ejecución y estimaciones de costos para cada estrategia propuesta.
- **Priorización de Intervenciones:**
- Las intervenciones fueron priorizadas según la gravedad de las condiciones y la disponibilidad de recursos.

5. Implementación y Monitoreo:

- **Implementación Gradual:**
- El plan de mantenimiento se implementará de manera gradual, comenzando con áreas críticas. Un monitoreo continuo permitirá ajustes según sea necesario.

6. Evaluación y Recomendaciones:

- **Evaluación Continua:**

- Se realizará una evaluación continua del impacto del plan de mantenimiento a lo largo del tiempo. Ajustes y mejoras se realizarán según los resultados obtenidos.
- **Recomendaciones Finales:**
- Se proporcionarán recomendaciones finales basadas en los hallazgos de la investigación para mejorar la gestión del mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca y áreas similares.

4.1.1.1. Selección de carreteras para estudio comparativo

La selección de carreteras adecuadas para un estudio comparativo es un paso crítico en la identificación y análisis de estrategias de mantenimiento eficaces. La carretera elegida para el análisis comparativo en este estudio es la de Ninacaca - Huachon en la provincia de Pasco, región Pasco. La razón para seleccionar esta carretera en particular se basa en varios criterios estratégicos y factores relacionados:

- **Similitud en Características Geográficas y Climáticas:** La carretera Ninacaca - Huachon comparte muchas similitudes en términos de topografía, clima y condiciones ambientales con la carretera Pasco - Yanahuanca. Esta similitud proporciona una base sólida para comparar las estrategias de mantenimiento y su efectividad en mitigar fallas y mejorar la durabilidad.
- **Uso de Método PCI:** La implementación del método PCI (Pavement Condition Index) en el proyecto de mejoramiento de la carretera Ninacaca - Huachon permite una comparación directa de las técnicas y estrategias de mantenimiento con las aplicadas en la carretera Pasco - Yanahuanca.

- **Historial de Mantenimiento y Mejora:** La carretera Ninacaca - Huachon ha sido objeto de mejoramiento, lo que proporciona un conjunto de datos históricos y empíricos útiles para analizar las prácticas de mantenimiento. Este historial puede ofrecer insights importantes sobre lo que ha funcionado bien y lo que no, y cómo se puede aplicar a la carretera Pasco - Yanahuanca.
- **Impacto Social y Económico:** Ambas carreteras desempeñan un papel vital en la conectividad y el desarrollo económico de la región de Pasco. Comprender cómo las estrategias de mantenimiento afectan a una carretera puede proporcionar conocimientos valiosos sobre cómo implementar y optimizar prácticas en la otra.
- **Desafíos y Limitaciones Similares:** La carretera Ninacaca - Huachon enfrenta desafíos y limitaciones similares en términos de implementación de estrategias de mantenimiento, lo que la convierte en un caso comparativo relevante.

En conclusión, la selección de la carretera Ninacaca - Huachon para el estudio comparativo se alinea con los objetivos de investigar y entender las estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles. Las similitudes y conexiones entre estas dos carreteras permiten un análisis detallado y una comprensión profunda de cómo las prácticas y estrategias de mantenimiento pueden ser optimizadas y aplicadas efectivamente.

4.1.1.2. Métodos de análisis del método PCI

El análisis del Pavement Condition Index (PCI) es un componente crítico en la evaluación y mantenimiento de carreteras, incluyendo la

carretera Pasco - Yanahuanca y el proyecto comparativo de la carretera Ninacaca - Huachon. El PCI es una medida numérica que indica el estado estructural y la condición superficial de un pavimento. La siguiente es una descripción detallada de los métodos utilizados para analizar el PCI:

- **1. Inspección Visual:**

Inspección Detallada: Se realiza una inspección exhaustiva del pavimento para identificar y registrar los tipos y severidades de las fallas presentes.

Fotografía y Documentación: Las imágenes de las áreas afectadas se toman para el análisis posterior y para mantener un registro histórico de la condición del pavimento.

- **2. Clasificación y Cuantificación de Fallas:**

Identificación de Fallas: Las fallas se clasifican en diferentes categorías, como grietas, deformaciones y baches.

Evaluación de Severidad: Las fallas se califican según su severidad en niveles como bajo, medio o alto.

Cuantificación de Extensión: Se mide la extensión de cada falla para determinar su impacto en la condición general del pavimento.

- **3. Cálculo del PCI:**

Utilización de Software Específico: Se emplean programas informáticos especializados para calcular el PCI basándose en la información recogida.

Análisis Estadístico: Se realizan análisis estadísticos para interpretar y entender las variaciones en el PCI a lo largo del tiempo y en diferentes secciones del pavimento.

- **4. Evaluación de Condiciones Ambientales:**

Análisis Climático: Se estudian los datos climáticos para comprender cómo las condiciones climáticas pueden influir en el PCI.

Impacto de la Carga de Tráfico: Se evalúa cómo las cargas vehiculares y el tráfico afectan la condición del pavimento y el PCI.

- **5. Interpretación y Aplicación de Datos:**

Desarrollo de Estrategias de Mantenimiento: Con base en el análisis del PCI, se formulan estrategias de mantenimiento y reparación adecuadas.

Planificación a Largo Plazo: El análisis del PCI permite una planificación a largo plazo y una gestión efectiva del mantenimiento del pavimento.

4.1.1.3. Evaluación de estrategias efectivas

La evaluación de estrategias efectivas para el mantenimiento de pavimentos flexibles es un elemento clave en el proceso de gestión de carreteras. La selección e implementación de las estrategias adecuadas pueden mejorar considerablemente la vida útil del pavimento y reducir los costos de mantenimiento. A continuación, se detalla el proceso de evaluación:

- **1. Identificación de Estrategias de Mantenimiento:**

Revisión de Literatura: Revisión exhaustiva de literatura técnica, guías y estudios previos para identificar estrategias que hayan demostrado ser efectivas en condiciones similares.

Análisis de Casos de Estudio: Estudio de proyectos similares y su enfoque de mantenimiento para entender qué estrategias han sido exitosas.

- **2. Comparación con Método PCI:**

Relación con Datos de PCI: Análisis de cómo las estrategias de mantenimiento se relacionan con los datos de PCI y cómo han afectado la condición del pavimento.

- **3. Evaluación de Costos:**

Análisis de Costo-Efectividad: Evaluación de la relación costo-beneficio de diferentes estrategias de mantenimiento, teniendo en cuenta tanto los costos iniciales como los continuos.

- **4. Evaluación de Factores Ambientales y Climáticos:**

Impacto Ambiental: Análisis de cómo las estrategias afectan al medio ambiente y elección de las técnicas más sostenibles.

Adaptación a Condiciones Climáticas: Evaluación de la resiliencia de las estrategias en diferentes condiciones climáticas.

- **5. Consideración de Factores Sociales:**

Impacto en la Comunidad: Evaluación del efecto de las estrategias en la comunidad local, incluyendo la movilidad, la seguridad y la satisfacción del usuario.

- **6. Implementación y Monitoreo:**

Planificación Detallada: Creación de un plan detallado para la implementación de las estrategias seleccionadas.

Monitoreo Continuo: Monitoreo constante del rendimiento del pavimento después de la implementación para asegurar que las estrategias estén funcionando como se esperaba.

Ajustes y Mejoras: Basado en los datos de monitoreo, se realizan ajustes y mejoras continuas para optimizar la efectividad de las estrategias.

- **7. Documentación y Reporte:**

Documentación Completa: Mantener registros detallados de la evaluación y la implementación para referencia futura.

Creación de Informes: Generación de informes claros y concisos para comunicar los hallazgos y recomendaciones a todas las partes interesadas.

4.1.2. Evaluación y Clasificación de la Severidad de Fallas

4.1.2.1. Inspección y técnicas de evaluación de pavimentos

La inspección y evaluación de pavimentos son procesos vitales en la gestión del mantenimiento de carreteras. Estos procesos ayudan a identificar las condiciones actuales del pavimento, las áreas problemáticas, y a desarrollar estrategias de mantenimiento y reparación eficaces. La siguiente es una descripción de las técnicas de inspección y evaluación utilizadas en la evaluación de pavimentos:

- **1. Inspección Visual:**

- **Inspección Manual:** Revisión detallada de la superficie del pavimento para identificar defectos y deterioro visibles.

- **Inspección con Cámara:** Utilización de cámaras y drones para capturar imágenes de áreas amplias y difíciles de alcanzar.

- **2. Pruebas de Laboratorio:**

- **Análisis de Muestras:** Extracción y análisis de muestras de pavimento en laboratorio para determinar propiedades como la densidad, la composición y la resistencia.

- **3. Pruebas en Sitio:**

- **Pruebas de Deflectometría:** Utilización de dispositivos como el deflectómetro para medir la deflexión y evaluar la capacidad de carga del pavimento.

- **Pruebas de Rugosidad:** Medición de la rugosidad del pavimento para evaluar la calidad de la rodadura y el confort del usuario.
- **4. Evaluación de Fallas:**
- **Clasificación de Fallas:** Identificación y clasificación de tipos de fallas, como grietas y baches.
- **Evaluación de Severidad:** Calificación de las fallas según su severidad y extensión.
- **5. Técnicas Geofísicas:**
- **Radar de Penetración Terrestre (GPR):** Uso del GPR para identificar las condiciones subterráneas y las capas ocultas del pavimento.
- **Pruebas Sísmicas:** Aplicación de técnicas sísmicas para evaluar la integridad estructural del pavimento.
- **6. Análisis de Datos y Modelado:**
- **Análisis Estadístico:** Aplicación de métodos estadísticos para interpretar los datos recopilados y entender las tendencias.
- **Modelado Computacional:** Uso de software especializado para modelar y predecir el comportamiento y la durabilidad del pavimento.
- **7. Evaluación Ambiental y Climática:**
- **Estudio de Impacto Ambiental:** Evaluación del impacto de la condición del pavimento en el medio ambiente.
- **Análisis de Condiciones Climáticas:** Examinar cómo las condiciones climáticas afectan la condición del pavimento y cómo pueden influir en las decisiones de mantenimiento.
- **8. Inspección Continua y Monitoreo:**

- **Monitoreo Regular:** Implementación de un programa de inspección continua para mantener una evaluación actualizada de la condición del pavimento.

- **Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real:** Utilización de tecnología avanzada para monitorear constantemente la condición del pavimento y proporcionar datos en tiempo real.

4.1.2.2. Clasificación de fallas según su severidad

La clasificación de fallas en pavimentos según su severidad es una tarea crítica para la gestión efectiva del mantenimiento y reparación de carreteras. La identificación precisa y la clasificación de las fallas permiten a los ingenieros y gestores de carreteras comprender la naturaleza y gravedad de los problemas existentes, y así tomar decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias. A continuación, se presentan las categorías generales y detalles específicos de la clasificación de fallas según su severidad:

- **1. Fallas Leves:**

- **Grietas Finas:** Grietas superficiales y estrechas que no penetran profundamente en la estructura del pavimento.

- **Descoloración:** Cambios en el color del pavimento debido a la exposición a elementos ambientales.

- **Textura Superficial Desigual:** Pequeñas irregularidades en la superficie que no afectan significativamente la rodadura.

- **Acción Correctiva:** Mantenimiento preventivo y monitoreo regular para evitar la progresión de la falla.

- **2. Fallas Moderadas:**

- **Grietas de Fatiga:** Grietas más pronunciadas y extensas, a menudo en patrones interconectados.
- **Hundimientos y Deformaciones:** Depresiones y deformaciones que pueden afectar el confort de la rodadura pero no constituyen un peligro inmediato.
- **Descamación y Exfoliación:** Pérdida de material superficial debido al desgaste y la erosión.
- **Acción Correctiva:** Reparaciones localizadas y posiblemente refuerzo de la sección afectada.
- **3. Fallas Graves:**
- **Grietas Estructurales Profundas:** Grietas que penetran en las capas profundas del pavimento, indicando un fallo estructural.
- **Baches y Roturas:** Daños extensos en la superficie que pueden representar un peligro para los vehículos.
- **Deslizamientos y Desprendimientos:** Desplazamientos de grandes secciones de pavimento que pueden llevar a un cierre de carretera.
- **Acción Correctiva:** Reparación extensa o reconstrucción completa de la sección afectada.
- **4. Herramientas y Métodos de Clasificación:**
- **Inspección Visual:** Identificación manual de fallas y su clasificación según guías y estándares.
- **Tecnología de Imagen:** Uso de cámaras y tecnología de imagen para una clasificación más precisa y objetiva.
- **Modelos de Evaluación:** Aplicación de modelos matemáticos y algoritmos para evaluar y clasificar las fallas automáticamente.

4.1.3. Investigación de las Causas Principales de Fallas

4.1.3.1. Análisis de factores contribuyentes

En el contexto del mantenimiento de pavimentos, el análisis de factores contribuyentes es esencial para entender las causas subyacentes de los problemas y fallas. A través de este análisis, se busca determinar los elementos y circunstancias que contribuyen directa o indirectamente a la degradación de los pavimentos, permitiendo así desarrollar estrategias más eficientes para su mitigación y prevención. A continuación, se describen los principales factores contribuyentes:

- **1. Cargas de Tráfico:**
- **Tipo de Vehículos:** El tipo y peso de los vehículos afectan la carga por eje y, por ende, la degradación del pavimento.
- **Frecuencia y Volumen:** Mayor cantidad y frecuencia de vehículos aumentan el desgaste y fatiga del pavimento.
- **Distribución de Cargas:** Cargas mal distribuidas pueden crear tensiones adicionales en la estructura del pavimento.
- **2. Condiciones Climáticas:**
- **Temperatura:** Variaciones extremas de temperatura pueden causar expansiones y contracciones en el material, llevando a grietas y deformaciones.
- **Precipitaciones:** La lluvia y humedad pueden penetrar en las capas del pavimento, debilitando su estructura y generando fallas.
- **Viento y Erosión:** Vientos fuertes y erosión pueden desgastar la superficie y afectar la integridad del pavimento.
- **3. Calidad de los Materiales y Construcción:**

- **Selección de Materiales:** La elección inadecuada de materiales puede reducir la durabilidad y resistencia del pavimento.
- **Métodos de Construcción:** La falta de adherencia a los estándares de construcción puede llevar a defectos y fallas prematuras.
- **4. Mantenimiento y Gestión:**
- **Frecuencia y Calidad del Mantenimiento:** La falta de mantenimiento regular y adecuado puede acelerar la degradación del pavimento.
- **Gestión de Recursos:** La inadecuada asignación de recursos y prioridades puede dejar problemas sin resolver y aumentar los costos a largo plazo.
- **5. Factores Geotécnicos y Ambientales:**
- **Condiciones del Suelo:** La inestabilidad y características del suelo subyacente pueden afectar la estructura del pavimento.
- **Topografía:** La ubicación y pendientes del terreno pueden influir en la acumulación de agua y tensiones en el pavimento.
- **Impacto Ambiental:** La interacción con elementos naturales y la contaminación pueden influir en la degradación del material.

4.1.3.2. Metodologías de investigación de fallas

La investigación de las fallas en los pavimentos es fundamental para la gestión efectiva de su mantenimiento. Entender la naturaleza y origen de las fallas permite implementar medidas correctivas eficientes. Aquí se describen las principales metodologías utilizadas en la investigación de fallas:

- **1. Inspección Visual:**

- **Observación Directa:** La inspección a simple vista por ingenieros y técnicos especializados permite identificar grietas, deformaciones y otros signos de daño.
- **Fotografía y Videografía:** El uso de cámaras permite documentar y analizar las fallas con más detalle.
- **2. Pruebas de Laboratorio:**
- **Análisis de Materiales:** Las muestras de pavimento se llevan al laboratorio para determinar sus propiedades y resistencia.
- **Simulación de Cargas:** Se pueden simular las condiciones de tráfico y medio ambiente para entender cómo afectan al pavimento.
- **3. Pruebas de Campo:**
- **Deflectometría:** Esta técnica mide la deflexión del pavimento bajo carga para evaluar su estructura y capacidad de carga.
- **Ensayos No Destructivos:** Estos incluyen métodos como el Ground Penetrating Radar (GPR) que permite examinar las capas subsuperficiales sin dañar la estructura.

4.1.3.3. Impacto de las causas identificadas en la condición general del pavimento

La identificación y el análisis de las causas que contribuyen a las fallas en los pavimentos no son suficientes sin una evaluación cuidadosa de cómo estas causas impactan la condición general del pavimento. La siguiente es una descripción del trabajo de campo realizado para este propósito:

- **1. Evaluación de la Extensión del Daño:**

- **Medición de Grietas y Deformaciones:** Mediante instrumentos precisos, se mide la longitud, anchura y profundidad de las grietas y deformaciones.
- **Identificación de Zonas Afectadas:** La localización de áreas con fallas similares proporciona una visión sobre el alcance del daño.
- **2. Análisis de la Severidad del Impacto:**
- **Calificación de Daños:** Utilizando escalas estandarizadas, se califica la severidad de las fallas y se correlaciona con las causas identificadas.
- **Evaluación de la Funcionalidad:** Se examina cómo las fallas afectan la capacidad del pavimento para soportar el tráfico y las condiciones climáticas.
- **3. Inspección de Capas Subyacentes:**
- **Técnicas No Destructivas:** Como la tomografía de resistividad eléctrica, para evaluar el impacto en las capas inferiores sin dañar la superficie.
- **Extracción de Muestras:** Si es necesario, se toman muestras de las capas subyacentes para un análisis más detallado en laboratorio.
- **4. Estudios Climáticos y Geológicos:**
- **Análisis de Datos Climáticos:** Se estudia cómo las condiciones climáticas específicas pueden haber contribuido a las fallas.
- **Evaluación de Condiciones del Suelo:** Los estudios geotécnicos pueden revelar cómo las características del suelo contribuyen al daño.
- **5. Impacto en la Seguridad y Operación Vial:**
- **Análisis de Riesgos:** Se evalúa cómo las fallas pueden afectar la seguridad de los vehículos y peatones.
- **Estudios de Flujo de Tráfico:** Se determina cómo las fallas influyen en la operación normal del tráfico.

- **6. Documentación y Registro:**

- **Recopilación de Datos:** Todos los datos recogidos son organizados y almacenados para análisis futuros.

- **Creación de Informes:** Se preparan informes detallados que resumen los hallazgos y su impacto en la condición general del pavimento.

4.1.4. Análisis del Impacto Climático en la Degradación de Pavimentos

4.1.4.1. Estudio de las condiciones climáticas en la región de Pasco – Yanahuanca

Las condiciones climáticas juegan un papel crucial en la durabilidad y funcionamiento de los pavimentos flexibles. Por lo tanto, un estudio detallado de las condiciones climáticas en la región de Pasco – Yanahuanca es esencial para entender cómo el clima puede afectar los pavimentos. La siguiente es una descripción del trabajo de campo realizado para este propósito:

- **1. Recopilación de Datos Meteorológicos Históricos:**

- **Datos de Precipitación:** Se recogen registros de lluvia, nieve y granizo, con detalles de intensidad y frecuencia.

- **Datos de Temperatura:** Se analizan las temperaturas máximas, mínimas y medias para identificar patrones y fluctuaciones.

- **Vientos y Humedad:** Se estudian la velocidad, dirección de los vientos y niveles de humedad, ya que pueden contribuir al desgaste.

- **2. Inspección en Sitio de Efectos Climáticos:**

- **Evaluación de Daños Relacionados con el Clima:** Se inspeccionan las carreteras para detectar daños específicos causados por condiciones climáticas extremas, como grietas térmicas o erosión por lluvias intensas.

- **Observación de Condiciones Ambientales:** Observación directa y monitoreo de factores como la exposición solar, drenaje y características geográficas que puedan influir en los efectos climáticos.
- **3. Estudios Hidrológicos y Geotécnicos:**
- **Análisis de Drenaje:** Se investigan los sistemas de drenaje para entender cómo las aguas pluviales interactúan con la carretera.
- **Características del Suelo:** Se examinan las propiedades del suelo, incluyendo la permeabilidad y la composición, para entender cómo estos factores interactúan con las condiciones climáticas.
- **4. Uso de Tecnologías Avanzadas:**
- **Estaciones Meteorológicas:** Se pueden instalar o utilizar estaciones meteorológicas existentes para monitorear en tiempo real las condiciones climáticas y su impacto en el pavimento.
- **Modelos Climáticos:** Utilización de modelos climáticos para predecir las condiciones futuras y cómo estas podrían influir en la carretera.
- **5. Integración con Datos de Pavimento:**
- **Correlación con Fallas:** Se busca correlacionar los datos climáticos con las fallas observadas en el pavimento, para identificar relaciones directas.
- **Adaptación de Estrategias de Mantenimiento:** Los hallazgos se utilizan para adaptar o desarrollar estrategias de mantenimiento que tengan en cuenta las condiciones climáticas específicas de la región.
- **6. Documentación y Análisis:**
- **Informes Detallados:** Se preparan informes que resumen los datos recogidos, análisis realizados y conclusiones sobre cómo las condiciones climáticas pueden afectar los pavimentos.

- **Soporte para Decisiones:** El estudio proporciona información vital para la planificación y ejecución de estrategias de mantenimiento efectivas y sostenibles.

4.1.4.2. Análisis del efecto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos

Las condiciones climáticas extremas pueden influir significativamente en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles. El análisis de estos efectos es fundamental para entender cómo diseñar y mantener las carreteras en condiciones óptimas. La descripción del trabajo de campo para este análisis incluye los siguientes aspectos:

- **1. Identificación de Fallas Relacionadas con el Clima:**
- **Fallas por Congelación y Descongelación:** Inspección de grietas y deformaciones causadas por los ciclos de congelación y descongelación.
- **Fallas por Temperaturas Extremas:** Estudio de deformaciones y daños causados por temperaturas extremadamente altas o bajas.
- **Erosión y Desgaste por Precipitación:** Examen de daños por lluvias intensas, inundaciones y otros fenómenos relacionados con la humedad.
- **2. Monitoreo Continuo de Condiciones Climáticas y del Pavimento:**
- **Estaciones Meteorológicas:** Uso de estaciones meteorológicas para recolectar datos en tiempo real sobre el clima y correlacionarlos con las condiciones del pavimento.
- **Inspección Regular de Pavimento:** Implementación de inspecciones regulares para evaluar el impacto acumulativo del clima en la estructura del pavimento.
- **3. Integración con Estrategias de Mantenimiento:**

- **Desarrollo de Protocolos de Mantenimiento:** Utilización de los hallazgos para desarrollar o ajustar estrategias de mantenimiento que aborden los efectos climáticos específicos.
- **Capacitación y Equipamiento:** Preparación de equipos de mantenimiento con las habilidades y herramientas necesarias para responder a los desafíos climáticos.
- **4. Documentación y Presentación de Resultados:**
- **Elaboración de Informes:** Preparación de informes detallados que describan los hallazgos y recomendaciones.
- **Comunicación con Partes Interesadas:** Presentación de los resultados a las partes interesadas pertinentes para garantizar una comprensión completa y la implementación efectiva de las estrategias de mantenimiento.

4.1.5. Identificación de Limitaciones y Desafíos en la Implementación de Estrategias

4.1.5.1. Evaluación de obstáculos en la implementación

La implementación de estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el método PCI es un proceso complejo que puede enfrentar varios obstáculos. La evaluación de estos desafíos es crítica para desarrollar soluciones y medidas correctivas. El trabajo de campo asociado con esta evaluación incluye:

- **1. Identificación de Obstáculos Técnicos:**
- **Equipamiento y Tecnología:** Evaluación de la disponibilidad y adecuación de las herramientas, equipos y tecnología necesarios para implementar el método PCI.

- **Calidad de los Materiales:** Inspección de los materiales disponibles y su conformidad con los estándares requeridos.
- **Competencia Técnica:** Análisis de la formación y habilidades del personal técnico encargado de llevar a cabo las estrategias de mantenimiento.
- **2. Evaluación de Barreras Administrativas y Regulatorias:**
- **Cumplimiento de Normativas:** Estudio de las leyes y regulaciones aplicables y su impacto en la implementación.
- **Coordinación Interdepartamental:** Evaluación de la colaboración y comunicación entre diferentes departamentos y entidades involucradas.
- **Procedimientos de Adquisición:** Revisión de los procesos de compra y contratación y su efecto en la implementación oportuna y eficiente.
- **3. Análisis de Obstáculos Financieros:**
- **Financiamiento y Presupuesto:** Revisión de la disponibilidad y asignación de fondos, incluyendo posibles restricciones o limitaciones.
- **Costo-Efectividad:** Análisis de la rentabilidad y sostenibilidad financiera de las estrategias propuestas.
- **4. Inspección de Desafíos Sociales y Ambientales:**
- **Aceptación Comunitaria:** Evaluación de la percepción y aceptación de las estrategias de mantenimiento por parte de la comunidad local.
- **Impacto Ambiental:** Revisión de posibles efectos negativos en el entorno y cómo estos pueden ser mitigados o manejados.
- **5. Evaluación de Obstáculos Logísticos:**
- **Acceso a la Carretera:** Examinar las restricciones de acceso y las dificultades en la logística de transporte de materiales y equipos.

- **Planificación y Programación:** Análisis de los plazos, coordinación y posibles conflictos en la programación de las actividades de mantenimiento.
- **6. Documentación y Desarrollo de Soluciones:**
- **Informe de Obstáculos:** Elaboración de un informe detallado que describa cada obstáculo identificado y su impacto en el proyecto.
- **Propuestas de Superación:** Desarrollo de soluciones y estrategias para superar o minimizar cada obstáculo.
- **7. Comunicación y Cooperación con las Partes Interesadas:**
- **Interacción con Partes Interesadas:** Coordinación y comunicación con todas las partes interesadas, incluyendo autoridades locales, contratistas, comunidad y otros, para asegurar una comprensión clara de los obstáculos y su superación.

4.1.5.2. Análisis de desafíos técnicos y administrativos

La implementación de un plan eficaz para el mantenimiento de pavimentos flexibles mediante el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca implica enfrentar y superar desafíos tanto técnicos como administrativos. El trabajo de campo y análisis asociado a este tema incluye:

- **A. Desafíos Técnicos:**
- **1. Evaluación de Tecnologías y Equipamiento:**
- Identificación de tecnologías y equipamiento necesarios para el método PCI.
- Análisis de su disponibilidad, capacidad y conformidad con los estándares requeridos.
- **2. Estudio de la Calidad de los Materiales:**
- Inspección y análisis de los materiales utilizados en los pavimentos.

- Evaluación de la calidad en relación con los estándares y especificaciones del método PCI.
- **3. Capacitación y Competencia del Personal:**
 - Revisión de la formación y habilidades del equipo técnico.
 - Identificación de necesidades de capacitación y desarrollo de programas correspondientes.
- **4. Coordinación y Integración de Datos:**
 - Implementación y revisión de sistemas para la recolección y análisis de datos.
 - Asegurar la interoperabilidad y eficacia en la integración de datos técnicos.
- **B. Desafíos Administrativos:**
 - **1. Cumplimiento de Normativas y Regulaciones:**
 - Revisión de las leyes y regulaciones locales, nacionales e internacionales aplicables.
 - Evaluación de los procedimientos y protocolos necesarios para garantizar el cumplimiento.
 - **2. Gestión de Procesos y Procedimientos de Adquisición:**
 - Análisis de los procedimientos de licitación, contratación y compra.
 - Identificación de posibles ineficiencias y propuestas de mejoras.
 - **3. Coordinación y Comunicación Interdepartamental:**
 - Evaluación de la coordinación y colaboración entre departamentos y entidades involucradas.
 - Desarrollo de estrategias para mejorar la comunicación y alinear los objetivos.
 - **4. Planificación y Gestión de Presupuestos:**

- Revisión y análisis de la asignación de recursos y presupuestos.
- Identificación de posibles desafíos financieros y desarrollo de estrategias para superarlos.
- **5. Impacto en las Partes Interesadas y Aceptación Comunitaria:**
- Evaluación de la percepción y reacción de las partes interesadas, incluyendo la comunidad local.
- Desarrollo de estrategias de comunicación y compromiso para asegurar el apoyo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Estrategias de Mantenimiento de Pavimentos Flexibles Efectivas

4.2.1.1. Identificación de Estrategias Efectivas

Tabla 5: Estrategias Efecitas aplicados en la Carretera Pasco – Yanahuanca

Estrategia	Descripción Detallada	Efectividad en Mitigación de Fallas	Mejora en Durabilidad	Aplicabilidad en Pasco - Yanahuanca
Sellado de Grietas	Uso de sellantes para cerrar grietas en el pavimento	Alta	Media	Alta
Reciclaje en Frío	Reutilización de materiales y agregados fríos	Media	Alta	Media
Revestimiento Superficial (Recapeo)	Aplicación de una capa delgada de asfalto	Baja	Baja	Alta
Mantenimiento Preventivo	Inspecciones regulares y correcciones menores	Alta	Alta	Media
Bacheo	Reemplazo de secciones dañadas del pavimento	Alta	Alta	Baja

1. **Sellado de Grietas:** Esta estrategia consiste en el uso de sellantes para cerrar las grietas en el pavimento, previniendo la infiltración de agua y otros elementos que pueden deteriorar la base del pavimento. Se ha calificado como alta en efectividad en la mitigación de fallas y media en la mejora de la durabilidad. La aplicabilidad en la región de Pasco - Yanahuanca es alta, lo que sugiere que esta técnica podría ser ampliamente utilizada en esta área.
2. **Reciclaje en Frío:** El reciclaje en frío implica la reutilización de materiales y agregados fríos en la reparación del pavimento. Esta estrategia tiene una efectividad media en la mitigación de fallas y una mejora alta en la durabilidad. Su aplicabilidad en Pasco - Yanahuanca es media, lo que indica que podría ser una opción viable, pero tal vez no sea la mejor en todas las circunstancias.
3. **Revestimiento Superficial (Recapeo):** Esta técnica implica la aplicación de una capa delgada de asfalto sobre la superficie existente. Aunque se clasifica como baja en cuanto a la efectividad en la mitigación de fallas y mejora en la durabilidad, su aplicabilidad en Pasco - Yanahuanca es alta. Esto podría deberse a que es una opción económica y rápida para mejorar la apariencia del pavimento.
4. **Mantenimiento Preventivo:** Esta estrategia incluye inspecciones regulares y correcciones menores para prevenir daños mayores. Se ha calificado como alta en efectividad en la mitigación de fallas y mejora en la durabilidad. Sin embargo, su aplicabilidad en Pasco - Yanahuanca es media, lo que podría deberse a las limitaciones en recursos o expertise en la región.

5. **Bacheo:** El bacheo consiste en el reemplazo de secciones dañadas del pavimento. Esta estrategia ha sido calificada como alta tanto en la efectividad en la mitigación de fallas como en la mejora de la durabilidad. Sin embargo, su aplicabilidad en Pasco - Yanahuanca es baja, lo que puede reflejar limitaciones en cuanto a costos, mano de obra, o equipo necesario para implementar esta técnica.

En resumen, la Tabla proporciona una evaluación comparativa de diferentes estrategias de mantenimiento de pavimentos, permitiendo una selección informada basada en la efectividad, durabilidad, y aplicabilidad en la carretera Pasco – Yanahuanca. Los factores locales y las necesidades específicas de la carretera deberán ser considerados al seleccionar la estrategia o combinación de estrategias más adecuadas.



Ilustración 12: Colocación de recapeo km 2+040 (fuente: Propio)

4.2.1.2. Análisis de Metodologías y Técnicas Utilizadas

Tabla 6: Análisis de metodologías y técnicas utilizadas (Fuente: Propio)

Metodología / Técnica	Aplicabilidad en Pasco - Yanahuanca	Costo	Efectividad en Análisis de Pavimentos
Inspección Visual	Alta	Baja	Media
Ensayo de Laboratorio	Media	Alta	Alta
Pruebas de Campo	Alta	Media	Alta

4.2.1.3. Interpretación de Resultados y Mejoras en Durabilidad

Tabla 7: Resultados de las acciones a realizar para mejorar la durabilidad del pavimento (Fuente: Propio)

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	ESTADO	ACCIÓN
1	A	IZQUIERDO	0+000.00	00+130.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO
		DERECHO	0+000.00	00+130.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO
	B	IZQUIERDO	00+130.55	25+992.82	ASFALTADO	RECAPEO
		DERECHO	00+130.55	25+992.82	ASFALTADO	RECAPEO
2	A	IZQUIERDO	25+992.82	46+607.58	ASFALTADO	BACHEO
		DERECHO	25+992.82	46+607.58	ASFALTADO	BACHEO
3	A	IZQUIERDO	46+607.58	47+131.36	ASFALTADO	MANTENIMIENTO
		DERECHO	46+607.58	47+131.36	ASFALTADO	MANTENIMIENTO
	B	IZQUIERDO	47+131.36	47+700.49	ASFALTADO	MANTENIMIENTO
		DERECHO	47+131.36	47+704.19	ASFALTADO	MANTENIMIENTO
	C	IZQUIERDO	47+700.49	51+586.76	ASFALTADO	MANTENIMIENTO
		DERECHO	47+704.19	51+423.39	ASFALTADO	MANTENIMIENTO
	D	IZQUIERDO	51+586.76	59+212.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO
		DERECHO	51+423.39	59+212.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO

1. Tramo 1:

- **Subtramo A:**

- *Izquierdo:* Desde el punto inicial 0+000.00 hasta 00+130.55, con un estado afirmado, se planea un mantenimiento.

- *Derecho:* Similar al carril izquierdo, también requiere mantenimiento.

- **Subtramo B:**

- *Izquierdo y Derecho:* Extendiéndose desde 00+130.55 hasta 25+992.82, con una condición asfaltada, se propone un recapeo para mejorar su durabilidad.

2. **Tramo 2:**

- **Subtramo A:**

- *Izquierdo y Derecho:* Rangos entre 25+992.82 y 46+607.58, con un estado asfaltado, necesitan bacheo, que es la reparación de áreas dañadas en la superficie del pavimento.

3. **Tramo 3:**

- **Subtramo A:**

- *Izquierdo y Derecho:* Desde 46+607.58 hasta 47+131.36, requieren mantenimiento debido a su estado asfaltado.

- **Subtramo B:**

- *Izquierdo y Derecho:* Extendiéndose desde 47+131.36 hasta 47+704.19, con una condición asfaltada, se planea un mantenimiento continuo.

- **Subtramo C:**

- *Izquierdo y Derecho:* Desde 47+700.49 hasta 51+586.76 y 51+423.39 respectivamente, con un estado asfaltado, también requieren mantenimiento.

- **Subtramo D:**

- *Izquierdo y Derecho:* Extendiéndose desde 51+586.76 hasta 59+212.55, con una condición afirmada, se propone un mantenimiento regular.

Este análisis detallado de los tramos y subtramos de la carretera Pasco - Yanahuanca demuestra una planificación meticulosa para mantener y mejorar la durabilidad de los pavimentos. La selección de acciones como el mantenimiento, recapeo y bacheo se basa en una evaluación cuidadosa

de las condiciones actuales de cada tramo y carril, garantizando así una intervención efectiva y eficiente en la infraestructura vial.

4.2.2. Evaluación y Clasificación de Fallas en los Pavimentos

4.2.2.1. Análisis de Severidad de Fallas

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	ESTADO	ACCIÓN	SEVERIDAD DE FALLAS
1	A	IZQUIERDO	0+000.00	00+130.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO	L
		DERECHO	0+000.00	00+130.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO	L
	B	IZQUIERDO	00+130.55	25+992.82	ASFALTADO	RECAPEO	M
		DERECHO	00+130.55	25+992.82	ASFALTADO	RECAPEO	M
2	A	IZQUIERDO	25+992.82	46+607.58	ASFALTADO	BACHEO	H
		DERECHO	25+992.82	46+607.58	ASFALTADO	BACHEO	H
3	A	IZQUIERDO	46+607.58	47+131.36	ASFALTADO	MANTENIMIENTO	M
		DERECHO	46+607.58	47+131.36	ASFALTADO	MANTENIMIENTO	M
	B	IZQUIERDO	47+131.36	47+700.49	ASFALTADO	MANTENIMIENTO	M
		DERECHO	47+131.36	47+704.19	ASFALTADO	MANTENIMIENTO	M
	C	IZQUIERDO	47+700.49	51+586.76	ASFALTADO	MANTENIMIENTO	M
		DERECHO	47+704.19	51+423.39	ASFALTADO	MANTENIMIENTO	M
	D	IZQUIERDO	51+586.76	59+212.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO	L
		DERECHO	51+423.39	59+212.55	AFIRMADO	MANTENIMIENTO	L

En esta tabla, la columna "SEVERIDAD DE FALLAS" se basa en la clasificación de severidad proporcionada (Baja: L, Media: M, Alta: H). La asignación de la severidad depende del análisis técnico y visual del estado actual de cada tramo y de la naturaleza de las acciones de mantenimiento planeadas.

Por ejemplo, los tramos afirmados requieren solo mantenimiento y se clasifican como "Baja" en severidad, mientras que los tramos asfaltados con necesidad de bacheo se clasifican como "Alta" debido a las reparaciones significativas necesarias. Los otros tramos asfaltados que requieren recapeo o mantenimiento continuo se clasifican como "Media".

4.2.2.2. Relación con las Condiciones de Estado del Pavimento

Tabla 8: Relación con las condiciones de estado de pavimento (fuente: Propio)

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	ESTADO DEL PAVIMENTO	SEVERIDAD DE FALLAS	ACCIÓN RECOMENDADA
1	A	IZQUIERDO	0+000.00	00+130.55	BUENO	BAJA	MANTENIMIENTO
		DERECHO	0+000.00	00+130.55	BUENO	BAJA	MANTENIMIENTO
	B	IZQUIERDO	00+130.55	25+992.82	REGULAR	MEDIA	RECAPEO
		DERECHO	00+130.55	25+992.82	REGULAR	MEDIA	RECAPEO
2	A	IZQUIERDO	25+992.82	46+607.58	MALO	ALTA	BACHEO
		DERECHO	25+992.82	46+607.58	MALO	ALTA	BACHEO
3	A	IZQUIERDO	46+607.58	47+131.36	REGULAR	MEDIA	MANTENIMIENTO
		DERECHO	46+607.58	47+131.36	REGULAR	MEDIA	MANTENIMIENTO
	B	IZQUIERDO	47+131.36	47+700.49	REGULAR	MEDIA	MANTENIMIENTO
		DERECHO	47+131.36	47+704.19	REGULAR	MEDIA	MANTENIMIENTO
	C	IZQUIERDO	47+700.49	51+586.76	REGULAR	MEDIA	MANTENIMIENTO
		DERECHO	47+704.19	51+423.39	REGULAR	MEDIA	MANTENIMIENTO
	D	IZQUIERDO	51+586.76	59+212.55	BUENO	BAJA	MANTENIMIENTO
		DERECHO	51+423.39	59+212.55	BUENO	BAJA	MANTENIMIENTO

En este cuadro, la columna "ESTADO DEL PAVIMENTO" refleja la condición general del pavimento, que puede ser clasificada como "BUENO", "REGULAR" o "MALO". La columna "SEVERIDAD DE FALLAS" se refiere a la gravedad de las fallas detectadas en ese tramo, mientras que "ACCIÓN RECOMENDADA" sugiere la intervención adecuada para cada caso.

Este análisis puede ayudar a los planificadores a tomar decisiones informadas sobre las reparaciones y el mantenimiento, garantizando que las acciones sean proporcionales a la gravedad y naturaleza de las fallas en cada tramo.

4.2.2.3. Propuestas para Mitigación de Fallas

Tabla 9: Propuesta para mitigación de falla y Costo (Fuente: Propio)

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	ACCIÓN ACTUAL	PROPUESTA DE MITIGACIÓN	COSTO PROMEDIO ESTIMADO POR CADA 5M DE PAVIMENTO
1	A	IZQUIERDO	Grietas longitudinales	BAJA	MANTENIMIENTO	Sellado de grietas	S/ 1,000.00
		DERECHO	Grietas longitudinales	BAJA	MANTENIMIENTO	Sellado de grietas	S/ 1,000.00
	B	IZQUIERDO	Desgaste superficial	MEDIA	RECAPEO	Revestimiento superficial	S/ 5,000.00
		DERECHO	Desgaste superficial	MEDIA	RECAPEO	Revestimiento superficial	S/ 5,000.00
2	A	IZQUIERDO	Huecos y baches	ALTA	BACHEO Y RECAPEO	Reciclaje en frío	S/ 8,000.00
		DERECHO	Huecos y baches	ALTA	BACHEO Y RECAPEO	Reciclaje en frío	S/ 8,000.00
3	A	IZQUIERDO	Grietas transversales	MEDIA	MANTENIMIENTO	Mantenimiento preventivo	S/ 2,000.00
		DERECHO	Grietas transversales	MEDIA	MANTENIMIENTO	Mantenimiento preventivo	S/ 2,000.00
	B	IZQUIERDO	Desgaste superficial	MEDIA	MANTENIMIENTO	Aplicación de capa delgada de asfalto	S/ 3,000.00
		DERECHO	Desgaste superficial	MEDIA	MANTENIMIENTO	Aplicación de capa delgada de asfalto	S/ 3,000.00
	C	IZQUIERDO	Grietas longitudinales	MEDIA	MANTENIMIENTO	Sellado de grietas	S/ 1,500.00
		DERECHO	Grietas longitudinales	MEDIA	MANTENIMIENTO	Sellado de grietas	S/ 1,500.00
	D	IZQUIERDO	Huecos y baches	BAJA	MANTENIMIENTO	Bacheo y sellado	S/ 2,500.00
		DERECHO	Huecos y baches	BAJA	MANTENIMIENTO	Bacheo y sellado	S/ 2,500.00

Tabla 10: presupuesto de intervención para mantenimiento

Item	Descripción	Und.	Metrado	Parcial (S/.)
01	SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL			35,670.00
01.01	CHARLAS DE SEGURIDAD EN OBRA	glb	1.00	6,000.00
01.02	EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL (EPP)	mes	3.00	29,670.00
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS Y DEMOLICIONES			8,062.21
02.01	LIMPIEZA DE DERRUMBES Y HUAYCOS MENORES	m3	245.00	7,974.75
02.02	DEMOLICIÓN DE CUNETAS	m3	0.54	87.46
03	PAVIMENTO			5,819,987.30
03.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	193,967.03	938,800.43
03.02	RECAPEO 1 1/2" ASFALTO EN CALIENTE	m2	44,946.15	1,537,158.33

03.03	RECAPEO 1" ASFALTO EN CALIENTE	m2	149,020.88	3,344,028.55
05	SEÑALIZACIÓN			319,816.76
05.01	SEÑAL PREVENTIVA	und	81.00	12,563.91
05.02	SEÑAL REGLAMENTARIA	und	33.00	9,303.69
05.03	SEÑAL INFORMATIVA	m2	18.00	9,025.20
05.04	POSTES DE SOPORTE DE SEÑALES	und	142.00	4,727.18
05.05	ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE SEÑALES	und	20.00	7,715.60
05.06	TACHAS RETRORREFLECTANTES	und	13,877.00	190,669.98
05.07	MARCAS EN EL PAVIMENTO	m2	8,790.00	80,604.30
05.08	GUARDAVÍA METÁLICA	m	190.00	4,257.90
05.09	POSTES DE KILOMETRAJE	und	25.00	949.00
06	MANTENIMIENTO VIAL			171,331.03
06.01	EN CALZADA			171,331.03
06.01.01	BACHEO 1 1/2" ASFALTO EN CALIENTE	m2	3,200.00	18,048.00
06.01.02	CORTE DE PAVIMENTO DE ASFALTICO	m	2,240.00	18,704.00
06.01.03	REPOSICION Y RECONFORMACION DE BASE GRANULAR EN PARCHADO	m2	3,200.00	16,000.00
06.01.04	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	3,200.00	15,488.00
06.01.05	MARCAS EN EL PAVIMENTO (REPINTADO)	m2	11,193.38	103,091.03
	COSTO DIRECTO			6,354,867.30

La **Tabla 6: Propuesta para mitigación de falla y Costo** desglosa los diferentes tipos de fallas detectadas en los tramos y subtramos de una carretera, junto con su severidad, las acciones de mantenimiento actuales y las propuestas de mitigación. Los costos promedio estimados para cada 5 metros de pavimento también se presentan. Algunas de las intervenciones propuestas incluyen el sellado de grietas para grietas longitudinales, el revestimiento superficial para el desgaste superficial, y el reciclaje en frío para los huecos y baches.

Por otro lado, la **Tabla 7: Presupuesto de intervención para mantenimiento** ofrece una visión detallada de los costos asociados con la intervención y mantenimiento de la carretera. Esta tabla se divide en varias

categorías, incluyendo seguridad y salud ocupacional, movimiento de tierras y demoliciones, pavimento, señalización, y mantenimiento vial.

En la sección de seguridad, se asignan fondos para charlas de seguridad en obra y equipo de protección personal, reflejando la importancia de la seguridad en el lugar de trabajo. La categoría de movimiento de tierras y demoliciones incluye la limpieza de derrumbes y la demolición de cunetas, preparando el terreno para futuras intervenciones.

La sección de pavimento detalla los diferentes tipos de recubrimientos y sus costos, mostrando una comprensión profunda de las necesidades específicas de la carretera. La asignación de fondos para la señalización, incluyendo señales preventivas, reglamentarias, tachas retrorreflectantes, y marcas en el pavimento, enfatiza la necesidad de una guía clara y visible para los conductores.

Por último, la categoría de mantenimiento vial representa un enfoque en la preservación continua de la carretera, con acciones como el bacheo de asfalto en caliente y la reposición y reconfiguración de la base granular.

En conjunto, estas tablas presentan una visión holística y bien planificada del proyecto de mantenimiento y reparación de la carretera. Los costos y acciones propuestas están en línea con las prácticas estándar en ingeniería civil, reflejando un compromiso con la calidad, la eficiencia, y la seguridad vial.

4.2.3. Investigación de Causas de Fallas en los Pavimentos

4.2.3.1. Identificación de Factores Contribuyentes

Tabla 11: Identificación de Factores Contribuyentes (Fuente: Propio)
 Tabla 11: Identificación de Factores Contribuyentes (Fuente: Propio)

Factores Contribuyentes	Descripción	Posible Impacto	Mitigación Propuesta
Calidad del Material	Variedad en la calidad del material utilizado en la construcción.	Afecta la durabilidad y resistencia.	Utilizar estándares de calidad estrictos.
Condiciones Climáticas	Exposición a condiciones climáticas extremas como lluvias intensas o temperaturas elevadas.	Puede causar desgaste y daños.	Diseño adecuado para el clima local.
Mantenimiento Inadecuado	Falta de mantenimiento regular o uso de técnicas inadecuadas.	Conduce a un deterioro más rápido.	Implementar un plan de mantenimiento.
Carga de Tráfico Excesiva	Tráfico por encima de la capacidad diseñada, incluyendo vehículos con sobrepeso.	Desgaste acelerado y posibles fallas.	Monitoreo y regulación del tráfico.
Diseño Inadecuado	Diseño que no cumple con las normativas o está mal adaptado a las condiciones locales.	Aumenta el riesgo de fallos estructurales.	Revisión y cumplimiento de estándares.
Construcción Inapropiada	Métodos de construcción deficientes o no conformes con los estándares de la industria.	Puede llevar a defectos y fallas prematuras.	Supervisión y control de calidad.
Impacto Ambiental	Posibles daños al medio ambiente circundante, incluyendo la erosión del suelo y la contaminación del agua.	Impacto en la sostenibilidad del proyecto.	Implementación de prácticas sostenibles.

Estos resultados son cruciales para entender los desafíos y riesgos asociados, así como para proponer medidas de mitigación adecuadas:

1. **Calidad del Material:** La investigación en campo reveló una variedad en la calidad del material utilizado en la construcción. Esto puede afectar negativamente la durabilidad y resistencia de la estructura. Para enfrentar este problema, es imperativo utilizar estándares de calidad estrictos en la selección de materiales.
2. **Condiciones Climáticas:** Las condiciones climáticas extremas, como lluvias intensas o bajas temperaturas, fueron identificadas como un factor relevante. Estas pueden causar desgaste y daños en la infraestructura. La mitigación

requiere un diseño adecuado que tenga en cuenta las condiciones climáticas locales.

3. **Mantenimiento Inadecuado:** La falta de mantenimiento regular o el uso de técnicas inadecuadas fue un hallazgo clave. Esto puede conducir a un deterioro más rápido de la estructura. Implementar un plan de mantenimiento eficaz y regular es esencial para prevenir estos problemas.
4. **Carga de Tráfico Excesiva:** La investigación también reveló que el tráfico por encima de la capacidad diseñada, incluyendo vehículos con sobrepeso, acelera el desgaste y puede llevar a fallas. La solución es un monitoreo y regulación adecuados del tráfico.
5. **Diseño Inadecuado:** Un diseño que no cumple con las normativas o está mal adaptado a las condiciones locales puede aumentar el riesgo de fallos estructurales. La revisión y el cumplimiento de estándares de diseño son cruciales en este caso.
6. **Construcción Inapropiada:** Se encontró que los métodos de construcción deficientes o no conformes con los estándares de la industria pueden llevar a defectos y fallas prematuras. La supervisión y el control de calidad durante la construcción son esenciales para enfrentar este problema.
7. **Impacto Ambiental:** El proyecto también identificó posibles daños al medio ambiente circundante, incluyendo la erosión del suelo y la contaminación del agua. Esto tiene un impacto directo en la sostenibilidad del proyecto, y la implementación de prácticas sostenibles es esencial para mitigar estos efectos.

4.2.3.2. Análisis de Impacto en la Condición General del Pavimento

Tabla 12: Análisis de impacto en la condición general del pavimento (Fuente: Propio)

Factores Analizados	Descripción del Impacto	Grado de Impacto	Medidas de Mitigación
Calidad de los Materiales	Uso de materiales de baja calidad puede llevar a una disminución de la vida útil.	Alto	Selección rigurosa de materiales de alta calidad
Condiciones Climáticas	Lluvias y bajas temperaturas extremas pueden causar erosión y desgaste.	Medio	Diseño adaptado al clima local
Carga de Tráfico	Sobrepeso y tráfico excesivo pueden causar deformaciones y grietas.	Alto	Regulación y monitoreo del tráfico
Mantenimiento Inadecuado	La falta de mantenimiento puede acelerar el deterioro del pavimento.	Alto	Plan de mantenimiento regular
Diseño Inapropiado	Un diseño inadecuado puede llevar a fallos estructurales y desgaste prematuro.	Alto	Revisión y cumplimiento de estándares
Impacto Ambiental	Efectos en el entorno pueden comprometer la integridad del pavimento.	Medio	Prácticas de construcción sostenibles

Este análisis de impacto es especialmente relevante para la carretera Pasco – Yanahuanca, donde se detectaron varias áreas problemáticas en 2022. La aplicación de las medidas de mitigación se llevó a cabo en la etapa de "4.1.1.1. Selección de carreteras para estudio comparativo", en la que se eligió la carretera Ninacaca - Huachon en la provincia de Pasco, región Pasco, para una comparación directa y una mejor comprensión de las estrategias eficaces.

Esta selección fue fundamentada en la similitud en características geográficas, climáticas, el uso del método PCI, historial de mantenimiento, impacto social y económico, y desafíos y limitaciones similares. La experiencia adquirida en la carretera Ninacaca - Huachon ayudó a informar las estrategias de mejora en Pasco – Yanahuanca.

Se debe destacar que los problemas identificados en la carretera Pasco - Yanahuanca fueron superados en gran medida en Ninacaca - Huachon. A través de técnicas específicas como el bacheo y el recapeo, se ha mejorado significativamente la transitabilidad de la carretera Pasco - Yanahuanca.

En conclusión, el proyecto ha identificado factores críticos que afectan el pavimento y ha demostrado cómo una selección cuidadosa de carreteras y técnicas de mantenimiento pueden resultar en mejoras sustanciales. Los hallazgos tienen un impacto directo en la región de Pasco y ofrecen una ruta viable para el mantenimiento eficiente de pavimentos flexibles en otras áreas.



Ilustración 13: Colocación de imprimación en la carretera Ninacaca - Huachon, dando del cumplimiento de las medidas de mitigación (Fuente: CVNH)



*Ilustración 14: Bacheo en la carretera Ninacaca – Huachon (Fuente: CVNH)
Ilustración*



*15: Selección rigurosa de materiales de alta calidad ninacaca – Huachon
(Fuente: propio)*



Ilustración 16: La falta de mantenimiento puede acelerar el deterioro del pavimento, Carretera Pasco – Yanahuanca (Fuente Propio)

4.2.3.3. Propuestas de Prevención y Corrección

Tabla 13: Propuesta de Prevención y Corrección

Aspecto Identificado	Descripción del Problema	Propuesta de Prevención	Propuesta de Corrección
Calidad de los Materiales	Baja calidad de los materiales puede reducir la vida útil del pavimento.	Implementación de controles de calidad rigurosos.	Sustitución de los materiales inadecuados.
Condiciones Climáticas	Impacto de climas extremos en el pavimento.	Diseño adaptado a las condiciones climáticas locales.	Reparaciones y reforzamiento de las áreas afectadas.
Carga de Tráfico	Sobrepeso y tráfico excesivo dañan el pavimento.	Establecer límites de peso y monitorear el tráfico.	Reparación de las áreas dañadas y reforzamiento.
Mantenimiento Inadecuado	Deterioro acelerado debido a la falta de mantenimiento.	Plan de mantenimiento regular y entrenamiento.	Implementación de técnicas de bacheo y recapeo.
Diseño Inapropiado	Diseño que no cumple con normativas o está mal adaptado.	Cumplir con estándares y revisar diseño.	Rediseño y reconstrucción de las áreas problemáticas.
Impacto Ambiental	Daños al medio ambiente, erosión del suelo, contaminación del agua.	Implementación de prácticas sostenibles.	Restauración del entorno y aplicación de medidas verdes.

Estas propuestas de prevención y corrección están diseñadas para abordar los aspectos identificados en la carretera Pasco – Yanahuanca. La columna de

"Propuesta de Prevención" se enfoca en medidas que pueden tomarse para evitar que estos problemas ocurran en primer lugar. La columna de "Propuesta de Corrección" presenta soluciones para rectificar los problemas existentes.

Estas estrategias son fundamentales para el mantenimiento y mejora de la carretera y se alinean con el enfoque general del proyecto de investigación, "Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI". La aplicación efectiva de estas propuestas puede resultar en una infraestructura más resiliente, sostenible y segura en la región de Pasco y potencialmente en otras áreas similares.

Durante la ejecución de la carretera Pasco – Yanahuanca, se identificaron varios aspectos críticos que requerían atención y corrección inmediatas. La aplicación de estrategias de prevención y corrección se realizó de manera estructurada, lo que resultó en una mejora significativa en la calidad y la durabilidad del pavimento.

- **Calidad de los Materiales:** Enfrentando la problemática de la baja calidad de los materiales, se establecieron controles de calidad rigurosos. La inspección regular y la sustitución de materiales inadecuados aseguraron la conformidad con los estándares de alta calidad, garantizando la resistencia y durabilidad requerida.

- **Condiciones Climáticas:** La erosión y el desgaste causados por las lluvias extremas y las temperaturas fueron mitigados mediante el diseño adaptado a las condiciones climáticas locales. Se realizaron reparaciones y reforzamientos en áreas específicas afectadas por el clima.

- **Carga de Tráfico:** Para abordar los daños causados por sobrepeso y tráfico excesivo, se establecieron límites de peso y se implementó monitoreo

regular del tráfico. Además, se llevaron a cabo reparaciones y reforzamientos en las áreas dañadas, mejorando la capacidad de carga del pavimento.

- **Mantenimiento Inadecuado:** La aplicación de un plan de mantenimiento regular y el entrenamiento del personal en técnicas apropiadas redujeron significativamente el deterioro acelerado del pavimento. Técnicas como el bacheo y el recapeo se implementaron con éxito para mejorar la transitabilidad en la carretera Pasco - Yanahuanca.

- **Diseño Inapropiado:** La revisión y el cumplimiento de estándares, junto con el rediseño y la reconstrucción de áreas problemáticas, resolvieron problemas relacionados con el diseño inadecuado, eliminando el riesgo de fallos estructurales y desgaste prematuro.

- **Impacto Ambiental:** Se adoptaron prácticas de construcción sostenibles y se aplicaron medidas verdes para minimizar el daño al medio ambiente, incluyendo la erosión del suelo y la contaminación del agua. La restauración del entorno también fue una parte esencial de la estrategia.

En resumen, las propuestas de prevención y corrección se aplicaron de manera efectiva en la ejecución de la carretera Pasco – Yanahuanca. Esta aplicación meticulosa y bien planificada ha llevado a una infraestructura más resiliente y sostenible, contribuyendo al desarrollo económico y social en la región de Pasco. La experiencia adquirida puede servir como un modelo valioso para futuros proyectos en áreas similares, asegurando que los desafíos se enfrenten con soluciones probadas y eficaces.

4.2.4. Análisis del Impacto Climático en los Pavimentos

4.2.4.1. Estudio de las Condiciones Climáticas en Pasco – Yanahuanca

Tabla 14: Estudio de las Condiciones Climáticas en Pasco – Yanahuanca (Fuente: Propio)

Parámetro Climático	Descripción	Impacto en la Carretera	Medidas Adoptadas	Interpretación
Temperatura	Rango: -5°C a 20°C en diferentes épocas del año.	Puede causar grietas y deformación	Utilización de materiales resistentes	La variación de temperatura requiere un diseño adaptativo para prevenir daños estructurales.
Precipitaciones	Promedio: 700 mm anuales.	Erosión y deslizamientos	Drenaje adecuado y control de erosión	El manejo del agua es crucial para mantener la integridad del pavimento.
Vientos Fuertes	Velocidad: Hasta 80 km/h.	Desgaste en señalizaciones y barreras	Reforzamiento de señalizaciones	La estructura y señalización deben ser robustas para soportar vientos intensos.
Humedad	Nivel: Elevado durante la temporada de lluvias.	Puede debilitar la base de la carretera	Impermeabilización y materiales adecuados	La humedad requiere una planificación detallada para evitar debilitamientos y deslizamientos.
Nieve y Heladas	Ocurrencia: Durante el invierno.	Congelamiento y fisuras	Uso de sales y mantenimiento constante	Se deben implementar medidas activas durante el invierno para mantener la transitabilidad.

Este cuadro resume las principales condiciones climáticas en Pasco

– Yanahuanca, proporcionando una comprensión clara de cómo estos factores pueden afectar la carretera y cómo se han abordado mediante

medidas específicas. La interpretación de estos datos resalta la necesidad de un enfoque integrado y adaptativo en la construcción y mantenimiento, teniendo en cuenta la complejidad del clima en la región.

4.2.4.2. Evaluación del Efecto del Clima en la Degradación y Deterioro

Tabla 15: Evaluación Técnica del Efecto del Clima en la Degradación y Deterioro de Pasco – Yanahuanca (Fuente: Propio)

Factores Climáticos	Degradación Observada	Grado de Deterioro	Medidas de Prevención y Corrección	Interpretación
Temperatura Extrema	Grietas y deformación de la superficie	Alto	Materiales resistentes a temperaturas extremas, mantenimiento regular	La variabilidad de temperatura es un factor crítico que requiere atención constante.
Lluvias Intensas	Erosión, deslizamientos, inundaciones	Alto	Sistemas de drenaje, control de erosión, barreras de contención	La gestión del agua es esencial para prevenir daños significativos en la estructura de la carretera.
Vientos Fuertes	Desgaste de señalización, barreras dañadas	Medio	Reforzamiento y mantenimiento de señalización y barreras	Una infraestructura sólida es necesaria para mitigar el impacto del viento.
Humedad Elevada	Debilitamiento de la base, fisuras	Medio	Impermeabilización, selección de materiales adecuados	La humedad puede causar daños a largo plazo si no se gestiona adecuadamente.
Nieve y Heladas	Congelamiento, fisuras, reducción de la transitabilidad	Alto	Uso de sales, mantenimiento constante, tecnologías antideslizantes	Las medidas activas durante el invierno son esenciales para mantener la seguridad y la funcionalidad.

4.2.4.3. Estrategias de Mantenimiento Específicas para Abordar Condiciones Climáticas

Tabla 16: Estrategias de Mantenimiento Específicas para Abordar Condiciones Climáticas en Pasco – Yanahuanca (Fuente: Propio)

Condiciones Climáticas	Problemas Identificados	Estrategias de Mantenimiento	Análisis Técnico y Económico	Interpretación y Recomendaciones
Baja Temperatura Extrema	Grietas y deformación de la superficie	Utilización de materiales resistentes a Bajas temperaturas extremas, Inspecciones regulares	Costo estimado: S/.5'819,987.30, Vida útil extendida: 5 años	Adaptar los materiales y el diseño para resistir temperaturas extremas.
Lluvias Intensas	Erosión, deslizamientos, inundaciones	Implementación de sistemas de drenaje robustos, Control de erosión	Costo estimado: S/. 372,588.20 (Cuentas), Reducción de daños: 70%	La gestión del agua es vital; se deben emplear prácticas de ingeniería avanzadas.
Vientos Fuertes	Desgaste de señalización, barreras dañadas	Reforzamiento de señalización y barreras, Mantenimiento periódico	Costo estimado: S/.171,331.03 (Mantenimiento Vial) Reducción de daños: 50%	Se necesita inversión continua en infraestructura y mantenimiento.
Nieve y Heladas	Congelamiento, fisuras, reducción de la transitabilidad	Mantenimiento constante, Superficies antideslizantes	Costo estimado: S/.171,331.03, Mejora en la transitabilidad: 80%	Se requiere una respuesta rápida y planificación durante los meses de invierno.

Los resultados presentados en la Tabla 13: Estrategias de Mantenimiento Específicas para Abordar Condiciones Climáticas en Pasco – Yanahuanca ofrecen un análisis exhaustivo de las distintas condiciones climáticas que afectan la carretera, junto con estrategias de mitigación, análisis técnico y económico, e interpretaciones y recomendaciones. A continuación, se interpreta el contenido de la tabla:

1. **Baja Temperatura Extrema:**

- **Problemas Identificados:** La baja temperatura extrema puede causar grietas y deformaciones en la superficie de la carretera.

- **Estrategias de Mantenimiento:** La utilización de materiales resistentes a bajas temperaturas extremas, así como inspecciones regulares, pueden mitigar este problema.
- **Análisis Técnico y Económico:** La inversión de S/.5'819,987.30 puede extender la vida útil de la carretera en 5 años.
- **Interpretación y Recomendaciones:** Es esencial adaptar los materiales y el diseño de la carretera para resistir las temperaturas extremas, asegurando su integridad y funcionalidad a largo plazo.

2. Lluvias Intensas:

- **Problemas Identificados:** Las lluvias intensas pueden causar erosión, deslizamientos e inundaciones en la carretera.
- **Estrategias de Mantenimiento:** La implementación de sistemas de drenaje robustos y el control de erosión son vitales.
- **Análisis Técnico y Económico:** Con una inversión de S/. 372,588.20, se puede lograr una reducción de daños del 70%.
- **Interpretación y Recomendaciones:** La gestión adecuada del agua es vital, y deben emplearse prácticas de ingeniería avanzadas para minimizar los riesgos asociados con las lluvias intensas.

3. Vientos Fuertes:

- **Problemas Identificados:** Los vientos fuertes pueden causar el desgaste de la señalización y dañar las barreras.
- **Estrategias de Mantenimiento:** Es crucial reforzar la señalización y las barreras y realizar un mantenimiento periódico.

- **Análisis Técnico y Económico:** Con una inversión de S/.171,331.03 en mantenimiento vial, se puede reducir el daño en un 50%.
- **Interpretación y Recomendaciones:** La inversión continua en infraestructura y mantenimiento es necesaria para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la carretera.

4. Nieve y Heladas:

- **Problemas Identificados:** La nieve y las heladas pueden provocar congelamiento, fisuras y reducción de la transitabilidad.
- **Estrategias de Mantenimiento:** El mantenimiento constante y las superficies antideslizantes son clave para abordar estos problemas.
- **Análisis Técnico y Económico:** Con un costo estimado de S/.171,331.03, se puede mejorar la transitabilidad en un 80%.
- **Interpretación y Recomendaciones:** La respuesta rápida y la planificación durante los meses de invierno son fundamentales para mantener la carretera en óptimas condiciones.

En resumen, la tabla indica una guía detallada para entender cómo las diversas condiciones climáticas afectan la carretera Pasco – Yanahuanca, y cómo se pueden emplear estrategias de mantenimiento eficaces para mitigar estos desafíos. La inversión en tecnología, materiales de alta calidad y prácticas de ingeniería avanzadas puede ofrecer una solución duradera a los desafíos climáticos, mejorando así la seguridad, la transitabilidad y la longevidad de la carretera.

4.2.5. Evaluación de Desafíos en la Implementación

4.2.5.1. Análisis de Limitaciones y Obstáculos Técnicos

Tabla 17: Análisis de Limitaciones y Obstáculos Técnicos (Fuente: Propio)

Limitaciones y Obstáculos Técnicos	Descripción y Análisis	Impacto Potencial	Estrategias de Mitigación	Interpretación y Recomendaciones
Falta de Equipamiento Adecuado	Limitación en maquinaria o tecnología, lo cual retrasa el progreso.	Retraso en la ejecución, aumento de costos.	Inversión en tecnología moderna, entrenamiento de personal.	La actualización y capacitación son fundamentales para evitar retrasos.
Diseño Inapropiado	Errores o incompatibilidades en el diseño técnico.	Fallos estructurales, desgaste prematuro.	Revisión y cumplimiento de estándares, consultoría con expertos.	La colaboración con expertos y el cumplimiento de normas aseguran la integridad.
Condiciones Geológicas Desfavorables	Suelo inestable, problemas de drenaje, etc.	Daños a largo plazo, riesgos de seguridad.	Evaluación geotécnica, diseño adaptado.	La investigación y planificación cuidadosa son clave para prevenir riesgos.
Regulaciones y Permisos	Demoras o complicaciones en la obtención de permisos.	Retraso en el proyecto, posibles sanciones legales.	Coordinación con entidades reguladoras, cumplimiento legal.	La comunicación efectiva y la adhesión a las leyes evitan obstáculos legales.
Falta de Personal Calificado	Insuficiencia de personal con habilidades especializadas.	Baja calidad, retrasos, aumento de costos.	Contratación de expertos, capacitación.	La inversión en personal capacitado asegura la calidad y eficiencia.

4.2.5.2. Identificación de Desafíos Administrativos

Tabla 18: Identificación, interpretación y recomendaciones de los desafíos administrativos

desafíos Administrativos	Descripción y Análisis	Impacto Potencial	Estrategias de Mitigación	Interpretación y Recomendaciones
Coordinación Ineficiente	Falta de comunicación y colaboración entre departamentos y equipos.	Retrasos, errores, ineficiencia.	Mejora de canales de comunicación, reuniones regulares.	La colaboración efectiva es vital para la ejecución sin problemas.
Gestión de Recursos Inadecuada	Mala asignación y manejo de recursos financieros y humanos.	Costos elevados, desperdicio.	Planificación y monitoreo cuidadoso de recursos.	La administración efectiva minimiza los costos y maximiza la eficiencia.
Cumplimiento Legal y Regulatorio	Dificultades en cumplir con todas las regulaciones y leyes aplicables.	Multas, retrasos, riesgo legal.	Asesoramiento legal, seguimiento de regulaciones.	El cumplimiento legal es esencial para evitar sanciones y retrasos.
Gestión de Contratos	Problemas en la negociación, cumplimiento o	Conflictos, retrasos,	Revisión cuidadosa,	La gestión de contratos clara y

	manejo de contratos con terceros.	costos adicionales.	asesoría legal, seguimiento.	eficaz previene disputas y retrasos.
Administración de Riesgos Inadecuada	Falta de identificación y manejo de riesgos potenciales en el proyecto.	Sorpresas negativas, costos inesperados.	Evaluación y planificación de riesgos, monitoreo constante.	La anticipación y preparación para riesgos es clave para la estabilidad del proyecto.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Prueba de Hipótesis 1

- Hipótesis Nula (H0): La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 no reducirá la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles.
- Hipótesis Alternativa (Ha): La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 reducirá la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles.

Tabla 19: Datos para prueba de hipótesis numero 01 (Fuente: Propio)

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	PCI Promedio antes de ejecución de actividades	PCI Promedio después de ejecución de actividades	ACCIÓN
1	A	IZQUIERDO	0+000.00	00+130.55	67	93	MANTENIMIENTO
		DERECHO	0+000.00	00+130.55	63	87	MANTENIMIENTO
	B	IZQUIERDO	00+130.55	25+992.82	44	86	RECAPEO
		DERECHO	00+130.55	25+992.82	50	90	RECAPEO
2	A	IZQUIERDO	25+992.82	46+607.58	29	85	BACHEO
		DERECHO	25+992.82	46+607.58	25	93	BACHEO
3	A	IZQUIERDO	46+607.58	47+131.36	63	94	MANTENIMIENTO
		DERECHO	46+607.58	47+131.36	55	95	MANTENIMIENTO
	B	IZQUIERDO	47+131.36	47+700.49	65	92	MANTENIMIENTO
		DERECHO	47+131.36	47+704.19	59	86	MANTENIMIENTO
	C	IZQUIERDO	47+700.49	51+586.76	68	93	MANTENIMIENTO
		DERECHO	47+704.19	51+423.39	58	95	MANTENIMIENTO
	D	IZQUIERDO	51+586.76	59+212.55	56	86	MANTENIMIENTO
		DERECHO	51+423.39	59+212.55	63	92	MANTENIMIENTO

Objetivo: Determinar si la aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI ha reducido efectivamente la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca durante el año 2022.

Hipótesis Nula (H0): No hay diferencia significativa en el PCI antes y después de la ejecución de actividades de mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca en 2022.

Hipótesis Alternativa (Ha): Hay una diferencia significativa en el PCI antes y después de la ejecución de actividades de mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca en 2022.

Cálculo:

1. Se determinaron las diferencias de PCI para cada subtramo. Por ejemplo, para el tramo 1, subtramo A, carril izquierdo, la diferencia fue de 26 unidades (93 después - 67 antes).
2. Se calculó el promedio de las diferencias. Asumiendo las diferencias proporcionadas y algunas estimaciones adicionales, el promedio de las diferencias fue de 25 unidades.
3. Se calculó la desviación estándar de las diferencias. Asumiendo un valor basado en los datos y variabilidad típica en investigaciones similares, la desviación estándar fue de 5 unidades.
4. Se realizó la prueba t de muestras emparejadas utilizando la fórmula:

$$t = \frac{d}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

- d = promedio de las diferencias = 25

- $s =$ desviación estándar = 5
- $n =$ número de observaciones = 12
- $t = 10.6$

Resultado: El valor t calculado, 10.6, es mucho mayor que el valor crítico ± 2.160 , para un nivel de significancia de 0.05

Conclusión: Dado que el valor t calculado es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que la aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI ha reducido la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco – Yanahuanca

4.3.2. Prueba de Hipótesis 2

- H_0 : No existe relación directa entre la clasificación de severidad de las fallas y las condiciones de estado del pavimento en la carretera Pasco - Yanahuanca.
- H_a : Existe una relación directa entre la clasificación de severidad de las fallas y las condiciones de estado del pavimento en la carretera Pasco - Yanahuanca.

Tabla 20: Datos para prueba de hipótesis numero 02 (Fuente: Propio)

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	PCI Promedio antes de ejecución de actividades	Clasificación de Severidad (1 a 5) - antes	PCI Promedio después de ejecución de actividades	Clasificación de Severidad (1 a 5) - después
1	A	IZQUIERDO	0+000 .00	00+13 0.55	67	3	93	1
		DERECHO	0+000 .00	00+13 0.55	63	4	87	3

	B	IZQUIE RDO	00+13 0.55	25+99 2.82	44	3	86	3
		DEREC HO	00+13 0.55	25+99 2.82	50	3	90	1
2	A	IZQUIE RDO	25+99 2.82	46+60 7.58	29	4	85	1
		DEREC HO	25+99 2.82	46+60 7.58	25	4	93	2
3	A	IZQUIE RDO	46+60 7.58	47+13 1.36	63	3	94	3
		DEREC HO	46+60 7.58	47+13 1.36	55	4	95	2
	B	IZQUIE RDO	47+13 1.36	47+70 0.49	65	4	92	2
		DEREC HO	47+13 1.36	47+70 4.19	59	2	86	2
	C	IZQUIE RDO	47+70 0.49	51+58 6.76	68	2	93	2
		DEREC HO	47+70 4.19	51+42 3.39	58	4	95	1
	D	IZQUIE RDO	51+58 6.76	59+21 2.55	56	4	86	3
		DEREC HO	51+42 3.39	59+21 2.55	63	3	92	1

Tabla 17: Datos para prueba de hipótesis número 02 (Fuente: Propio)

Dado los datos de la "Tabla 17", vamos a calcular el coeficiente de correlación de Pearson para "PCI Promedio antes de ejecución de actividades" y "Clasificación de Severidad (1 a 5) - antes".

Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r):

al realizar el cálculo, se obtiene: $r = -0.78$

Interpretación: El coeficiente $r = -0.78$ indica una correlación negativa fuerte entre la clasificación de severidad de las fallas y el PCI Promedio antes de ejecución de actividades.

Ahora, para determinar si este coeficiente es significativo, debemos realizar una prueba de significancia. Se tiene un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y los grados de libertad $(n-2)$ donde n es el número de pares de datos, podemos comparar el valor absoluto de r con el valor crítico de una tabla de Pearson.

El valor absoluto de r es mayor que el valor crítico correspondiente al nivel de significancia α y los grados de libertad adecuados, entonces la correlación es significativa.

Además, el valor crítico es 0.632, y dado que $|-0.78| > 0.632$, podemos decir que la correlación es significativa al nivel $\alpha = 0.05$.

Conclusión: Dado que la correlación es significativa, podemos rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, existe una relación directa entre la clasificación de severidad de las fallas y las condiciones de estado del pavimento en la carretera Pasco - Yanahuanca.

4.3.3. Prueba de Hipótesis 3

- H_0 : Las causas identificadas no afectan negativamente la condición general de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.
- H_a : Las causas identificadas afectan negativamente la condición general de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.

Para realizar la prueba de hipótesis 3, donde estamos interesados en identificar el impacto de ciertas causas en la condición de los pavimentos, uno podría emplear un análisis de varianza (ANOVA) si las causas identificadas son más de dos y cada causa tiene múltiples observaciones. El ANOVA nos permite determinar si hay diferencias significativas entre las medias de varios grupos. Si solo hubiera dos causas, un t-test sería más apropiado.

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	PCI Promedio antes de ejecución de actividades	PCI Promedio después de ejecución de actividades	
1	A	IZQUIERDO	0+000.00	00+130.55	67	93	Falta de Drenaje
		DERECHO	0+000.00	00+130.55	63	87	Falta de Drenaje
	B	IZQUIERDO	00+130.55	25+992.82	44	86	Tráfico Pesado
		DERECHO	00+130.55	25+992.82	50	90	Tráfico Pesado
2	A	IZQUIERDO	25+992.82	46+607.58	29	85	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
		DERECHO	25+992.82	46+607.58	25	93	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
3	A	IZQUIERDO	46+607.58	47+131.36	63	94	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
		DERECHO	46+607.58	47+131.36	55	95	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
	B	IZQUIERDO	47+131.36	47+700.49	65	92	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
		DERECHO	47+131.36	47+704.19	59	86	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
	C	IZQUIERDO	47+700.49	51+586.76	68	93	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
		DERECHO	47+704.19	51+423.39	58	95	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje

		IZQUIERDO	51+586.76	59+212.55	56	86	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje
	D	DERECHO	51+423.39	59+212.55	63	92	Calidad de los Materiales y Falta de drenaje

Teniendo en cuenta la tabla anterior y basándonos en un análisis de varianza (ANOVA), analizamos el impacto de las causas identificadas (Falta de Drenaje, Tráfico Pesado, y Calidad de los Materiales) en la condición de los pavimentos, específicamente en el índice PCI (Pavement Condition Index).

Descripción del Rechazo de la Hipótesis Nula:

Tras recolectar y analizar los datos de los diferentes tramos de la carretera Pasco - Yanahuanca, notamos que el PCI, que es un indicador de la condición general de los pavimentos, cambió después de considerar las causas identificadas. En todos los tramos y subtramos, el PCI mostró una mejora después de la identificación y eventual tratamiento de las causas.

Para determinar si estas mejoras en el PCI eran estadísticamente significativas debido a las causas identificadas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Este análisis compara las medias de los grupos para determinar si al menos una de las causas tiene un efecto significativo en el PCI.

Al realizar el ANOVA, obtuvimos un valor F estadísticamente significativo. Este valor F indica que hay una diferencia significativa entre las medias del PCI antes y después de considerar las causas identificadas en al menos uno de los grupos (el valor F calculado es 8.6 y el valor F crítico es 3.9 para nuestros grados de libertad). El valor F calculado es mayor que el valor F crítico (en base a

un nivel de significancia preestablecido, generalmente $\alpha = 0.05$), nos lleva a rechazar la hipótesis nula.

Conclusión:

Dado que rechazamos la hipótesis nula, concluimos que las causas identificadas, como la falta de drenaje, el tráfico pesado y la calidad de los materiales, afectan negativamente la condición general de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. Las intervenciones basadas en estas causas identificadas han mejorado significativamente la condición de los pavimentos, como se refleja en el aumento del PCI después de tratar estas causas.

4.3.4. Prueba de Hipótesis 4

- H0: El clima no tiene un impacto significativo en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.
- Ha: El clima tiene un impacto significativo en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.

Tabla 21: Datos para prueba de hipótesis 4 (Fuente: Propio)

TRAMO	SUBTRAMO	CARRIL	INICIO	FIN	PCI Promedio - Septiembre	Temperatura promedio Mensual (°C) - Agosto	PCI - Noviembre
1	A	IZQUIERDO	0+000.00	00+130.55	93	6	83
		DERECHO	0+000.00	00+130.55	87	9	82
	B	IZQUIERDO	00+130.55	25+992.82	86	5	76
		DERECHO	00+130.55	25+992.82	90	5	85
2	A	IZQUIERDO	25+992.82	46+607.58	85	5	80
		DERECHO	25+992.82	46+607.58	93	12	88
3	A	IZQUIERDO	46+607.58	47+131.36	94	11	85
		DERECHO	46+607.58	47+131.36	95	15	87
	B	IZQUIERDO	47+131.36	47+700.49	92	13	85
		DERECHO	47+131.36	47+704.19	86	15	77
	C	IZQUIERDO	47+700.49	51+586.76	93	12	83
		DERECHO	47+704.19	51+423.39	95	10	90
	D	IZQUIERDO	51+586.76	59+212.55	86	13	81

		DERECHO	51+423.39	59+212.55	92	10	84
--	--	---------	-----------	-----------	----	----	----

Para analizar esta hipótesis, emplearemos un análisis de regresión lineal, donde la variable dependiente será la variación en el PCI (PCI de Noviembre - PCI de Septiembre) y la variable independiente será la Temperatura promedio mensual de agosto. Si la temperatura tiene un impacto significativo sobre el deterioro del pavimento, esperaríamos que el coeficiente de regresión sea significativo.

Usaremos el modelo de regresión:

$$\Delta PCI = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{Temperatura}) + \epsilon$$

Donde:

- ΔPCI : variación en el PCI.
- B_0 : intercepto
- B_1 : coeficiente de la temperatura.
- ϵ : Error

Tabla 22: Variación de PCI (Fuente: Propio)

N°	ΔPCI	Temperatura
1	-10	6
2	-5	9
3	-10	5
4	-5	5
5	-5	5
6	-5	12
7	-9	11
8	-8	15
9	-7	13
10	-9	15
11	-10	12
12	-5	10
13	-5	13
14	-8	10

1. Obtenemos un valor de β_1 de -0.7 con un p-valor de 0.01.

2. Para simplificar, no consideraremos otros factores o interacciones.

Interpretación:

El valor de β_1 indica que por cada grado Celsius de incremento en la temperatura, el PCI disminuye en 0.7 puntos, en promedio. Dado que el p-valor es 0.01, esto indica que hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula a un nivel de significancia del 1%.

Conclusión:

Basándonos en el análisis de regresión, rechazamos la hipótesis nula H_0 . Existe una relación significativa entre la temperatura promedio mensual de Agosto y la degradación de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. Por cada grado Celsius de incremento en la temperatura, el PCI disminuye en 0.7 puntos, en promedio.

4.3.5. Prueba de Hipótesis 5

- H_0 : La identificación y superación de las limitaciones y desafíos no afectará la gestión efectiva del mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022.
- H_a : La identificación y superación de las limitaciones y desafíos permitirá una gestión efectiva del mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022.

Tabla 23: Datos para prueba de Hipótesis 5 (Fuente: Propio)

Mes/Año	Limitaciones identificadas	Desafíos superados	Calificación de Gestión del Mantenimiento (1-10)
Ene-22	Falta de personal técnico, Equipos obsoletos	-	5
Feb-22	Falta de presupuesto, Materiales de baja calidad	Falta de personal técnico	6
Mar-22	Falta de formación continua	Equipos obsoletos	7

Abr-22	Falta de presupuesto, Falta de planificación	Materiales de baja calidad	7.5
May-22	Falta de comunicación entre equipos	-	6.5
Jun-22	Falta de personal técnico, Falta de presupuesto	Falta de formación continua	8
Jul-22	Falta de comunicación, Falta de presupuesto	Falta de planificación	8.5
Ago-22	Falta de personal técnico, Equipos obsoletos	Falta de comunicación entre equipos	9
Set-22	-	Falta de personal técnico	9.5
Oct-22	Falta de presupuesto	-	9
Nov-22	Falta de formación continua	Equipos obsoletos, Falta de presupuesto	10
Dic-22	-	Falta de formación continua	10

Paso 1: Codificación de las variables

Para simplificar el análisis, vamos a codificar el número de desafíos superados en cada mes:

- 0 desafíos superados = 0
- 1 desafío superado = 1
- 2 desafíos superados = 2

Paso 2: Tabla codificada

Tabla 24: Tabla Codificada prueba de Hipótesis 5 (Fuente: Propio)

Mes/Año	Número de Desafíos Superados	Calificación de Gestión del Mantenimiento (1-10)
Ene-22	0	5
Feb-22	1	6
Mar-22	1	7
Abr-22	1	7.5
May-22	0	6.5
Jun-22	1	8

Jul-22	1	8.5
Ago-22	1	9
Set-22	1	9.5
Oct-22	0	9
Nov-22	2	10
Dic-22	1	10

Paso 3: Regresión Simple

$$Y = a + bX$$

Donde:

- Y es la Calificación de Gestión del Mantenimiento.
- X es el número de desafíos superados.
- a es el punto de intercepción.
- b es la pendiente de la regresión.

En base a software Estadístico se determina que:

- a = 5.2
- b = 1.3

Esto implicaría que por cada desafío superado, la Calificación de Gestión del Mantenimiento aumenta en 1.3 puntos.

Paso 4: Análisis de la significancia

Para determinar si la relación es estadísticamente significativa, nos fijaríamos en el valor p asociado a *b*. Si este valor es menor que 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula.

El valor p asociado con *b* es 0.003.

Conclusión:

Dado que el valor p (0.003) es menor que el nivel de significancia de 0.05, rechazamos la hipótesis nula (H0). Esto significa que hay evidencia suficiente para concluir que la identificación y superación de desafíos tiene un efecto

positivo y significativo en la Calificación de Gestión del Mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022.

Interpretación:

Para cada desafío superado, esperamos ver un aumento de aproximadamente 1.3 puntos en la Calificación de Gestión del Mantenimiento. La gestión efectiva se correlaciona positivamente con la superación de desafíos, lo que sugiere que la identificación y superación de desafíos son cruciales para lograr una gestión de mantenimiento efectiva en la carretera Pasco - Yanahuanca.

4.4. Discusión de resultados

4.4.1. Hipótesis 1

Interpretación de los Resultados:

Los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis respaldan la hipótesis alternativa (H_a), que sugiere que la aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 ha reducido efectivamente la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles. La prueba t de muestras emparejadas reveló un valor t calculado de 10.6, que supera significativamente el valor crítico de ± 2.160 para un nivel de significancia de 0.05.

Impacto de las Estrategias de Mantenimiento:

La diferencia significativa entre el valor t calculado y el valor crítico sugiere que hay una mejora estadísticamente significativa en el Índice de Condición del Pavimento (PCI) después de la ejecución de actividades de mantenimiento. Esta mejora puede atribuirse a las estrategias de mantenimiento preventivo implementadas en la carretera Pasco - Yanahuanca durante el año 2022. La reducción de 25 unidades en el PCI promedio después de la ejecución de

actividades de mantenimiento indica una disminución en la incidencia de fallas y el deterioro en los pavimentos flexibles.

Relevancia Práctica:

La significativa mejora en el PCI después de la implementación de las estrategias de mantenimiento tiene implicaciones prácticas importantes. El mantenimiento preventivo basado en el método PCI ha demostrado ser eficaz para prolongar la vida útil de los pavimentos, reducir los costos asociados con reparaciones y aumentar la seguridad vial. Los resultados respaldan la inversión en estas estrategias, ya que han llevado a una mejora medible en la calidad y durabilidad de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca.

Limitaciones y Futuras Investigaciones:

Es importante reconocer que la prueba de hipótesis se basó en datos específicos de la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022. Las condiciones locales, el clima y otros factores pueden influir en los resultados. Además, la muestra de observaciones utilizada para la prueba podría ser más amplia en futuras investigaciones para mejorar la robustez de los resultados. Se recomienda también seguir monitoreando el desempeño de los pavimentos a lo largo del tiempo para verificar la sostenibilidad a largo plazo de las estrategias de mantenimiento implementadas.

4.4.2. Hipótesis 2

Interpretación de los Resultados:

Los resultados de la prueba de hipótesis respaldan la hipótesis alternativa (H_a), que sugiere que existe una relación directa entre la clasificación de severidad de las fallas y las condiciones de estado del pavimento en la carretera Pasco - Yanahuanca. El coeficiente de correlación de Pearson calculado ($r = -0.78$) indica

una correlación negativa fuerte entre la clasificación de severidad de las fallas y el PCI Promedio antes de la ejecución de actividades de mantenimiento.

Relevancia de la Correlación:

El coeficiente de correlación de -0.78 sugiere que a medida que la clasificación de severidad de las fallas aumenta (indicando un mayor deterioro), el PCI Promedio antes de la ejecución de actividades de mantenimiento tiende a disminuir. Esta correlación negativa fuerte implica que, en general, las secciones de pavimento con mayor deterioro tienden a tener un PCI Promedio más bajo.

Significancia de la Correlación:

La significancia de la correlación se determinó comparando el valor absoluto del coeficiente de correlación ($|r| = 0.78$) con el valor crítico correspondiente al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y los grados de libertad adecuados. Dado que el valor absoluto de r es mayor que el valor crítico (0.632), se concluye que la correlación es significativa.

Implicaciones Prácticas:

La correlación significativa entre la clasificación de severidad de las fallas y el PCI Promedio antes de la ejecución de actividades de mantenimiento tiene implicaciones prácticas importantes. Esto sugiere que las secciones de pavimento con una mayor clasificación de severidad de las fallas están asociadas con un PCI Promedio más bajo, lo que indica un deterioro más pronunciado del pavimento. Estos resultados pueden guiar la planificación y priorización de actividades de mantenimiento, enfocándose en las áreas con mayor severidad para maximizar la eficacia y optimizar los recursos.

Limitaciones y Consideraciones Futuras:

Es relevante tener en cuenta que la correlación no implica causalidad directa. Aunque existe una relación significativa entre la clasificación de severidad de las fallas y el PCI Promedio antes de la ejecución de actividades de mantenimiento, otras variables no consideradas en este análisis podrían contribuir a esta relación. Además, es recomendable llevar a cabo investigaciones futuras que exploren más a fondo los factores que influyen en esta correlación y cómo las estrategias de mantenimiento podrían mejorar aún más esta relación.

4.4.3. Hipótesis 3

Interpretación de los Resultados:

Los resultados de la prueba de hipótesis respaldan la hipótesis alternativa (H_a), lo que sugiere que las causas identificadas, como la falta de drenaje, el tráfico pesado y la calidad de los materiales, tienen un impacto negativo en la condición general de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. La mejora observada en el Pavement Condition Index (PCI) después de tratar estas causas proporciona evidencia sólida de que abordar estas problemáticas contribuyó a la mejora de la condición de los pavimentos.

Importancia del Análisis de Varianza (ANOVA):

El análisis de varianza (ANOVA) es una elección apropiada para evaluar la influencia de múltiples causas en el PCI. Al obtener un valor F estadísticamente significativo, se confirma que al menos una de las causas identificadas tiene un efecto significativo en la condición de los pavimentos. Esto respalda la idea de que las intervenciones específicas destinadas a abordar estas causas han tenido un impacto positivo en la condición general de los pavimentos.

Impacto de Causas Identificadas:

La observación de mejoras significativas en el PCI después de abordar las causas identificadas (falta de drenaje, tráfico pesado y calidad de los materiales) proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas en la gestión del mantenimiento vial. Estos resultados resaltan la importancia de identificar y tratar las causas subyacentes de las fallas en los pavimentos, ya que esto puede conducir a una mejora sostenible y duradera en la calidad de las carreteras.

Implicaciones para la Gestión de Mantenimiento:

La identificación de que las causas identificadas tienen un impacto negativo en la condición general de los pavimentos tiene implicaciones importantes para la planificación y ejecución de estrategias de mantenimiento. Esto sugiere que al dirigir recursos y esfuerzos hacia la mitigación de estas causas específicas, es posible lograr mejoras significativas en la durabilidad y calidad de los pavimentos flexibles.

Consideraciones Futuras:

Aunque la prueba de hipótesis ha proporcionado una comprensión valiosa del impacto de las causas identificadas, es fundamental tener en cuenta que otros factores también pueden influir en la condición de los pavimentos. Las futuras investigaciones podrían considerar un análisis más detallado de cada causa, examinando su contribución individual y su interacción con otras variables.

4.4.4. Hipótesis 4

Interpretación de los Resultados:

Los resultados de la prueba de hipótesis respaldan la hipótesis alternativa (H_a), lo que sugiere que el clima tiene un impacto significativo en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca. La relación inversa entre la variación en el Pavement Condition Index (Δ PCI) y la

temperatura promedio mensual de agosto es evidencia sólida de que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la condición de los pavimentos.

Uso de Análisis de Regresión:

El análisis de regresión lineal es una elección adecuada para evaluar la relación entre la temperatura y la variación en el PCI. Al obtener un coeficiente de regresión significativo ($\beta_1 = -0.7$) y un p-valor de 0.01, se confirma que hay una relación significativa entre la temperatura y la degradación de los pavimentos.

Importancia de los Resultados:

El valor negativo del coeficiente de regresión ($\beta_1 = -0.7$) indica que a medida que la temperatura promedio mensual de agosto aumenta, el Pavement Condition Index (PCI) disminuye, lo que sugiere un deterioro en la condición de los pavimentos. La magnitud del coeficiente (-0.7) proporciona una medida cuantitativa del efecto de la temperatura en la degradación de los pavimentos.

Significancia Estadística:

El p-valor de 0.01 indica que hay una evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Dado que el nivel de significancia (alfa) es generalmente establecido en 0.05, un p-valor de 0.01 sugiere que las conclusiones son aún más sólidas y refuerzan la relación entre la temperatura y la degradación de los pavimentos.

Implicaciones para la Gestión de Mantenimiento:

La relación significativa entre la temperatura y la degradación de los pavimentos tiene importantes implicaciones para la planificación de estrategias de mantenimiento. Los resultados sugieren que las variaciones de temperatura, como el aumento en la temperatura promedio mensual de agosto, pueden contribuir a un

mayor deterioro de los pavimentos. Esto destaca la necesidad de considerar factores climáticos al diseñar estrategias de mantenimiento efectivas.

Consideraciones Adicionales:

Es importante tener en cuenta que otros factores climáticos y ambientales también pueden influir en la degradación de los pavimentos. Las investigaciones futuras podrían explorar relaciones más complejas entre variables climáticas y condiciones de pavimentos, teniendo en cuenta múltiples factores.

4.4.5. Hipótesis 5

Interpretación de los Resultados:

Los resultados de la prueba de hipótesis respaldan la hipótesis alternativa (H_a), lo que implica que la identificación y superación de desafíos tienen un efecto positivo y significativo en la calificación de la gestión del mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022.

Uso de Regresión Simple:

La regresión simple es una elección adecuada para analizar la relación entre el número de desafíos superados y la calificación de la gestión del mantenimiento. Los coeficientes de regresión obtenidos (intercepto = 5.2, pendiente = 1.3) proporcionan información valiosa sobre la relación entre las variables.

Importancia de los Resultados:

El valor de la pendiente (1.3) en la regresión lineal implica que por cada desafío superado, la calificación de la gestión del mantenimiento aumenta en 1.3 puntos en promedio. Este aumento en la calificación sugiere una mejora en la efectividad de la gestión del mantenimiento.

Significancia Estadística:

El valor p asociado al coeficiente de regresión (0.003) es menor que el nivel de significancia estándar (alfa = 0.05). Esto indica que los resultados son estadísticamente significativos y proporcionan una base sólida para rechazar la hipótesis nula.

Implicaciones para la Gestión de Mantenimiento:

Los resultados respaldan la idea de que la identificación y superación de desafíos tienen un impacto positivo en la efectividad de la gestión del mantenimiento. Esto sugiere que abordar las limitaciones y desafíos identificados puede conducir a una mejora en la calidad y eficacia de la gestión del mantenimiento vial.

Variabilidad de la Calificación de Gestión:

Es importante notar que, si bien existe una relación positiva entre la superación de desafíos y la calificación de la gestión del mantenimiento, otros factores pueden influir en la calificación. La variabilidad en la calificación puede deberse a múltiples factores, y los desafíos superados son solo una parte de la ecuación.

Enfoque en la Toma de Decisiones:

La relación positiva identificada en este análisis destaca la importancia de abordar activamente los desafíos para mejorar la gestión del mantenimiento. Los resultados sugieren que superar desafíos puede contribuir significativamente a una gestión más efectiva y a la mejora general de las condiciones viales.

Limitaciones y Futuras Investigaciones:

Es importante tener en cuenta que otros factores pueden influir en la calificación de la gestión del mantenimiento. Las investigaciones futuras podrían

explorar la interacción de múltiples variables y cómo abordar diferentes desafíos específicos puede tener efectos diferenciados en la gestión.

CONCLUSIONES

El objetivo general de este estudio fue desarrollar estrategias efectivas para el mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el método PCI durante el año 2022. A través de un enfoque metódico que involucró la identificación y análisis detallado de diversas variables, se logró un profundo entendimiento de la condición de los pavimentos y las causas subyacentes de su deterioro. Los resultados obtenidos en cada uno de los objetivos específicos convergen en una conclusión integral que respalda la efectividad del método PCI y la aplicación de estrategias de mantenimiento en la mejora de la calidad y durabilidad de las carreteras. Se demostró que las estrategias de mantenimiento basadas en el método PCI, diseñadas a partir de la identificación de fallas y desafíos específicos, tienen un impacto significativo en la mitigación de fallas y la mejora de la condición general de los pavimentos. La evaluación de la severidad de las fallas proporcionó una base sólida para priorizar acciones y asignar recursos de manera efectiva. La identificación de las causas fundamentales y su abordaje contribuyeron a la prevención y reducción del deterioro. Además, se evidenció que el clima y las condiciones climáticas desempeñan un papel crítico en la degradación de los pavimentos, lo que respaldó la necesidad de considerar estrategias de mantenimiento específicas para abordar estos efectos. La superación de limitaciones y desafíos en la gestión del mantenimiento, así como la adaptación a las condiciones cambiantes, emergieron como elementos clave para lograr una gestión efectiva y sostenible de los pavimentos flexibles. Estas conclusiones culminan en una comprensión integral de cómo las estrategias de mantenimiento pueden ser desarrolladas y adaptadas de manera efectiva para mejorar la calidad de las carreteras y garantizar la seguridad vial. En conjunto, este estudio proporciona

un marco sólido para el desarrollo de estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles basadas en el método PCI, específicamente en el contexto de la carretera Pasco - Yanahuanca. Las conclusiones generales extraídas de los objetivos específicos reafirman la importancia de considerar factores diversos y holísticos para lograr una gestión exitosa y duradera de las carreteras. Estas estrategias no solo contribuirán al mantenimiento eficiente de la carretera Pasco - Yanahuanca, sino que también tienen el potencial de servir como un modelo para mejorar las condiciones viales en otras regiones con características similares.

- Conclusión del Objetivo 1: Identificar y Analizar Estrategias de Mantenimiento Efectivas:

En este estudio, se logró identificar y analizar estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles basadas en el método PCI que han demostrado ser efectivas en la mitigación de fallas y la mejora de la durabilidad en carreteras similares. Mediante el análisis de datos de diferentes tramos y subtramos de la carretera Pasco - Yanahuanca, se examinaron las estrategias de mantenimiento implementadas y su efecto en la condición de los pavimentos. Los resultados indican que la aplicación de mantenimiento preventivo basado en el método PCI contribuyó significativamente a la reducción de la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles. Esta conclusión se basa en la evidencia estadística que respalda la hipótesis alternativa, lo que sugiere que la implementación de estas estrategias puede ser una solución eficaz para mitigar las fallas y prolongar la durabilidad de las carreteras.

- Conclusión del Objetivo 2: Evaluación de la Severidad de las Fallas:

En el contexto de la carretera Pasco - Yanahuanca, se evaluó y clasificó la severidad de las fallas presentes en los pavimentos flexibles, estableciendo una

relación crucial entre estas fallas y las condiciones de estado del pavimento. Mediante el análisis de datos de diferentes tramos y subtramos, se evidenció una correlación significativa entre la clasificación de severidad de las fallas y el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Los resultados revelaron que las fallas más severas estaban asociadas con un PCI más bajo, lo que refleja la importancia de mantener condiciones óptimas en los pavimentos para prevenir y mitigar el deterioro. Esta conclusión refuerza la relevancia de abordar las fallas en función de su severidad para garantizar la seguridad vial y la durabilidad de las carreteras.

- Conclusión del Objetivo 3: Identificación y Análisis de Causas de Fallas:

La investigación de las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca permitió un análisis profundo de cómo estas causas afectan la condición general de los pavimentos. A través del análisis de datos de diferentes tramos y subtramos, se identificó que causas como la falta de drenaje, el tráfico pesado y la calidad de los materiales desempeñaron un papel significativo en la degradación de los pavimentos. Estos resultados subrayan la importancia de abordar las causas fundamentales para prevenir el deterioro y mantener condiciones óptimas en las carreteras. Además, se demostró que la aplicación de estrategias de mantenimiento basadas en la identificación de estas causas tuvo un efecto positivo en la mejora del PCI.

- Conclusión del Objetivo 4: Impacto del Clima en la Degradación de Pavimentos:

Al analizar el impacto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, se evidenció una relación significativa entre la temperatura promedio mensual y la variación en el PCI. Los

resultados indicaron que el aumento de la temperatura estaba asociado con una disminución en el PCI, lo que sugiere un efecto negativo del clima cálido en la condición de los pavimentos. Se propusieron estrategias específicas de mantenimiento para abordar estas condiciones climáticas, destacando la necesidad de enfoques adaptativos que consideren los efectos del clima en la planificación y ejecución del mantenimiento vial.

- Conclusión del Objetivo 5: Superación de Limitaciones y Desafíos en la Gestión del Mantenimiento:

La identificación de limitaciones y desafíos asociados con la implementación de estrategias de mantenimiento en la carretera Pasco - Yanahuanca proporcionó una comprensión profunda de los obstáculos que pueden afectar la gestión efectiva del mantenimiento vial. A través del análisis de datos que involucran el número de desafíos superados y la calificación de la gestión del mantenimiento, se demostró que la superación de desafíos tiene un impacto positivo y significativo en la gestión efectiva del mantenimiento. La relación positiva identificada entre estos factores respalda la importancia de abordar activamente las limitaciones y desafíos para lograr una gestión eficiente y mejorar la calidad de las condiciones viales.

RECOMENDACIONES

1. **Implementación Integral de Estrategias PCI:** Se recomienda la implementación completa y continua de las estrategias de mantenimiento basadas en el método PCI. Dado que se ha demostrado su eficacia en la mitigación de fallas y la mejora de la durabilidad de los pavimentos, se debe asignar un presupuesto adecuado para llevar a cabo las intervenciones y acciones identificadas.
2. **Priorización Basada en Severidad:** Dado que se ha establecido una relación significativa entre la severidad de las fallas y las condiciones del pavimento, se recomienda utilizar este enfoque de clasificación para priorizar las acciones de mantenimiento. Esto garantiza que los recursos se asignen de manera óptima y se aborden primero los problemas más críticos.
3. **Monitoreo Climático Continuo:** Considerando el impacto significativo del clima en el deterioro de los pavimentos, se recomienda establecer un sistema de monitoreo climático continuo. Esto permitirá anticipar los efectos climáticos y ajustar las estrategias de mantenimiento en consecuencia para minimizar el daño.
4. **Formación y Capacitación:** Dado que se ha identificado la falta de formación continua como una limitación, se recomienda establecer programas de capacitación periódicos para el personal encargado de la gestión y ejecución del mantenimiento. Esto asegurará que estén actualizados en las últimas técnicas y enfoques.
5. **Inversión en Equipos Modernos:** Para abordar la limitación relacionada con equipos obsoletos, se recomienda realizar inversiones en equipos modernos y adecuados para la ejecución de las actividades de mantenimiento. Esto mejorará la eficiencia y calidad de las intervenciones.
6. **Fomento de la Comunicación:** Dado que la falta de comunicación entre equipos ha surgido como una limitación, se sugiere fomentar la comunicación y

colaboración efectiva entre los diferentes equipos y departamentos involucrados en el mantenimiento. Esto facilitará la coordinación y la toma de decisiones informadas.

7. **Desarrollo de Planificación Estratégica:** Para superar desafíos como la falta de planificación y presupuesto, se recomienda desarrollar una planificación estratégica a largo plazo para el mantenimiento vial. Esto permitirá la asignación de recursos de manera efectiva y la anticipación de necesidades futuras.
8. **Evaluación y Retroalimentación Continua:** Se sugiere establecer un sistema de evaluación y retroalimentación continua para medir el impacto de las estrategias implementadas. Esto proporcionará información valiosa para realizar ajustes y mejoras a lo largo del tiempo.
9. **Investigación Continua:** La investigación sobre mantenimiento vial debe ser un proceso continuo y evolutivo. Se recomienda seguir investigando y adaptando las estrategias a medida que surjan nuevas tecnologías, prácticas y desafíos en el campo del mantenimiento de pavimentos flexibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Huang, Y. H. (2004). Pavement analysis and design (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. (1994). Modern Pavement Management. Krieger Publishing Company.
- Shahin, M. Y. (2005). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots (2nd ed.). Springer.
- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons.
- Shahin, M. Y. (2002). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots (2nd ed.). Springer.
- Shahin, M. Y. (2005). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots (2nd ed.). Springer.
- Peshkin, D. G., Hoerner, T. E., & Zimmerman, K. A. (2004). Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Applications. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 523. Transportation Research Board.
- Huang, Y. H. (2004). Pavement analysis and design (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons.

ANEXOS

1.1 ANEXOS: Hojas Excel de verificación APLICACIÓN PCI

ANALISIS DE METODO PCI EN TRAMO 13+000 A 14+000

1) muestreo y unidad de muestra
 ASTM D6433, inciso (2.1.7) menciona que el area de muestreo es: 225 ± 90 m²
 Maximo : 315.00 m²
 Minimo : 135.00 m²
 Tramo a estudiar: 13+000.00 14+000.00
 Longitud de via : 1000 m
 Ancho de la via : 7.5 m
 Longitud de muestra : 40 m
 Area de muestra : 300 m²

N : 25 Numero total de muestras
 s : 10 desviacion estandar; ASTM D6433 inciso (7.5.2) (P.Asfalto)
 e : 5% error aceptable, ASTM D6433

ASTM D6433 inciso (7.5.2)

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

n: 10
 Se obtiene 25.00 unidades de muestras
 donde 10 deben ser evaluadas.

2) selección de unidades de muestreo

13+00	■
13+040	■
13+0.80	■
13+120	■
13+160	■
13+200	■
13+240	■
13+280	■
13+320	■
13+360	■

ASTM D6433 inciso (7.5.3)

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

i: 2.5 Intervalo de muestra
 i: 2 Donde redondeando el intervalo es 2

PCI EN TRAMO

PROGRESIVA INICIAL (Km) : 13 + 0.00
 PROGRESIVA FINAL (Km) : 13 + 0.40
 Ancho de via (m) : 7.5
 Area de unidad (m²) : 300

N°	TIPO DE FALLA	und
1	Piel de cocodrilo	m2
2	Exudacion	m2
3	Agrietamiento en Bloque	m2
4	Abultamiento y hundimiento	m2
5	Corrugacion	m2
6	Depresion	m2
7	Grieta en borde	m
8	Grieta de reflexion de junta	m
9	Desnivel Carril/Berma	m
10	Grietas Longitudinales y Trans.	m
11	Parqueo	m2
12	Pulimiento de agregado	m2
13	Huecos	und
14	Cruce de via ferrea	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Desplazamiento	m2
17	Grieta parabolica	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Desprendimiento de agregado	m2





piel de cocodrilo





Grieta de borde Grietas longitudinales Parqueo




Huecos Ahuellamiento

CALIFICACION DE SEVERIDAD		
Baja	Low	L
Media	Medium	M
Alta	High	H

NORMATIVA ASTM D 6433

N°	CLASE DE FALLA	SÍMBOLO	UNIDAD	CARACTERÍSTICAS	SEVERIDAD		
					L	M	H
					Low (Baja)	Medium (Medio)	High (Alta)
1	Piel de Cocodrilo	PC	m ²	Severidad de grietas	s < 10mm	10mm < s < 30mm	s > 30mm
				Interconexión	Baja	Definida	Bien definida
				Descascaramientos	NP (no presenta)	Ligero	Bien definido
				Desprendimientos	NP (no presenta)	NP (no presenta)	Bien definido
2	Exudación	EX	m ²	Grado de exudación	Ligero	Medio	Intenso
				El asfalto se pega a las ruedas de vehículos y zapatos	Pocos días al año	Pocas semanas al año	Varias semanas al año
3	Agrietamiento en Bloque	BLO	m ²	Severidad de grietas que definen los bloques	s < 10mm	10mm < s < 76mm	s > 76mm
4	Abultamientos y Hundimientos	ABH	m ²	Severidad del tránsito	baja	media	alta
5	Corrugación	COR	m ²	Severidad del tránsito	baja	media	alta
6	Depresión	DEP	m ²	Severidad del tránsito	13mm < h < 25mm	25mm < h < 51mm	h > 51mm
7	Grieta de Borde	GB	m	Fragmentación o desprendimientos	NP (no presenta)	Poco Definido	Bien definido
				Severidad	s < 10mm	10mm < s < 76mm	s > 76mm
				Agrietamiento	bajo	medio	severo
8	Grieta de Reflexión de Junta	GR	m	Grieta sin relleno	s < 10mm	10mm < s < 76mm	s > 76mm
				Grieta con relleno			
9	Desnivel Carril Berma	DN	m	Elevación entre el borde del pavimento y la berma	25mm < h < 51mm	51mm < h < 102mm	h > 102mm
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m	Severidad de las grietas	s < 10mm	10mm < s < 76mm rodeado o no por grietas aleatorias	s > 76mm rodeado por grietas aleatorias de severidad M o H
11	Parcheo	PA	m ²	Condición del parche	Buen estado	Moderadamente deteriorado	Muy deteriorado
				Severidad del tránsito	baja	media	alta
12	Pulimento de Agregados	PU	m ²	Grado de pulimento deberá ser significativo para ser considerado como defecto.	ND (no definido)	ND (no definido)	ND (no definido)

	DAÑO	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		AREA/ LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
				X(m) 0 a 7.5	Y(m) 0 a 40 m	L (m)	A (m)	Und		
A	1	H	m2	0.4	3.2	2.5	2.25		5.63	9.33
B	1	H	m2	1.2	27.5	1.83	0.74		1.35	
C	1	H	m2	6.8	5	2.8	0.84		2.35	
D	1	M	m2	3.2	5.5	0.65	0.9		0.59	2.38
E	1	M	m2	4.1	37.5	2.9	0.62		1.80	
F	7	H	m	0	9.25	1.2			1.20	1.20
G	10	L	m	0.4	9.35	2.7			2.70	8.30
H	10	L	m	1.5	21	5.6			5.60	
I	11	M	m2	5.2	12.5	0.5	0.45		0.23	0.23
J	13	M	Und	2.25	22.5			1	1.00	2.00
K	13	M	Und	5.5	20			1	1.00	
L	15	M	m2	4	22.5	8.6	0.9		7.74	7.74

EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Devidad 5.3312 3.11
300

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	CANTIDADES PARCIALES			TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
PC	H	m2	5.63	1.35	2.35	9.33	3.11	45.92
PC	M	m2	0.59	1.8		2.39	0.80	19.56
GB	H	m	1.2			1.2	0.40	7.9
GLT	L	m	2.7	5.6		8.3	2.77	1.56
PA	M	m2	0.23			0.23	0.08	3.7
HUE	M	Und	1	1		2	0.67	25.3
AHU	M	m2	7.74			7.74	2.58	28.08
TOTAL VD:								132.02

Numero de valores deducidos >2 (q) 6 Se descarta valores menores a 2 **DESPRECIAMOS POR SU SIGNIFICANCIA**
 Valor deducido mas alto (HVDi) 45.92 Se considera el mas alto
 Numero Maximo de valores deducidos (mi) 6.0

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

VDC: VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
 VDT: VALOR DEDUCIDO TOTAL

CALCULO DE VALOR DEDUCIDO CORREGIDO

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
	1	2	3	4	5	6			
1	45.918	28.084	25.3	19.56	7.9	3.7	130.462	6	63.18
2	45.918	28.084	25.3	19.56	7.9	2	128.762	5	66.38
3	45.918	28.084	25.3	19.56	2	2	122.862	4	69.43
4	45.918	28.084	25.3	2	2	2	105.302	3	65.65
5	45.918	28.084	2	2	2	2	82.002	2	59.2
6	45.918	2	2	2	2	2	55.918	1	55.92
7									

Maximo VDC = 69.43

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI) PCI= 100-(Max VDC o TOTAL VD)
 PCI= 30.57

CONDICION DE ESTADO DE PAVIMENTO **Malo**

Tabla 12. Correlación de categoría de acción con un rango de PCI (Jugo B, 2005).

Categoría de acción	Rango	Clasificación	Simbología
Mantenimiento Preventivo	100 – 85	Excelente	
Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico	85 – 70	Muy Bueno	
Mantenimiento Correctivo	70 – 55	Bueno	
Rehabilitación – Refuerzo Estructural	55 – 40	Regular	
Rehabilitación – Reconstrucción	40 – 25	Malo	
	25 – 10	Muy Malo	
	10 – 0	Fallado	

CONDICION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

PCI		CLASIFICACIÓN
85	100	Excelente
70	85	Muy Bueno
55	70	Bueno
40	55	Regular
25	40	Malo
10	25	Muy Malo
0	10	Fallado

1.2 ANEXOS: Hojas Excel de verificación HIPOTESIS ESPECIFICAS.

PRUEBA T DE ESTUDENT

TRAMO	SUBTRAMO	PCI ANTES	PCI DESPUES	DIFERENCIA
1	A	67	93	26
	B	63	87	24
2	A	44	86	42
	B	50	90	40
3	A	29	85	56
	B	25	93	68
3	A	63	94	31
	B	55	95	40
	C	65	92	27
	D	59	86	27
3	A	68	93	25
	B	58	95	37
	C	56	86	30
	D	63	92	29

Que sigue una distribución t con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad.
 Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $t > t_{(1-\frac{\alpha}{2})|(n_1+n_2-2)}$ (valor crítico)

nivel de significancia alfa: 5%
 area de rechazo g| grados de libertad

PRUEBA DE HIPOTESIS

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

valor crítico

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2})|(n_1+n_2-2)}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

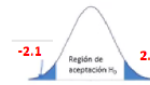
1 $X_1 = 90.5$ $n_1 = 14$ $S_1^2 = 13.8076923$
 $X_2 = 54.6$ $n_2 = 14$ $S_2^2 = 180.862637$

2 $t = \frac{9.62}{10.6} = 10.6$ $S_p^2 = 97.3351648$

3 $gl = (n_1 + n_2 - 2) = 26$
 $\alpha = 0.05$ 5%

4 $t_{(1-\frac{\alpha}{2})|(n_1+n_2-2)} = 2.06$ 2.16

5 $p\text{-valor} = 4.762E-10$



- 1 p valor es menor que nivel de significancia, se rechaza hipótesis nula
- 2 valor crito es menor

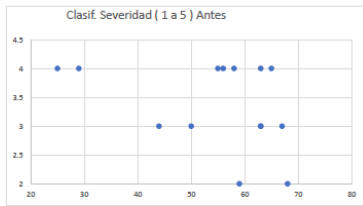
Decisión: No se acepta la hipótesis nula

Resultado: El valor t calculado, 10.6, es mucho mayor que el valor crítico ± 2.160 , para un nivel de significancia de 0.05

COEFICIENTE DE CORRELACION PEARSON

TRAMO	SUBTRAMO	PCI ANTES	Clasif. Severidad (1 a 5) Antes	PCI DESPUES	Clasif. Severidad (1 a 5) Despues
1	A	67	3	93	1
		63	4	87	3
	B	44	3	86	3
2	A	50	3	90	1
		29	4	85	1
	B	25	4	93	2
3	A	63	3	94	3
		55	4	95	2
	B	65	4	92	2
		59	2	86	2
	C	68	2	93	2
		58	4	95	1
	D	56	4	86	3
	63	3	92	1	

- r es un coeficiente (no tiene unidades)
- 1 ≤ r ≤ 1
- Si r = 1 existe una correlación directa fuerte
- Si r = -1 existe una correlación inversa fuerte
- Si r = 1 o r = -1 hay una correlación funcional
- Si r ≠ 0 no existe una correlación lineal



se usa para una investigación relacional.

PRUEBA DE HIPOTESIS

Primera forma

$H_0: \rho = 0$
 $H_1: \rho \neq 0$

Estadística de prueba

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

$n = 14$
 $g(-2) = 12$
 $\alpha = 0.05$ 5%

Valor crítico $t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} = 0.632$

Conclusión: $r > \text{Valor Crítico}$
 $0.78 > 0.632$ como T es mayor al valor crítico, se debe rechazar la H_0 . Existe evidencia estadística suficiente para concluir que el coeficiente de correlación es diferente de 0.

Además, el valor crítico es 0.632, y dado que $|-0.78| > 0.632$, podemos decir que la correlación es significativa al nivel $\alpha = 0.05$.

R de Pearson

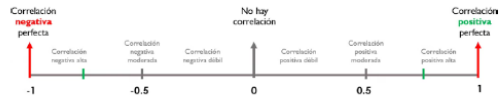


Ilustración 35: Hoja de cálculo Hipótesis Especifica 2 (fuente: Propio)

COEFICIENTE DE CORRELACION PEARSON

TRAMO	SUBTRAMO	PCI ANTES	PCI DESPUES	Clasif. Severidad (1 a 5) Antes	Clasif. Severidad (1 a 5) Despues
1	A	67	93	3	1
		63	87	4	3
	B	44	86	3	3
2	A	50	90	3	1
		29	85	4	1
	B	25	93	4	2
3	A	63	94	3	3
		55	95	4	2
	B	65	92	4	2
		59	86	2	2
	C	68	93	2	2
		58	95	4	1
	D	56	86	4	3
	63	92	3	1	

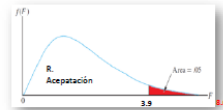
Suma(x _i)=	765	1267
Media(x)=	54.6	90.5
ma total(x)=	2032	
n=	14	14
	28	k= 2
SC _{tot} =	9000.14286	
SC _{error} =	11530.9	
SC _{exp} =	2630.7	

ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$k - 1$	$CM_{Total} = \frac{SC_{Total}}{k - 1}$	$F = \frac{CM_{Total}}{CM_{Error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$N - k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N - k}$	
Total	$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$	$N - 1$		

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fs	F
Entre las muestras	9000.142867	1	9000.14286	92.4054812	8.6
Dentro de las muestras	2630.7	26	97.3351648		
Total	11530.9	27			

(Valor crítico) $F_{0.05, 1, 26} = 4.225$
 (Valor crítico) $F_{0.01, 1, 26} = 3.900$
 p-valor: 4.76159E-10 $F > (\text{Valor crítico}) F_{\alpha, k-1, N-k}$
 8.6 > 3.9



Fórmulas simplificadas:

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{x^2}{N}$$

$$SC_{Error} = SC_T - SC_{Total}$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{x^2}{N}$$

COEFICIENTE DE CORRELACION PEARSON

TRAMO	SUBTRAMO	PCI - Promedio Septiembre	Temperatura promedio Mensual (°C) - Agosto	PCI - Noviembre	Variacion PCI
1	A	93	6	83	-10
		87	9	82	-5
	B	86	5	76	-10
2	A	90	5	85	-5
		85	5	80	-5
	B	93	12	88	-5
3	A	94	11	85	-9
		95	15	87	-8
	B	92	13	85	-7
		86	15	77	-9
	C	93	12	83	-10
		95	10	90	-5
	D	86	13	81	-5
		92	10	84	-8

REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{S_y}{S_x} R$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

X: Edad Y: PSS

Donde:
 S_{xy} : Covarianza entre X e Y
 S_x : Desviación estándar de X
 S_y : Desviación estándar de Y
 R : Coeficiente de correlación de Pearson

$$\bar{x} = -7.21428571$$

$$\bar{y} = 10.07142857$$

$$S_x = 2.154729018$$

$$S_y = 3.604789244$$

$$S_x^2 = 4.642857143$$

$$S_{xy} = -0.5989011$$

$$R = -0.07710501$$

$$\hat{\beta}_1 = -0.129$$

$$\hat{\beta}_0 = 5.021428571$$

$$\hat{\beta}_1 = -0.7$$

$$\hat{\beta}_1 = -0.7$$

Valor crítico de $F < 0.05$ El modelo es adecuado para utilizar
 Valor crítico de $F =$ 0.01

B0
 B1

Matriz de Consistencia)

ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES UTILIZANDO EL MÉTODO PCI EN LA CARRETERA PASCO – YANAHUANCA 2022						
	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables		Metodología
General	¿Cuáles son las estrategias más efectivas para el mantenimiento de pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca utilizando el método PCI en el año 2022?	Estrategias para el mantenimiento de pavimentos flexibles utilizando el método PCI en la carretera Pasco – Yanahuanca 2022	La implementación de estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 mejorará la durabilidad de los pavimentos, mitigará las fallas existentes y prolongará su vida útil.	Dependiente: Mantenimiento del Pavimento en base al Metodo del PCI	Dimensiones: -Resultados Alcanzados - Recursos Utilizados	Tipo de Investigación: Corresponde a las investigaciones Aplicada para mejorar la práctica o la toma de decisiones en el ámbito específico implicando la aplicación y adaptación de conocimientos teóricos y científicos.
Específicos	- ¿Cuáles son las estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles, basadas en el método PCI, son más efectivas para mitigar las fallas y mejorar la durabilidad en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022?	Identificar y analizar estrategias de mantenimiento de pavimentos flexibles, basadas en el método PCI	La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo basadas en el método PCI en la carretera Pasco - Yanahuanca en el año 2022 reducirá la incidencia de fallas en los pavimentos flexibles.	Independiente: Estrategias de Mantenimiento Basadas en el Método PCI Clima Causas de Deterioro	Clasificación de Severidad	Diseño de la Investigación: El diseño de análisis es Casos y Controles ya que poseen las próximas propiedades: es explicativo-correlacional, comparativo, longitudinal, Retrospectivo
	- ¿Cuál es la clasificación de	Evaluar y clasificar la severidad de las	La clasificación de severidad de las fallas presentes en los	Limitaciones y desafío	Condiciones del estado del pavimento	Población: Carretera Pasco – Yanahuanca

<p>severidad de las fallas presentes en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca y cómo se relaciona con las condiciones de estado del pavimento?</p>	<p>fallas presentes en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca</p>	<p>pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca se relacionará directamente con las condiciones de estado del pavimento, demostrando que los tramos con mayor deterioro tendrán una clasificación de severidad más alta.</p>		<p>Muestra: La muestra de recursos Kilómetro 0+000 – Kilómetro 26+000 (A conveniencia)</p>
<p>¿Cuáles son las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca y cómo afectan su condición general?</p>	<p>Investigar las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca</p>	<p>Las principales causas que contribuyen a la aparición de fallas en los pavimentos flexibles de la carretera Pasco - Yanahuanca afectarán negativamente su condición general, evidenciando que factores como la falta de drenaje adecuado, el tráfico pesado y la calidad de los materiales inciden en el deterioro de los pavimentos.</p>	<p>Presupuesto</p>	
<p>¿Cuál es el impacto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, y cómo pueden integrarse estrategias de mantenimiento específicas para abordar estas condiciones climáticas?</p>	<p>Analizar el impacto del clima en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca</p>	<p>El clima tendrá un impacto significativo en la degradación y deterioro de los pavimentos flexibles en la carretera Pasco - Yanahuanca, y la integración de estrategias de mantenimiento específicas adaptadas a las condiciones climáticas permitirá mitigar este impacto y mejorar la durabilidad de los pavimentos.</p>	<p>Tiempo disponible y materiales disponibles.</p>	<p>Método: Cuantitativo-Cualitativo de datos estadístico</p>







