

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Evaluación superficial del pavimento flexible en la serviciabilidad y estado de conservación, carretera Abancay – Cusco, 2024

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Navio Arando, Grover Rainer

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay- Apurímac - Perú

2025

Acta de sustentación



**Universidad
Tecnológica de los Andes**



Transformando vidas
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 073

En la ciudad de Abancay, a los once días del mes de **diciembre del 2025**, siendo las **11:00 am** horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° **1022-2025- EPIC-FI-UTEA-SA** de fecha **04** de diciembre del **2025**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Huanca Astoquillca Luis
Dictaminante :	Dra. Vera Teves, Rosa Marina
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

: Evaluación superficial del pavimento flexible en la serviciabilidad y estado de conservación, carretera Abancay – Cusco, 2024.

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Navio Arando Grover Rainer

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Mayoría
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Navio Arando Grover Rainer	Aprobado

Siendo las **12:54pm** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidenta: Mag. Huanca Astoquillca, Luis

Dictaminante: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 22 de diciembre del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis consignado en los folios N° 373

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

Reporte de similitud

NAVIO ARANDO_GROVER RAINER_INGENIERÍA CIVIL

Revisión-tesis-C/D

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:543727743

Fecha de entrega

31 dic 2025, 8:59 GMT-5

Fecha de descarga

31 dic 2025, 9:05 GMT-5

Nombre del archivo

NAVIO ARANDO_GROVER RAINER_INGENIERÍA CIVIL.docx

Tamaño del archivo

75.7 MB

154 páginas

18.895 palabras

104.915 caracteres



Página 2 de 170 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:543727743

18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Navio Arando, Grover Rainer
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 46975517
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0002-9235-2574
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06532658
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la Investigación	: 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 18%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Dedico la presente tesis con profundo agradecimiento a mis padres, Nicanor Navio y Gregoria Arando, así como a mis hermanos, por haber sido un pilar constante de apoyo, comprensión y fortaleza a lo largo de mi trayectoria universitaria, especialmente en la culminación de esta tesis.

Navio Arando, Grover Rainer

Agradecimiento

A mi casa de preparación profesional
Universidad Tecnológica de los Andes.

A todos los docentes que contribuyeron
tiempo, dedicación, paciencia y parte de mi
preparación profesional.

A mi asesor de tesis el Ph.D Abbon
Alex Vázquez Ramírez, con su apoyo, tiempo y
amabilidad, donde fue parte del inicio, proceso
y culminación de mi tesis.

Navio Arando, Grover Rainer

Resumen

La tesis “Evaluación superficial del pavimento flexible en la serviciabilidad y estado de conservación, carretera Abancay – Cusco, 2024”, surge ante la necesidad de atender el deterioro, del tramo comprendido entre el km 766+00 y km 777+000, donde el desgaste de la carpeta asfáltica se refleja en baches, ahuellamientos, grietas y otras fallas que ponen en riesgo la seguridad y comodidad de los usuarios, además de incrementar los costos de operación.

El propósito central del estudio fue examinar el estado en su nivel de serviciabilidad y conservación, con miras a proponer soluciones técnicas. Para ellos se aplicó una metodología de tipo aplicada, con un nivel descriptivo, enfoque mixto y diseño no experimental transversal, apoyándose en observaciones y mediciones con el método PCI y rugosímetro Merlín, registrando la información en formatos y procesándolo en hojas de cálculo. Los datos obtenidos muestran que el PCI promedio fue 35 para el carril derecho y 29 para el izquierdo, ambos en categoría “malo”. Asimismo, el IRI promedio resultó 5.64 m/km y IRI más conservado es 4.51m/km, mientras que el PSI fue de 2 y 1.8, lo que evidencia deficiencias importantes en la vía. En conclusión, el 72 % del tramo requiere rehabilitación estructural y el 28 % mantenimiento rutinario o periódicos, se comprobó que las fallas superficiales reducen la calidad de servicio y agudiza el desgaste de la capa de rodadura, en consecuencia, es urgente aplicar medidas de rehabilitación y mantenimiento periódico.

Palabras clave: índice de condición del pavimento, índice de rugosidad, índice de serviciabilidad.

Abstract

The thesis, "Surface Evaluation of Flexible Pavement Serviceability and State of Conservation, Abancay-Cusco Highway, 2024," arose from the need to address the deterioration of the section between km 766+00 and km 777+000, where the wear of the asphalt pavement is reflected in potholes, ruts, cracks, and other defects that jeopardize user safety and comfort, in addition to increasing operating costs.

The central purpose of the study was to examine the serviceability and state of conservation, with a view to proposing technical solutions. An applied methodology was applied, with a descriptive level, a mixed approach, and a cross-sectional non-experimental design, based on observations and measurements using the PCI method and a Merlin roughness tester, recording the information in forms and processing it in spreadsheets. The data obtained show that the average PCI was 35 for the right lane and 29 for the left, both in the "poor" category. Likewise, the average road surface intensity index (IRI) was 5.64 m/km and IRI minor 4.51 m/km, while the road surface intensity index (PSI) was 2.0 and 1.8, revealing significant deficiencies in the roadway. In conclusion, 72% of the section requires structural rehabilitation and 28% routine, periodic maintenance. It was proven that surface defects reduce service quality and accelerate the deterioration of the road surface, making it urgent to implement rehabilitation and periodic maintenance measures.

Keywords: pavement condition index, roughness index, serviceability index.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiv
I. Introducción	15
II. Planteamiento del problema	16
2.1. Descripción y formulación del problema	16
2.2. Objetivos	18
2.2.1. Objetivo general	18
2.2.2. Objetivos específicos.....	18
2.3. Justificación e importancia.....	19
2.4. Hipótesis.....	19
2.5. Variables.....	20
III. Marco Teórico	22
3.1. Antecedentes de investigación	22
3.2. Bases teóricas	27

3.3. Definición de términos	50
IV. Metodología	52
4.1. Tipo y nivel de investigación	52
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	54
4.3. Población y muestra	55
4.4. Instrumentos	58
4.5. Procedimientos	59
4.6. Análisis de datos.....	67
4.7. Consideraciones éticas	68
V. Resultados y discusión	69
VI. Conclusiones	86
VII. Recomendaciones.....	88
VIII. Referencias.....	90
IX. Anexos	99

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	21
Tabla 2 Calificación del PSI.....	28
Tabla 3 Índice de serviciabilidad final según NTPU CE.010.....	28
Tabla 4 Escala de dispersión del rugosímetro Merlín en el puntero.....	33
Tabla 5 Reparaciones sugeridas en función del PCI	34
Tabla 6 Rango de calificación del PCI	36
Tabla 7 Ficha de recolección de datos del PCI. falla y severidad	37
Tabla 8 Recomendación de distribución de muestra y sus medidas correspondientes.....	38
Tabla 9 Resumen de fallas de PCI y sus unidades de medida.....	42
Tabla 10 Niveles de severidad en función del área para baches.....	44
Tabla 11 Registro de datos en campo	60
Tabla 12 Determinación cantidad, total, densidad y valor deducido.....	63
Tabla 13 Determinación de cantidad total.....	63
Tabla 14 Determinación cantidad, total, densidad y valor deducido.....	64
Tabla 15 Resultados de la medición de fallas según unidades de muestra.....	69
Tabla 16 Propuesta de rehabilitación de la vía	75
Tabla 17 Datos para generar el perfil longitudinal con rugosímetro Merlín	79

Índice de figuras

Figura 1 Rugosidad en pavimentos	29
Figura 2 Simulación del IRI en una cuarta parte del vehículo	30
Figura 3 Rangos del índice IRI y calificación del estado de pavimentos.....	31
Figura 4 Partes del rugosímetro Merlín.....	32
Figura 5 Rugosímetro Merlín	32
Figura 6 Daños superficial de pavimentos	35
Figura 7 Rangos por color del PCI.....	37
Figura 8 Superficie del pavimento flexible	41
Figura 9 Conformación de niveles de soporte estructural para asfaltos.....	42
Figura 10 Fallas superficiales para validar el PCI.....	46
Figura 11 Fallas superficiales para validar el PCI.....	47
Figura 12 Fallas superficiales para validar el PCI.....	48
Figura 13 Fallas superficiales para validar el PCI.....	49
Figura 14 Delimitación de la población de la carretera de estudio	55
Figura 15 Distribución de las unidades de muestreo a evaluar PCI.....	57
Figura 16 Distribución de las unidades de muestreo a evaluar IRI.....	58
Figura 17 Interpolación de líneas proyectado para valores deducidos.....	61
Figura 18 Interpolación de líneas proyectado para valores deducidos.....	62
Figura 19 Determinación del q1-q7.....	64
Figura 20 Plantilla de registro de mediciones del R. MERLIN	66
Figura 21 Distribución porcentual de deterioros carril derecho (Abancay-cusco).....	72
Figura 22 Distribución porcentual de deterioros carril izquierdo (Cusco-Abancay)	73
Figura 23 Valores PCI carril derecho subida	74
Figura 24 Valores PCI carril izquierdo bajada	74

Figura 25 Histograma M-1 Km 776+160-776+560 (lado Derecho)	76
Figura 26 Histograma M-2 km 776+000-776+400 lado Izquierdo	76
Figura 27 Histograma M-3 km 776+560-776+960 lado Derecho.....	77
Figura 28 Histograma M-4 km 776+560-776+960 lado Izquierdo	78
Figura 29 Valores de índice de rugosidad internacional de la vía.....	78
Figura 30 Valores del índice de serviciabilidad de pavimentos de la vía	79
Figura 31 Perfil ambos sentidos km 776+160-776+560 con rugosímetro Merlín	82
Figura 32 Perfil ambos sentidos km 776+562-776+960 con rugosímetro Merlín	83

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia	100
Anexo 2 Operacionalización de variables	101
Anexo 3 Documentos de cálculo.....	102
Anexo 4 Ficha de recolección de datos del PCI y IRI.....	106
Anexo 5 Panel fotográfico.....	134
Anexo 6 Certificado de calibración del rugosímetro Merlín.....	142
Anexo 7 Ábacos adaptados de la norma ASTM D6433-07	144
Anexo 8 Plano de ubicación.....	154

I. Introducción

Para conservar la red vial en condiciones óptimas, es clave destinar recursos al mantenimiento y así evitar sobre costo en la recuperación de su operabilidad, un país que permita el deterioro de la vía está destinado a tener sobre costos para viabilizar dicha vía, donde el gasto está en un rango de 1% y 3% de su producto bruto interno. Por lo tanto, es determinante para obtener seguridad y confort en el servicio brindado de estas vías (Macea et al., 2016).

De acuerdo el, Ministerio de transportes y comunicaciones (TMC, 2024) Apurímac cuenta con 1283.1 km de vía Nacional lo que representa un 81.7 % es pavimentado, esto quiere decir que gran parte de la red vial Nacional está asfaltado y se requiere realizar mantenimiento rutinarios y periódicos, para mantener en óptimas condiciones las vías.

Para poder determinar si estas vías necesitan intervención se utilizará diferentes métodos de visualización y mediciones no destructivos.

Donde el objetivo es conocer estos valores de su estado encontrado de la vía y poder dar alternativa de soluciones para cada caso que tenga cada tramo de la vía.

La tesis está distribuida por el ítem; I. Introducción, II. Planteamiento del problema, III. Marco teórico, IV. Metodología, V. Resultados y discusiones, VI Conclusiones, VII. Recomendaciones, VIII. Referencias y IX. Anexos.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En Indonesia la carretera de peaje Surabaya-Gresik es una infraestructura crucial que conecta la ciudad de Surabaya con Gresik Regency. La presencia de esta carretera de peaje tiene una función vital en la creación de un desarrollo equilibrado en Surabaya, Gresik y sus alrededores. Junto con el rápido crecimiento económico en Gresik Regency y la ciudad de Surabaya, de hecho, incrementa significativamente el volumen de vehículos que pasan por la autopista de peaje Surabaya – Gresik. Por supuesto, ciertamente puede manifestarse un deterioro de la calidad de la vía y originan múltiples patologías, como grietas de cocodrilo, sangrado, corrugaciones, empujones y otros. Los daños a la infraestructura vial afectan directamente a usuarios y vehículos de la vía, también puede impedir el flujo del tráfico. La gestión de los daños a lo largo de la Autopista de peaje de Gresik será con el PCI. A través de una comprensión integral las patologías superficiales y la cantidad de daños que ocurren en la autopista. (Kresno et al., 2024).

En México, una fracción importante de la red carretera presenta deficiencias estructurales y superficiales, asociadas en gran medida a restricciones históricas en la asignación de recursos para conservación y a esquemas de gestión vial poco articulados. De acuerdo con reportes del SCT, alrededor del 22 % de las carreteras federales se clasifican en mal estado. Esta condición repercute directamente en la seguridad y comodidad del usuario, así como en los costos de operación y en la eficiencia del transporte de pasajeros y carga. Evaluaciones del IMT indican que cuando la superficie pasa de óptima a solo “buena”, el costo operativo por kilómetro puede incrementarse entre 15 % y 20 %; y si la superficie se degrada a “mala”, dicho aumento puede alcanzar 35 %–40 % sobre el costo de operación. La incidencia del estado del pavimento sobre los costos de operación vehicular es marcada. Cuando la vía se conserva adecuadamente y la circulación no presenta interferencias, dichos

costos se reducen al mínimo. En este estudio, la evaluación de la condición se realizará con base en el Catálogo de Deterioros para pavimentos flexibles de la red carretera mexicana y bajo el criterio del índice de rugosidad, siguiendo lo señalado por (Montoya, 2020).

Los pavimentos flexibles ya sean urbanos o rurales, tienen como finalidad principal proporcionar condiciones adecuadas de circulación para vehículos y peatones, ofreciendo comodidad y seguridad en los desplazamientos, sin embargo es común que estas superficies presenten deterioros visibles tales como baches, fisuras o pérdida total de la capa asfáltica, afectando negativamente la movilidad vehicular, en el caso del circuito vial de Sacsayhuamán, la alta demanda turística diaria incrementa el flujo de tránsito lo que intensifica el desgaste del pavimento, la ausencia de mantenimiento periódico ha ocasionado una condición deficiente de la vía, lo que disminuye de manera notable de la calidad de servicio y afecta la percepción de comodidad de los usuarios. Por ello se llevó a cabo un análisis técnico de la condición superficial del pavimento empleando el método del índice de condición del pavimento, a fin de identificar cómo influye en la comodidad que ofrece el servicio vial (Alarcón, 2018).

En la región Apurímac se localiza la carretera nacional PE-3S, ramal de la carretera longitudinal de la sierra sur que conecta, los departamentos de Ayacucho, Abancay, Cusco y Puno. El tramo de estudio corresponde a la progresiva km 776+000 – km 777+000, donde se observan ondulaciones, ahuellamiento y otras patologías que ocasionan fallas mecánicas en los vehículos y eventos de accidentes, afectando el transporte de personas y el movimiento de carga. Para este segmento se diagnosticará la condición mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI); con esos resultados se estimará el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) y se formulará una propuesta de rehabilitación.

Los pavimentos flexibles requieren conservación oportuna. De lo contrario surgen baches, grietas y fallas que pueden comprometer la capa asfáltica. Este deterioro interrumpe el servicio y eleva sustancialmente los costos de rehabilitación.

Entonces debemos identificar estas fallas y dar un sustento documentado donde avale la intervención de acuerdo a su serviciabilidad, determinados con los métodos del PCI y rugosímetro Merlín, de tal forma que formulamos el siguiente problema.

2.1.1. Problema general

¿Cómo incide la evaluación superficial del pavimento flexible en la serviciabilidad y estado de conservación de la carretera Abancay–Cusco, 2024?

2.1.2. Problemas específicos

a. ¿Cómo incide la evaluación superficial del pavimento flexible en la serviciabilidad de la carretera Abancay–Cusco, 2024?

b. ¿Cómo incide la evaluación superficial del pavimento flexible en el estado de conservación de la carretera Abancay–Cusco, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Analizar las fallas superficiales del pavimento flexible y su incidencia en la serviciabilidad y el estado de conservación, mediante el PCI y el rugosímetro Merlín de la carretera Abancay–Cusco, 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

a. Determinar el índice de serviciabilidad del pavimento flexible, mediante el rugosímetro Merlín, de la carretera Abancay–Cusco, 2024.

b. Determinar el estado de conservación superficial del pavimento flexible mediante el índice de condición del pavimento, de la carretera Abancay–Cusco, 2024.

2.3. Justificación e importancia

Gran parte del tramo de estudio presenta deterioros en la carpeta de rodadura que afectan la serviciabilidad y acortan la vida útil del pavimento. Evaluar el estado actual de las vías mediante métodos estandarizados (PCI, PSI e IRI) permite identificar oportunamente las fallas, priorizar intervenciones y orientar mantenimientos. Con ello se evita el deterioro progresivo que puede comprometer la estructura vial, generando mayores costos de rehabilitación y afectando la competitividad regional.

El estudio aporta criterios técnicos en conservación vial, facilitando la programación de medidas preventivas, mantenimiento oportuno, permitiendo mejorar el nivel de servicio para los usuarios, optimizar el uso de recursos públicos, fortalecer las capacidades de los profesionales locales, contribuyendo a vías de mejor calidad, seguridad, menor costo de operación vehicular y una movilidad más competitiva frente a otras regiones.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las fallas superficiales del pavimento flexible inciden significativamente en la serviciabilidad y el estado de conservación de la carretera Abancay–Cusco, 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

a. Las fallas superficiales del pavimento flexible inciden significativamente en el índice de serviciabilidad, medido mediante el rugosímetro Merlín, de la carretera Abancay–Cusco, 2024.

b. Las fallas superficiales del pavimento flexible inciden significativamente en el estado de conservación superficial, medido mediante el PCI, de la carretera Abancay–Cusco, 2024.

2.5. Variables

Variable Dependiente:

VD 1: Serviabilidad.

VD 2: Estado de conservación.

Variable Independiente:

VI: Superficie del Pavimento flexible.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable dependiente 1: Serviciabilidad.	Nivel de servicio percibido según el confort y irregularidad de la rodadura; se deriva de variables medibles de condición y disminuye con el deterioro y el tiempo. Escala de 5 (excelente) a 1 (muy mala). (Ohio Department of Transportation [ODOT], 2022; Federal Highway Administration [FHWA], 2022; American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 1993).	Se calculará transformando el IRI medido con rugosímetro Merlín, para muestras de cada 400 metros de distancia, donde se elimina un 5% de cada lado de muestras extremas ya sea de elevación o deflexión, luego transformando al valor PSI, aplicando la fórmula de Sayers.	• Rugosidad	• Valor IRI	• Razón	Rugosímetro Merlín
Variable dependiente 2: Estado de conservación.	Conservación del pavimento con escala de (0 = fallado, 100 = excelente) basado en la severidad y la extensión de los defectos. En pavimentos asfálticos se evalúa visualmente las fallas superficiales, como parches huecos, ahuellamiento, etc. para clasificar el tramo como bueno, regular, malo y decidir la intervención: mantenimiento, preservación, rehabilitación o reconstrucción (City and County Pavement Improvement Center [CCPIC], 2021; [FHWA], 2017).	Se delimita con pintura la distancia de cada muestra obteniendo el área total para luego calcular la densidad de las fallas según su unidad de medida luego obtiene el PCI con los ábacos de cada tipo de falla finalizando con el valor de 0 a 100 donde un valor de 0 fallado, 100 excelente.	• Daño superficial	• Valor PCI	• Ordinal	Hoja de registro PCI
Variable independiente: Superficie del Pavimento flexible.	Capa superior bituminosa sobre la base; recibe directamente el tránsito y transmite las cargas. Su verificación incluye tipo de mezcla y espesor en planos y registro de defectos (calicata, regla, fichas). (Georgia Department of Transportation [GDOT], 2025; Texas Department of Transportation [TXDOT], s. f.; Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2015).	Se evaluará mediante inspección visual y medición de la capa asfáltica del tramo en estudio, identificando cada falla para luego ser medido según su área longitud o unidad depende del tipo de falla.	• Cobertura del pavimento	• Área agrietada • Profundidad • Severidad	• Razón • Razón • Ordinal	Hoja de cálculo Excel

Nota. Se detalla tres variables con sus definiciones, dimensiones, indicadores y herramientas de medición tenemos 2 variables dependientes que son la serviciabilidad y el estado de conservación, la definición operacional es la que define los pasos a realizar para poder cuantificar o clasificar las variables.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de investigación

Kresno et al. (2024) en su artículo denominado “Análisis del nivel de daños en la carretera utilizando el índice de condición del pavimento (PCI) Método en la autopista de peaje Surabaya-Gresik, Java Oriental”. El objetivo fue dar una visión del daño que tiene la carretera superficialmente para poder definir el tipo de mantenimiento. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, diseño no experimental, nivel descriptivo, con mediciones focalizados, evaluaciones visuales, el estudio se realizó en una distancia de 4 km, realizó la recopilación de datos cada 100 m con 40 muestras y utiliza la metodología de PCI. Donde el resultado fue valor promedio del PCI=68, clasificado este valor como “bueno” y el tipo de mantenimiento corresponde a un mantenimiento de rutina, que son trabajos de parche de baches, reparaciones menores, de laterales, drenaje y la mayor cantidad de daño fue con un 72.27% agrietamiento de cocodrilo, y el de menos cantidad de falla con un 0.04% es bache. Concluye que se identificó daños como sangrado, piel de cocodrilo, depresión, agrietamiento transversal y longitudinal, pulido, deshilacha, desgaste, parches y baches.

Santa et al. (2023) en su artículo “Estudio Comparativo de Desempeño entre Internacionales Índice de rugosidad (IRI), índice de condición del pavimento (PCI) y Método Bina Marga en las carreteras”. Su objetivo fue comparar la evaluación de los tres métodos y formular programas de tratamiento. La metodología de esta investigación es de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño no experimental. El resultado fue un PCI=41.2 regular, el índice internacional de rugosidad es 7.2, luego compara entre estos métodos y determina que el PCI proporciona a más detalle información de daños en la superficie del pavimento, mientras el IRI estudia más la uniformidad de variaciones verticales de elevación o hundimiento de la superficie que puede afectar a la comodidad del usuario de la carretera.

En conclusión, a pesar que tienen variación estos indican la necesidad de realizar mantenimientos y mejora, en la planificación, lo cual se busca una categorización de PCI=buena.

Mohamed et al. (2023) en su artículo “Predicción de la vida útil basada en relación entre PSI e IRI para pavimento flexible”. El objetivo fue determinar el estado superficial y la capacidad de servicio sobre la vida útil restante de vías asfálticas, compara su relación del índice de serviciabilidad e índice internacional de rugosidad. La metodología es de tipo aplicada, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Donde el resultado obtenido se determina que la vía finaliza en 8 años de su tiempo operativo, su PSI y IRI obtiene un valor de R^2 de 0.9981, mientras la condición real es de R^2 de 0.9976. Concluye que el modelo de vida restante es apropiado y puede utilizar para predecir la vida útil de carreteras en función de volumen de tráfico se obtiene una reducción de 2 años de vida útil de diseño, la predicción para 10 años demuestra que las condiciones de carreteras se verán afectadas a partir del sexto año con un valor de 8m/km.

Freire (2024) en su tesis de pregrado “Análisis comparativo del método de PCI e IRI en la calificación de la condición actual del pavimento flexible en un tramo de la av. Iliira ñan en la ciudad de Quito”. El objetivo fue analizar el PCI y IRI comparándolos y definir cuál de estos métodos es más ideal en un pavimento flexible, se realizó el estudio en 2.1km longitudinal. La metodología fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño no experimental. El resultado del PCI en sentido norte a sur en sus tramos de 53, 23, 17, 25, 22 y 10 clasificándose como 1 regular, 4 muy pobre y 1 fallido, PCI en sentido sur norte, tienen tramos de 54, 20, 21, 23, 29 y 10 clasificándose como 1 regular, 4 muy pobre y 1 fallido y para los IRI norte sur obtuvo 3.217, 3.584, 2.806, 3.825, 3.386 y 7.529 m/km, para los IRI sur norte obtuvo 3.725, 3.443, 2.968, 3.3894, 4.247 y 7.529 m/km. En conclusión, el PCI es muy pobre y el IRI en promedio es 4m/km y se encuentra un intervalo 2.4 a 15.9m/km.

Moreno et al. (2024) nos da a conocer en su artículo denominado “Análisis del índice de regularidad internacional para la seguridad vial en el paso lateral el Carmen –Manabí”. Su objetivo fue evaluar la superficie del pavimento y cómo influye en la seguridad y servicio, el estudio se realizó en una distancia de 12 km en dos sentidos. La metodología fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Los resultados indicaron una rugosidad entre 1.75m/km - 3.54m/km definiéndose en estado regular moderado, el resultado PSI anduvieron entre 2.45 a 3.48, dando un servicio bueno a regular. En conclusión, es indispensable realizar mantenimiento periódico fundados en estos estudios para mejorar la vida útil y seguridad, mejorando la transitabilidad sostenibilidad eficiente de la vía.

Niño y Torres (2021) en su tesis de pregrado “Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la av. Sáenz Peña, JLO”. El objetivo fue realizar una evaluación superficialmente en la vía flexible, como son su situación actual, su rugosidad, y proponer acciones de mejora. La metodología es de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, diseño no experimental. Sus resultados mostraron que en el tema de situación actual encontraron 8 de 19 fallas según el PCI, que corresponde a mal estado, para la condición del pavimento presentó un PCI con valores entre 79 y 11, resultando un PCI=39.39, para resultado del IRI con un mínimo de 5.2 y un máximo de 5.88 resultando IRI promedio=5.46m/km. En conclusión su porcentaje que obtuvo fue 9.09% muy bueno, 11.36% bueno, 22.73% regular, 29.55 malo, 27.27% muy malo, para mejorar la transitabilidad propone que se debe realizar mantenimientos de parchado profundo, parchado superficial y recapeo.

Chambilla et al. (2021) en su tesis titulado “Evaluación de pavimento flexible mediante método del Rugosímetro de Merlín y el aplicativo IRI-CALC-FREE en la avenida simón bolívar, puno”. Donde su objetivo fueron evaluar el equipo rugosímetro Merlín y el programa de IRI-CALC-FREE, determinando su IRI, donde lo comparará y determina su

efectividad. La metodología es tipo aplicada, diseño no experimental y enfoque cuantitativo, su distancia a 3.2 kilómetros. Donde resultó con el rugosímetro Merlín para el carril 1 IRI=3.28m/km regular, carril 2 IRI=3.51 m/km regular y con el aplicativo IRI-CALC-FREE obtuvo carril 1 IRI=3.85 m/km regular y carril 2 IRI=4.21 malo. Concluyendo que el rugosímetro y el aplicativo tienen una similitud promedio de 83.16%.

Flores et al. (2021) en su tesis “Análisis funcional del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular, utilizando el Rugosímetro de Merlín en la av. Gustavo Pinto, Tacna – 2020”. Su objetivo fue analizar una carretera asfáltica usando el rugosímetro Merlín determinando su rugosidad para mejorar su transitabilidad. Donde su metodología es de tipo aplicada, nivel descriptivo, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Resultando lado derecho IRI=4.38m/km regular, lado izquierdo IRI=5.71m/km malo, donde su ponderación de la vía en general le sale un IRI=5.05m/km clasificado como malo, concluye que la vía se clasifica como pavimento malo y transitabilidad mala.

Hermoza (2024) en su tesis “Evaluación superficial, funcional y estructural del pavimento flexible, mediante PCI, IRI y deflectometría, en la vía Platería–Acora”. Su objetivo fue Analizar el estado de esa carretera para orientar decisiones de conservación y determinar la condición superficial, funcional y estructural del pavimento. La metodología fue un estudio cuantitativo con diseño no experimental, se aplicó el PCI para fallas superficiales el IRI con rugosímetro Merlín para regularidad y deflectometría con viga Benkelman para capacidad estructural. Resultando el PCI clasificado como vía como grave (≈ 10.44), el IRI característico fue 8.36 m/km (carril derecho) y 9.19 m/km (carril izquierdo), por encima del límite de 4 m/km para carretera de primera clase, la deflexión característica alcanzó 78.81×10^{-2} mm y 92.16×10^{-2} mm, superando la admisible de 55×10^{-2} mm. Se concluye que el pavimento presenta servicio deficiente y requiere mantenimiento rutinario

limpieza de calzada y bermas, nivelación con material granular y periódico recapeo, fresado y reciclado asfáltico.

Huanca (2023) su tesis “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de pavimento flexible en la Avenida las Malvinas mediante el análisis funcional aplicando el Rugosímetro de Merlín – Abancay, 2023”. Donde su objetivo fue determinar el PSI mediante el IRI este obtenido del rugosímetro Merlín, para poder categorizar y mejorar su transitabilidad. La metodología tipo aplicada, enfoque descriptivo, diseño fue no experimental y transversal, en una longitud de 470 metros. Resultando que la vía tiene un IRI=4.52m/km, y su PSI=1.55 clasificándose como transitabilidad deficiente. Concluye que la vía superó el valor admisible de 2.5m/km, y que su IRI, afecta la transitabilidad de la carretera y por consecuente no está en condiciones óptimas de circulación.

Ocsa (2021) en su tesis de pregrado “Evaluación superficial del pavimento flexible bicapa aplicando el método PCI, Distrito Chuquibambilla, Abra Lliullita km 68+600-73+600, Apurímac-2020”. El objetivo fue analizar la vía asfáltica Chuquibambilla Abancay utilizando el método de PCI. En este caso la metodología se realizó bajo el enfoque cuantitativo, investigación tipo aplicada y diseño no experimental, sus resultados fueron en base a 16 muestras. Donde resultaron tipos de fallas un 4.52% grieta longitudinal-transversal, 5.32% falla pulimiento de agregado, 5.60% bacheo, 7.95% por hinchamiento, 9.65% ahuellamiento, 15.34% falla por corrugación, 16.75% resto de fallas, 17.40% fallas de depresión, 17.47% piel de cocodrilo, para evaluación de estado y severidad se obtuvo 6.25% estado excelente con un (PCI entre 100-85), 6.25% estado muy bueno con un (PCI entre 70-55), 43.75% estado regular (PCI entre 55-40), 18.75 % estado malo (PCI entre 40-25), 12.50% estado muy malo (PCI entre 25-10). En conclusión, la vía registró un PCI= 49.10, clasificado en categoría de pavimento regular, por lo que recomienda aplicar trabajos de mantenimiento rutinario.

González et al. (2022) en su tesis pregrado “Correlación del IRI - PSI - PCI del pavimento flexible de la av. José María Arguedas del distrito de San Jerónimo - Andahuaylas 2022”. El objetivo que tubo es obtener el PSI, IRI y PCI, y su relación identificando fallas superficiales afectando el comportamiento de un pavimento flexible. Mediante la metodología de tipo aplicativo descriptivo, enfoque sistemático y metódico, la muestra se realiza en un tramo de 3km y ancho 7.20m. Resultando su correlación Pearson=0.692 como está cerca de 1 indica correlación positiva considerable y el siguiente resultado inferior a 0.05, lo cual indica que tiene correlación entre el PCI y IRI, el PCI derecho 57.1% pésimo, 28.6% regular, 14.3% mala, y sentido derecho 78.6% pésimo, 14.3% mala, 7.1% regular. Los IRI obtenido sentido derecho 3.63m/km, izquierdo 3.41m/km el PSI resultado 2.64. En conclusión, el investigador determinó que en nivel de servicio de la carretera Av. José María Arguedas es no satisfactorio con 87.32% velocidad promedio 20.4km/h.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Serviciabilidad

La serviciabilidad es el nivel de servicio que un pavimento brinda al usuario en un momento dado; en términos prácticos expresa la capacidad del pavimento para servir al tránsito, se percibe sobre todo a través de la calidad de rodadura qué tan suave o incómodo se siente circular además de la presencia de deterioros que relaciona con variables medibles de condición/irregularidad. (ODOT, 2022; FHWA, 2022). También llamado PSI, es la condición del pavimento donde brinda un servicio seguro, confortable, varía según el tiempo de uso de estar en un estado de muy buena a poder llegar un estado crítico de muy mala, cuya escala es de 5 a 1 (AASHTO, 1993).

Tabla 2*Calificación del PSI*

Índice de serviciabilidad (PSI)	Condición vial
De 4 a 5	Muy buena
De 3 a 4	Buena
De 2 a 3	Regular
De 1 a 2	Mala
De 0 a 1	Muy mala

Nota. Muestra sus correspondientes calificaciones del PSI, el cual solo están en un valor de 1 a 5 y calificándole de muy mala a muy buena, adaptado de AASHTO (1993).

Cálculo de PSI. Se determina mediante la ecuación por Sayers.

EC- 1 *Sayers*

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}} \quad (1)$$

Tabla 3*Índice de serviciabilidad final según NTPU CE.010*

Valor Pt	Clasificación de carretera
Pt=3.00	Vías expresas
Pt =2.50	Vías Arteriales
Pt =2.25	Vías Colectoras
Pt =2.00	Vías Locales y estacionamientos

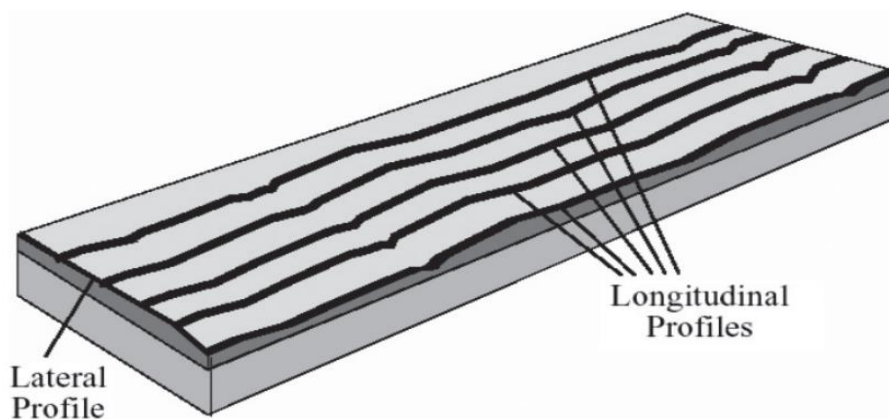
Nota. Se establece parámetros de serviciabilidad final antes de entregar las obras viales deben tener estos parámetros, Adaptado de NTPU CE.010 (2010).

3.2.1.1. Rugosidad. En pavimentos, la rugosidad se entiende como la desviación de la superficie respecto a un plano ideal, en magnitudes que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de viaje, para cuantificarla de forma estandarizada a nivel vial, se usa el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), que es un estadístico calculado a partir del perfil longitudinal medido en la huella de rueda (FHWA, 2022). La rugosidad en pavimentación representa las variaciones longitudinales acumulativas de la superficie del pavimento que

influyen directamente en la calidad del viaje, la eficiencia vehicular y las interacciones dinámicas entre el vehículo y la infraestructura. Se mide mediante métricas mecánicas y digitales avanzadas que utilizan perfiles de elevación, según World Road Association, (2023) la rugosidad constituye una propiedad geométrica fundamental de la superficie del pavimento que cuantifica las desviaciones de un plano de referencia ideal, siendo actualmente medida mediante tecnologías no invasivo bajo condiciones operacionales reales. Esta medición sirve como indicador primario tanto del deterioro estructural como funcional del pavimento.

Figura 1

Rugosidad en pavimentos



Nota. La superficie tiene diferentes rugosidades del perfil lateral y perfiles longitudinales del pavimento, donde se evalúa la regularidad superficial y el cálculo del IRI, adaptado de Pradena (2006).

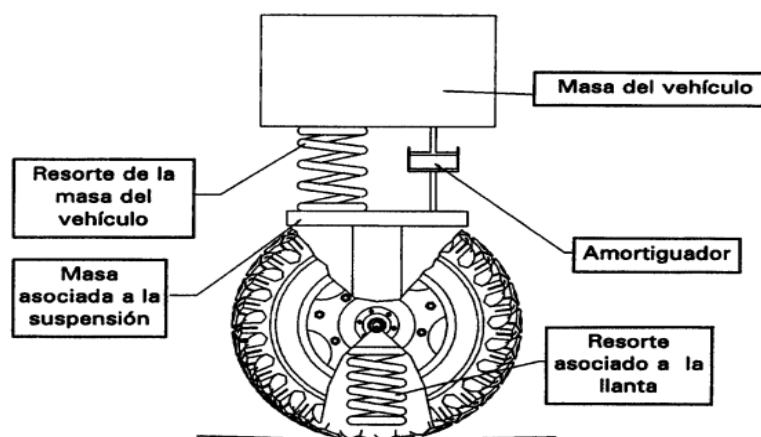
3.2.1.1.1. Valor IRI. El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es un indicador numérico que estima la rugosidad de una vía a partir del perfil longitudinal medido en la huella de rodadura. Se calcula aplicando una simulación cuarta de vehículo al perfil, y se reporta usualmente en m/km o unidades equivalentes, donde valores bajos indican una superficie más pareja y valores altos una superficie más irregular. (FHWA, 2022; Sayers et al., 1986). El IRI cuantifica las irregularidades del perfil longitudinal de una vía y su efecto

en la respuesta dinámica del vehículo. Fue introducido por el Banco Mundial en 1986 como referencia de calidad superficial. El cálculo se basa en la acumulación del movimiento vertical de una masa suspendida respecto de la masa no suspendida de un vehículo de ensayo, a una velocidad estándar de 80 km/h, y se normaliza por la distancia recorrida. Se expresa usualmente en m/km (equivalente a mm/m). La escala de IRI para pavimentos va de 0 a 12 m/km: valores próximos a 0 describen superficies muy uniformes, mientras que hacia 12 m/km corresponden a condiciones prácticamente intransitables. En la práctica, la FHWA en Estados Unidos reporta rangos típicos entre 0,8 y 4,7 m/km; de forma orientativa, $IRI < 2,4$ m/km suele considerarse bueno/confortable y $IRI > 4,7$ m/km como rugoso o no confortable. En Chile, valores entre 0 y 3 m/km se clasifican habitualmente como buen estado. (Arriaga et al., 1998).

Según el manual de carreteras las vías peruanas no deberán superar los 5m/km. Para carreteras afirmadas.

Figura 2

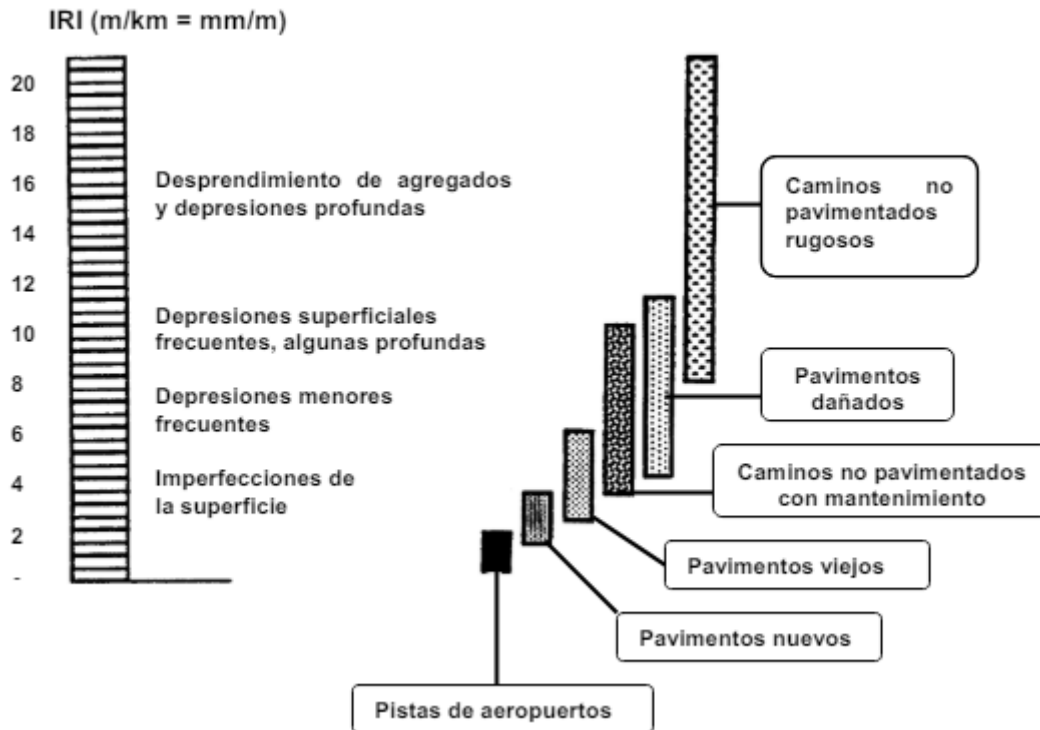
Simulación del IRI en una cuarta parte del vehículo



Nota. Esquema del modelo dinámico de “cuarto de vehículo” (masa suspendida y no suspendida, resortes y amortiguador) usado para simular la respuesta del vehículo sobre el perfil longitudinal y estimar el IRI, adaptado de Arriaga et al. (1998).

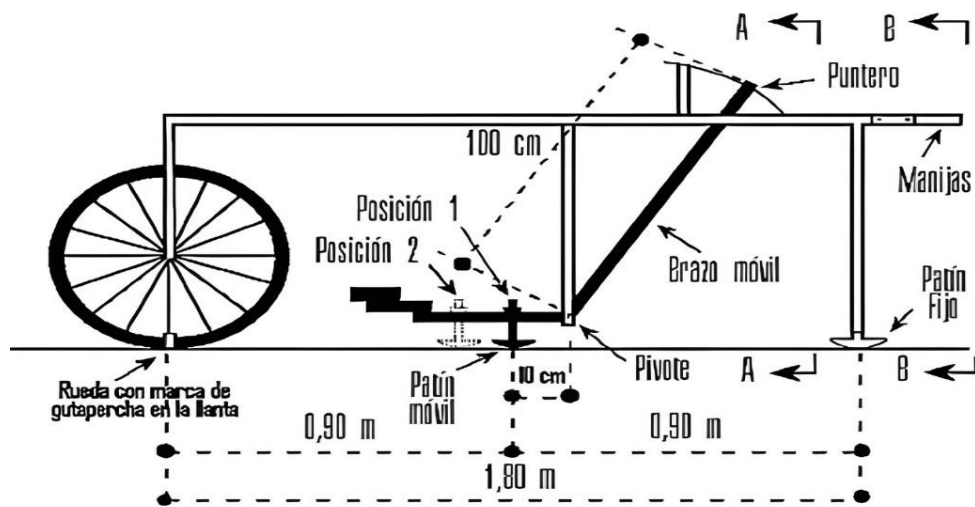
Figura 3

Rangos del índice IRI y calificación del estado de pavimentos



Nota. Los rangos de IRI 0 a 20, se relacionan con diferentes tipos de carreteras en nuestro interés tenemos pavimentos viejos están entre 2.2m/km a 6m/km. Pavimentos dañados están considerados 4m/km a 11 m/km, adaptado de Arriaga et al. (1998).

Rugosímetro Merlín es un Instrumento liviano en forma de bicicleta que está conformado por una rueda donde fue diseñado en Gran Bretaña, pertenece a la clase I. de alta precisión. Donde su recolección de datos es continua, con velocidad promedio de 2km/h, en el ensayo se tiene que tomar 200 muestras para culminar el ensayo, cada muestra será tomada por el giro completo de la rueda en lo cual se deja una marca en la rueda (Del Águila Rodríguez, 1999).

Figura 4*Partes del rugosímetro Merlin*

Nota. Las partes y medidas del rugosímetro Merlin como llanta tipo bicicleta, estructura metálica. Adaptado de Merlin, una máquina de bajo coste para medir la rugosidad de las carreteras en países en desarrollo, adaptado de Cundill (1991).

Figura 5*Rugosímetro Merlin*

Nota. Usado en la tesis el instrumento, este cuenta con documento de calibración, marca JMR. Equipos.

Tabla 4*Escala de dispersión del rugosímetro Merlín en el puntero*

RUGOSÍMETRO MERLÍN	
	50
	49
Cada división equivale a 5	48
milímetros	47
	46
	45
	44
	43
	42
	41
	40
	39
	38
	37
	36
	35
	34
	33
	32
	31
	30
	29
	28
	27
	26
	25
	24
	23
	22
	21
	20
	19
	18
	17
	16
	15
	14
	13
	12
	11
	10
	9
	8
	7
	6
	5
	4
	3
	2
	1

Nota. Formato del registro ubicado en la parte superior del rugosímetro Merlín donde en ahí es que marca el puntero del rugosímetro, el marcado esta entre 25 y 26 indica que el equipo esta nivelados en sus 3 apoyos, si el puntero esta sobre 26 a 50 la vía indicará depresión y si es menor a 25 este indicará que habrá elevación en la vía de estudio, ficha de lectura de

rugosímetro Merlín. Adaptado de Merlín, una máquina de bajo coste para medir la rugosidad de las carreteras en países en desarrollo, adaptado de Cundill (1991).

3.2.2. Estado de conservación

Es un indicador cuantitativo de la condición del pavimento que varía de 0 (fallado) a 100 (excelente), basándose en la severidad y extensión de defectos (CCPIC, 2021). El estado de conservación de un pavimento asfáltico es la condición en la que se encuentra la calzada en un momento determinado, definida a partir de medidas objetivas de desempeño funcional de deterioro o superficie estructural como porcentaje de agrietamiento visible y ahuellamiento, con esas medidas el tramo se clasifica en rangos de condición equivalentes a bueno, regular o malo para decidir el tipo de intervención de mantenimiento, preservación, rehabilitación o reconstrucción (FHWA, 2017).

Tabla 5

Reparaciones sugeridas en función del PCI

Rango de PCI	Categoría de acción
100–85	Mantenimiento preventivo o mínimo
85–60	Mantenimiento preventivo rutinario y/o periódico
60–40	Mantenimiento correctivo
40–25	Rehabilitación – refuerzo estructural
< 25	Rehabilitación – reconstrucción

Nota. Recomendación las posibles reparaciones adaptada de una propuesta operativa usada en Perú, Adaptado de Sotil (2012).

3.2.2.1. Daño superficial. En pavimentos, el daño superficial también llamado deterioro es cualquier manifestación no deseada de defectos visibles en la superficie, como fisuras, baches, roderas o pérdida de la textura, que puede reducir la comodidad, seguridad y desempeño funcional de la vía. Estos daños suelen originarse por la acción del tránsito, factores ambientales como temperatura, agua, oxidación y/o deficiencias constructivas (ASTM D6433-07, 2007). El daño superficial o deterioro superficial en un pavimento flexible es el conjunto de manifestaciones visibles en la capa asfáltica de rodadura que

evidencian pérdida de desempeño y que se pueden identificar y medir en inspecciones de condición. En manuales técnicos se organiza, típicamente, en fisuración, parcheo y baches, deformaciones superficiales y defectos de la superficie por ejemplo, exudación, pulimento de agregados o desgranamiento, porque son señales observables directamente sobre la superficie del pavimento (FHWA, 2014; GDOT, 2025).

Figura 6

Daños superficial de pavimentos



Nota. Podemos observar diferentes tipos de patologías superficiales del pavimento asfáltico como huecos, parches, corrugaciones, ahuellamientos, grietas longitudinales, hundimientos, corrugaciones y pulimientos.

3.2.2.1.1. Valor PCI. El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es una herramienta de uso extendido para diagnosticar el estado de pavimentos flexibles y rígidos. Se sustenta

en inspecciones visuales del tipo de deterioro, su severidad y su extensión. Con esas observaciones se asignan calificaciones/penalizaciones que integran el efecto conjunto de las fallas y producen una valoración global del pavimento en escala 0–100, donde 0 representa colapso o falla y 100 una condición óptima (Vásquez, 2002). El valor PCI es un indicador numérico que califica la condición superficial de un pavimento en función de los deterioros observados durante una inspección visual tipo de daño, severidad y extensión. El PCI resume el estado actual de la superficie y sirve como base objetiva para priorizar mantenimiento y reparación; además se interpreta como una medida indirecta de la integridad estructural, de la condición operacional de la superficie usualmente se expresa en una escala de 0 a 100, donde 100 representa un pavimento recién construido en excelente estado y valores menores indican condición más deteriorada. (ASTM, 2024; Metropolitan Transportation Commission [MTC], 2024).

Tabla 6

Rango de calificación del PCI

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

Nota. Se muestra los valores 0 a 100 clasificando cada rango de valor desde fallado a excelente respectivamente, adaptado de Vásquez (2002).

Figura 7

Rangos por color del PCI



Nota. Se muestra el rango de 0 a 100 clasificando cada rango por color desde fallado a excelente respectivamente. Adaptado de Análisis del nivel de daños en la carretera de peaje, adaptado de Kresno et al. (2024).

Procedimiento de evaluación PCI.

Primeramente, se realiza la identificación de daños en campo, clasificando según el tamaño, la clase y severidad, donde serán registrados en los formatos adecuado.

Tabla 7

Ficha de recolección de datos del PCI. falla y severidad

HOJA DE DATOS DEL ESTUDIO DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS Y ESTACIONAMIENTOS DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CADA UNIDAD DE MUESTRA					
VÍA: PE-3S (ABANCAY-CUSCO), Km (776+00-777+00)	SECCIÓN N:	776+00-776+30 derecho	UNIDAD DE MUESTRA:	1	30 m
EVALUADOR: Grover Rainer Navio Arando	FECHA:	20/11/2024	ÁREA DE MUESTRA:	112	3.73 m
1. Grieta piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo y acometidas de Servicios	16. Desplazamiento		
2. Exudación	7. Grietas de borde	12. Pulimientos y Agregados	17. Grietas Parabólicas o por Deslizamiento		
3. Agrietamiento en bloque	8. Grietas de flexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento		
4. Abultamientos y Hundimientos	9. Desnivel Carril/Berma	14. Cruce de vía férrea	19. Meteorización / Desprendimiento de agregado		
5. Corrugación	10. Grietas Longitudinal/Transversal	15. Ahuellamiento			
Daño Severidad	CANTIDAD		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
5M	9.6		9.6	8.57	37.59
11H	1.21	5.1	6.31	5.63	40.1
11M	1.94	3	1.94	1.73	13.19
12	24		24	21.43	6.76
15M	4.16	5.3	9.46	8.45	42.18
17L	1.03		1.03	0.92	3.82
19M	5.3		5.3	4.73	13.11

Nota. Se muestra instrumento de recolección de datos se ingresa datos del evaluador, fecha y de la sección de la vía. letra L, M, H son la severidad, unidades de medidas, suma total, los porcentajes de densidades y finalmente sus valores deducidos con los cuadros para interpolar clase de falla y como se encuentra de severidad, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

Cantidad de unidades de muestreo.

Se identifica las áreas o tramos a estudiar, dividiendo en secciones para vías con carpeta asfáltica y ancho inferior a 7,30m. La unidad de muestreo debe abarcar aprox. 230m², con tolerancia de $\pm 93\text{m}^2$ (Vásquez, 2002).

Tabla 8

Recomendación de distribución de muestra y sus medidas correspondientes

Para unidades de muestra, distancia recomendada (m)	Recomienda un ancho (m)
46	5
41.8	5.5
38.3	6
35.4	6.5
31.5	7.3 (máximo)

Nota. Se muestra algunas recomendaciones que, para anchos de calzadas, les corresponde una longitud de medida recomendada por el autor, adaptado de Vásquez (2002).

Determinación del tamaño e intervalo de muestreo.

Según norma ASTM D6433-07 (2007) el tamaño mínimo de la muestra se obtiene aplicando la Ecuación 2, mientras que el intervalo de muestreo se calcula con la Ecuación 3. Para los valores desviación estándar y error será de $s=10$ y $e=5$ respectivamente, para pavimento flexible, según inciso (7.5.2).

EC- 2 *Cantidad mínima de unidades a evaluar en el muestreo*

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

Donde:

N= muestras totales del estudio

s=Valor dado igual a 10

e=Error para aceptación de ± 5

EC- 3 *Intervalo de muestreo*

$$i = \frac{N}{n} \quad (3)$$

Donde:

n= Cantidad mínima de unidad de muestreo que se debe analizar

N= Total de muestras consideradas

Recopilación de datos en campo. Tenemos la distancia total de vía a estudiar, área de tramo, cantidad total de muestras y el rango de muestreo a considerar, procedemos a recopilar los 19 tipos de fallas y su estado en la hoja de registro.

Cálculo de los PCI. Determinación de la densidad.

EC- 4 *Formula porcentual de densidades*

$$\text{Densidad (\%)} = \frac{\text{Cantidades totales parciales de falla}}{\text{Sumatoria de area muestral}} \times 100 \quad (4)$$

Valores deducidos. Se determina mediante los ábacos brindados, de ello solo determinamos cantidades mayores a 2 como su máximo.

Obtención del valor deducido en función del mayor número admitido. Se determina mediante.

EC- 5 *Intervalo de muestreo*

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} x(100 - HDV_i) \quad (5)$$

Donde:

m_i = *Cantidades de Valores deducidos*

HDV_i = Mayor valor deducido individual

EC- 6 *Cálculo de PCI.*

$$PCI = 100 - (\text{máx VDC}) \quad (6)$$

Donde:

máx VDC= corrección del Máximo valor deducido

3.2.3. *Superficie del pavimento flexible*

La superficie del pavimento flexible también llamada capa superficial o capa de rodadura es la capa colocada encima de la capa base, y por lo general es la superficie de rodamiento por donde circulan los vehículos, salvo cuando se incorpora una capa drenante como parte del sistema superior. (GDOT, 2025). Es la superficie asfáltica que está en contacto al neumático de los vehículos. Está diseñada para distribuir las cargas vehiculares mediante deformación elástica, sin fracturarse inmediatamente, permitiendo una respuesta adecuada al paso de vehículos, para medirla se requiere verificación de planos estructurales: identifica el tipo de mezcla y espesor de asfalto, registros de defectos visuales en una ficha técnica. instrumentos: calicata manual, regla metálica y fichas técnicas estandarizadas (TXDOT, s. f.). En un pavimento flexible, la superficie (también llamada capa o carpeta de rodadura) es la capa superior, usualmente bituminosa, por donde circulan los vehículos y que recibe directamente el tránsito; su función principal es servir como zona de rodamiento y transmitir las solicitaciones hacia las capas inferiores de la estructura del pavimento (MEF, 2015).

Figura 8*Superficie del pavimento flexible*

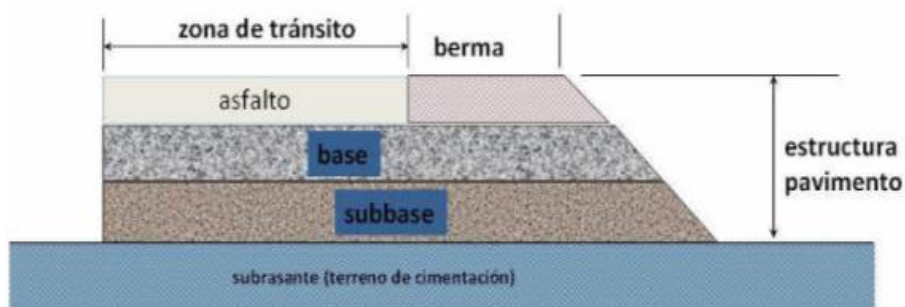
Nota. Se muestra la superficie del pavimento asfáltico que cuenta con 2 carriles, cuneta y barandilla metálica de seguridad.

Funciones principales del pavimento flexible:

- **Estructural.** La capa debe ser construida para que sea resistente ante los fenómenos de deformación acumulada, fatiga, inducido por los vehículos (Montejo, 2002).
- **Funcional.** La capa debe brindar una seguridad y comodidad, en su tiempo de operación óptima (Montejo, 2002).
- **Impermeabilidad.** Actúa como barrera evitando que el agua penetre de forma directa, lo que reduce el riesgo de que la humedad alcance y deteriore todos los niveles del soporte del asfalto (Montejo, 2002).
- **La conformación del pavimento flexible.** Según el AASHTO (2023) la conformación del pavimento asfáltico es un proceso integrado de diseño, selección de materiales y construcción estratificada que utiliza tecnologías y criterios de sostenibilidad para crear sistemas de pavimentación que optimizan la vida útil, el desempeño estructural y la resiliencia climática, minimizando simultáneamente la huella ambiental durante todo su ciclo de vida.

Figura 9

Conformación de niveles de soporte estructural para asfaltos



Nota. La estructura cuenta con 4 niveles donde muestra la distribución típica de un pavimento flexible con asfalto, que trabajan en conjunto para distribuir las cargas del tránsito hacia el terreno de fundación, adaptado de Becerra (2012).

Fallas superficiales del pavimento flexible: Para validar el PCI este método nos da ejemplos de las 19 fallas en tres escalas baja severidad, media severidad y alta severidad, a continuación, tenemos las siguientes muestras de fallas (Vásquez, 2002).

Tabla 9

Resumen de fallas de PCI y sus unidades de medida

Falla N°	Nombre	Unidad
1	Grieta piel de cocodrilo	m ²
2	Exudación de asfalto	m ²
3	Agrietamiento en bloque	m ²
4	Abultamiento y hundimiento	m
5	Corrugaciones	m ²
6	Depresiones	m ²
7	Grietas de borde	m
8	Grietas de reflexión de juntas	m
9	Desnivel calzada-hombrillo	m
10	Grietas longitudinales y transversales	y m
11	Parqueo y acometidas de servicio	de m ²
12	Pulimientos y agregados	m ²
13	Huecos	N°
14	Cruce de vía férrea	m ²
15	Ahuellamiento	m ²
16	Desplazamiento	m ²
17	Grietas parabólicas o por deslizamiento	m ²
18	Hinchamiento	m ²
19	Meteorización/desprendimiento de agregados	m ²

Nota. Muestra las unidades de medida de cada falla típica considerada en la evaluación PCI del pavimento flexible y la unidad usada para cuantificar su extensión durante la inspección visual, área en m², longitud en m o número de eventos, adaptado de Corredor y Corros (2010).

3.2.3.1. Cobertura del pavimento. La cobertura del pavimento se entiende como la magnitud o extensión del área de superficie que está afectada por un deterioro dentro de una unidad de muestreo. En la práctica se cuantifica como área afectada o como porcentaje de cobertura también llamado densidad del deterioro, calculado dividiendo la cantidad total del daño según corresponda: área/longitud/número entre el área total de la unidad de muestra y multiplicando por 100, esto permite comparar objetivamente cuánto cubre el daño sobre el pavimento evaluado (American society for testing and materials, [ASTM D6433-07], 2007). La cobertura del pavimento (también llamada capa superficial o capa de rodadura) es la parte superior de la estructura del pavimento, formada por una o más capas diseñadas para recibir directamente las cargas del tránsito y la acción del clima. En términos funcionales, esta cobertura debe resistir el desgaste por abrasión, mantener la fricción (evitar deslizamientos), aportar seguridad y comodidad de rodadura, y ayudar a proteger las capas inferiores frente al deterioro y la infiltración superficial (Zinke et al., 2020).

3.2.3.1.1. Área agrietada. El área agrietada es la porción de la superficie del pavimento que presenta fisuras grietas como agrietamiento en bloques u otro tipo de falla, y se cuantifica como área afectada m², diferenciando el nivel de severidad cuando corresponde. En levantamientos, se registra el área afectada por severidad para poder resumir el deterioro y compararlo entre tramos (Miller y Bellinger, 2014). El área agrietada es la porción de la superficie de un pavimento asfáltico que presenta grietas visibles; por eso se cuantifica como el porcentaje del área total de la sección de pavimento que exhibe, en términos prácticos este indicador resume cuánta superficie está fisurada y se usa para clasificar condición y apoyar decisiones de mantenimiento o rehabilitación (FHWA, 2018).

3.2.3.1.2. Profundidad. La profundidad es una medida vertical del deterioro respecto a la superficie de rodadura. Por ejemplo, en baches, la profundidad se entiende como la máxima distancia desde la superficie del pavimento hasta el punto más bajo del bache esa medida en mm, en ahuellamiento, la medición se expresa como profundidad máxima de rodadura y se registra en milímetros con métodos de medición definidos regla o perfil transversal según el tipo de sección (Miller y Bellinger, 2014). La profundidad de una falla superficial en un pavimento flexible es la medida vertical normalmente en mm que expresa qué tan hundido o excavado está un deterioro respecto a una superficie de referencia o apoyada sobre los bordes, este parámetro se usa sobre todo en fallas donde la profundidad define la severidad como baches se toma como la máxima profundidad por debajo de la superficie del pavimento y ahuellamiento se mide como la máxima distancia entre una regla colocada sobre la huella y la superficie deprimida, registrándola en milímetros (FHWA, 2014; Simpson, 2001; Manitoba Transportation and Infrastructure [MTI], 2024).

Tabla 10

Niveles de severidad en función del área para baches

Altura de profundidad en milímetro y pulgada (bache)	Diámetro promedio (mm)(pulgada)		
	100 - 200 mm (4" - 8")	200 mm a 450 mm (8" - 18")	450 - 750 mm (18" - 30")
De 13mm a menor igual 25mm \approx (1/2" - 1")	L	L	M
Mayor 25mm a menor igual 50mm \approx (1" - 2")	L	M	H
Mayores de 50mm \approx (2")	M	M	H

Nota. Se tiene la clasificación de severidades respecto a baches donde varía en función del diámetro y la profundidad, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

3.2.3.1.3. Severidad. La severidad describe qué tan avanzado o intenso está un deterioro. En PCI, se usa como una calificación cualitativa baja, media y alta basada en criterios observables o medibles. En el manual del índice del pavimento, la severidad de ciertos agrietamientos se establece con umbrales de ancho de grieta y condiciones asociadas, en baches la severidad se define por rangos de profundidad (Miller y Bellinger, 2014). La

severidad de fallas superficiales en pavimentos flexibles es la clasificación del grado de intensidad con que se presenta un deterioro visible en la carpeta asfáltica, en los levantamientos de condición esa severidad se asigna normalmente en tres niveles baja, moderada y alta usando criterios medibles específicos para cada tipo de falla por ejemplo ancho de grieta, profundidad de ahuellamiento, pérdida de material, desgranamiento, etc.; luego la severidad se registra junto con la extensión-cantidad del daño por nivel para estandarizar la evaluación y sustentar decisiones de conservación (FHWA, 2014).

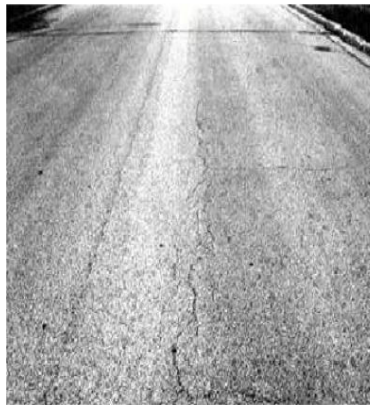
Severidad baja (L): Las vibraciones del vehículo son perceptibles se manifiesta en corrugaciones y otros, pero no obligan a disminuir la velocidad por motivos de comodidad o seguridad; los abultamientos o hundimientos aislados generan un pequeño rebote del vehículo, con escasa incomodidad (Vásquez, 2002).

Severidad media (M): Las vibraciones alcanzan un nivel notorio, por lo que conviene reducir la velocidad para preservar la comodidad y la seguridad; los abultamientos u ondulaciones producen un rebote marcado, generando malestar (Vásquez, 2002).

Severidad alta (H): El nivel de oscilación es extremo, por lo que se requiere una fuerte reducción de la velocidad; irregularidades puntuales (levantamientos o depresiones) causan un rebote violento del vehículo, con notable molestia y probabilidad elevada de accidente o de afectación grave a las unidades móviles (Vásquez, 2002).

Figura 10

Fallas superficiales para validar el PCI



Piel de Cocodrilo – Baja Severidad



Piel de Cocodrilo Mediana Severidad



Piel de Cocodrilo – Alta Severidad



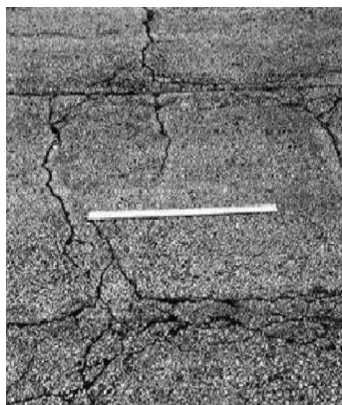
Exudación – Baja Severidad



Exudación – Media Severidad



Exudación – Alta Severidad



Fisuras en Bloque – Baja Severidad



Fisuras en Bloque – Media Severidad



Fisuras en Bloque – Alta Severidad

Nota. Ejemplos de tipo y severidad de las fallas para poder realizar la recolección de datos, en este caso las imágenes son específicamente para vías asfálticas, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

Figura 11

Fallas superficiales para validar el PCI



Abultamientos y Hundimientos –
Baja Severidad



Abultamientos y Hundimientos –
Media Severidad



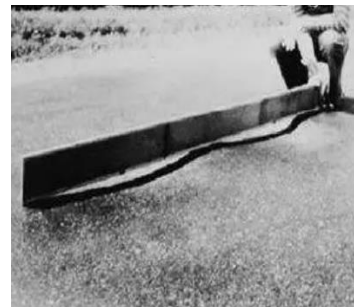
Abultamientos y Hundimientos –
Alta Severidad



Corrugación – Baja Severidad



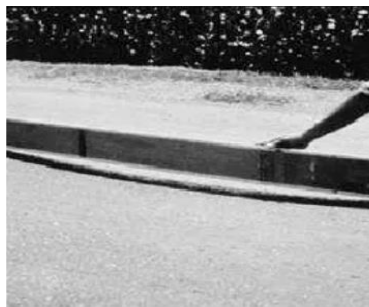
Corrugación – Media Severidad



Corrugación – Alta Severidad



Depresión – Baja Severidad



Depresión – Media Severidad



Depresión – Alta Severidad



Fisura de Borde – Baja Severidad



Fisura de Borde – Media Severidad



Fisura de Borde – Alta Severidad

Nota. Ejemplos de tipo y severidad de las fallas para poder realizar la recolección de datos, en este caso las imágenes son específicamente para vías asfálticas, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

Figura 12

Fallas superficiales para validar el PCI



Fisura de Reflexión de Junta – Baja Severidad



Fisura de Reflexión de Junta – Media Severidad



Fisura de Reflexión de Junta – Alta Severidad



Desnivel Sentido-Berma – Baja Severidad



Desnivel Sentido-Berma – Media Severidad



Desnivel Sentido-Berma – Alta Severidad



Fisura Longitudinal y Transversal – Baja Severidad



Fisura Longitudinal y Transversal – Media Severidad



Fisura Longitudinal y Transversal – Alta Severidad



Parches y Parches de Cortes Utilitarios – Baja Severidad



Parches y Parches de Cortes Utilitarios – Mediana Severidad

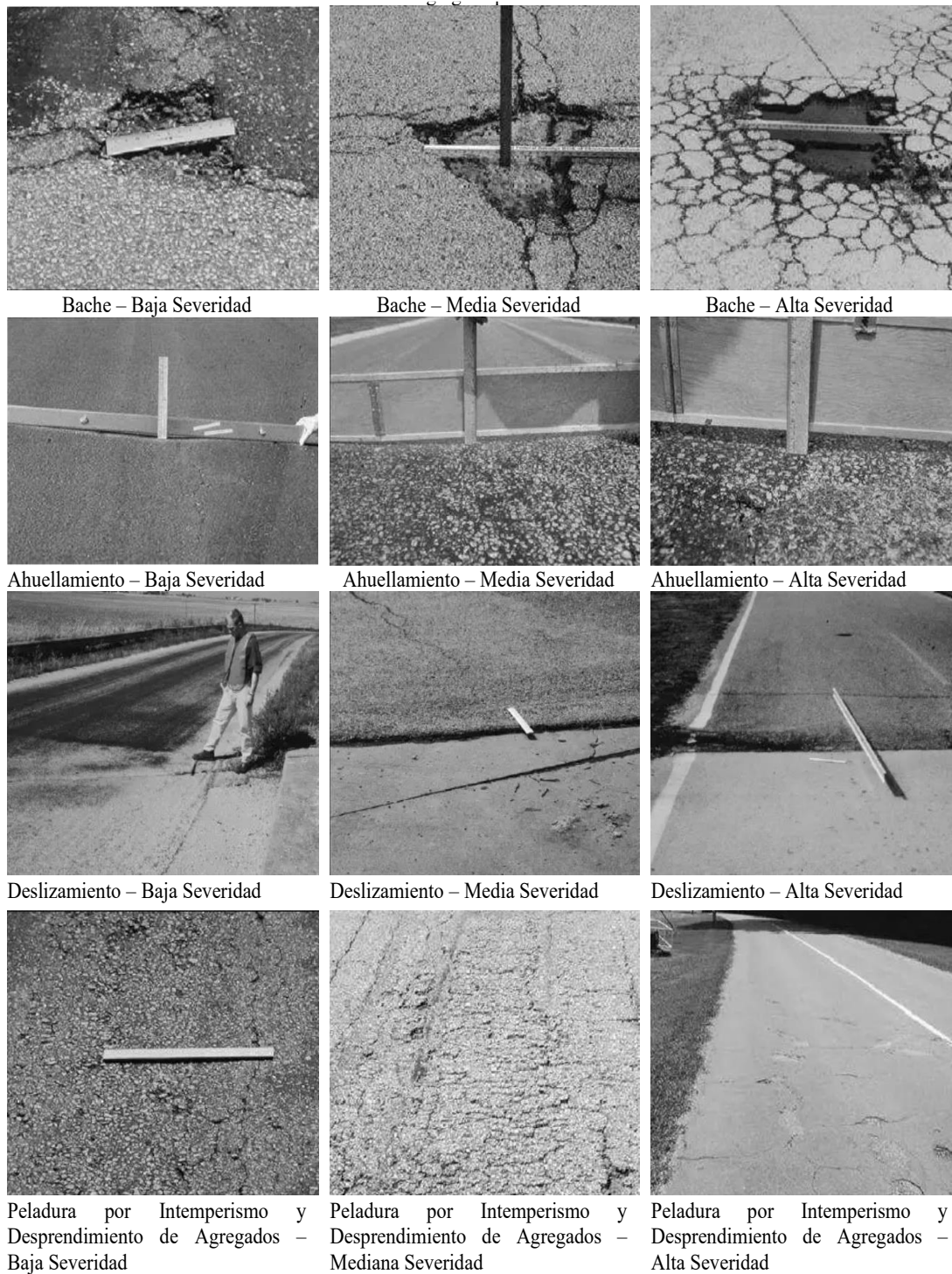


Parches y Parches de Cortes Utilitarios – Alta Severidad

Nota Ejemplos de tipo y severidad de las fallas para poder realizar la recolección de datos, en este caso las imágenes son específicamente para vías asfálticas, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

Figura 13

Fallas superficiales para validar el PCI



Nota. Ejemplares para guiarse de tipo y severidad real en campo de fallas para poder realizar la recolección, en este caso las imágenes son específicamente para vías asfálticas, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

3.3. Definición de términos

Pavimento: Se compone de cuatro estratos: subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura. Es una estructura vial multicapa, formada por capas superpuestas casi horizontales de materiales seleccionados. Su propósito es resistir las sollicitaciones del tránsito y las acciones ambientales y al mismo tiempo, proporcionar una circulación cómoda, segura y confiable para vehículos durante el período de servicio previsto (Rondón y Reyes, 2015).

Pavimento flexible: Este tipo de pavimentos se constituye por una carpeta bituminosa que habitualmente se apoya sobre dos capas: base y subbase. Sin embargo, alguna de estas capas puede omitirse cuando las exigencias específicas del proyecto así lo permiten (Montejo, 2002).

Índice de serviciabilidad final (Pt): Es el valor que define si el pavimento amerita intervención. Representa la condición superficial que ya no satisface los niveles de comodidad esperados por el usuario y coincide con el umbral más bajo previo a la rehabilitación o reconstrucción del pavimento (Norma técnica de pavimentos urbanos componentes estructurales [NTPU CE.010], 2010).

Índice inicial de serviciabilidad (Po): Es el PSI en la condición inicial de entrega de un pavimento, estado nuevo en carreteras asfálticas el $Po = 4.2$ (AASHTO, 1993).

Tramo: Un tramo es un segmento de una ruta o carretera, caracterizado por mantener constantes ciertos atributos como tipo de superficie, cantidad de carriles, condiciones de tránsito y tipo de vía administrativa. Su delimitación es fundamental para procesos de planificación, gestión y evaluación de infraestructura vial (Sigmavial, s. f.).

Densidad de fallas superficiales en carreteras: La densidad es la proporción porcentual con la que un deterioro se manifiesta en el segmento: $\text{área del daño} / \text{área total}$ o $\text{longitud del daño} / \text{longitud total del tramo inspeccionado}$ (ASTM D6433-07, 2007).

Mantenimiento de pavimentos: Son actividades que tienen por finalidad conservar la infraestructura vial garantizando la circulación del tránsito (NTPU CE.010, 2010).

Mantenimiento Rutinario: Comprende labores que se ejecutan de forma constante como limpieza de cunetas, drenes, alcantarillas, corte de gras, señalización (NTPU CE.010, 2010).

Mantenimiento recurrente: Actividades que se trabajan periódicamente definidas durante 1 año, donde se realiza reparación baches, reparación de bordes y sellado de fisuras (NTPU CE.010, 2010).

Mantenimiento periódico: Se realiza en cada cierto año donde se realizan trabajos de sellado de superficie, reparación de berma y señalizaciones verticales o horizontales (NTPU CE.010, 2010).

Mantenimiento urgente: Consiste en la atención de emergencias y problemas que requiera atención inmediata (NTPU CE.010, 2010).

Red vial departamental o regional: Conjunto de carreteras que se ubican dentro del ámbito de un Gobierno Regional; su función principal es conectar la red nacional con la red vecinal o rural, actuando como un nivel intermedio de articulación territorial (MTC, 2018).

Red vial nacional: Carreteras de interés nacional estructuradas por los ejes viales principales longitudinales y transversales; constituyen la base del SINAC y reciben la conexión de las redes departamental/regional y vecinal rural (MTC, 2018).

Red vial vecinal o rural: Red de vías de alcance local orientada a integrar capitales de provincia con capitales de distrito, así como distritos entre sí y con centros poblados o zonas de influencia local, manteniendo enlace con la red nacional y la departamental regional (MTC, 2018).

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La investigación aplicada se orienta a usar el conocimiento para resolver un problema real de forma inmediata, por lo que su propósito central no es solo explicar o teorizar, sino aplicar lo hallado para mejorar una situación concreta en el contexto estudiado (Ruiz y Valenzuela, 2022). La investigación aplicada usa conocimientos existentes para resolver un problema práctico e inmediato, se vincula estrechamente con la investigación básica porque aprovecha sus hallazgos y teorías, pero su centro es intervenir para modificar una situación o comportamiento y obtener resultados concretos en el corto plazo (Silvestre y Huamán, 2019).

Para esta tesis se empleó la investigación aplicada, dado que se utilizó los métodos PCI e IRI, mediante la recolección de datos visual y el rugosímetro Merlín, determinándose el servicio y conservación de la carretera Abancay–Cusco.

4.1.2. Nivel de investigación

Hernández y Mendoza (2018) define como aquel que permite caracterizar, inspeccionar, recopilar y dar un análisis de hechos tal como se presentan un fenómeno, mediante la identificación de sus principales dimensiones, comportamientos o atributos, sin manipular variables ni establecer relaciones causales directas. El nivel descriptivo se orienta a caracterizar un fenómeno tal como ocurre en la realidad cómo es, cómo se manifiesta, qué rasgos presenta y en qué contextos aparece sin buscar relaciones causales ni probar hipótesis; por ello trabaja con objetivos y reporta resultados mediante estadística descriptiva (Silvestre y Huamán, 2019).

La tesis fue de nivel descriptivo, ya que se observó, registró, midió y analizaron las fallas superficiales de la carretera Abancay a Cusco, permitiendo describir con precisión el PSI y PCI.

4.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se entiende como el plan o estrategia que organiza cómo se obtendrá la información necesaria para responder al problema y cumplir los objetivos del estudio; en la práctica define si el estudio será experimental o no experimental, y cómo se observarán medirán los hechos (Ruiz y Valenzuela, 2022). El diseño no experimental es aquel en el que no se manipulan deliberadamente las variables; más bien, el investigador observa los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural y luego los analiza para describirlos o examinar relaciones entre variables, sin crear condiciones artificiales como en un experimento (Hernández y Mendoza, 2018).

La tesis fue no experimental transversal donde se recopilaron de datos tal como se encuentra en el estudio sin modificar sus valores obtenidos, en noviembre del 2024.

4.1.4. Enfoque de la investigación

Enfoque mixto trabaja con ambos métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio, permitiendo observar en más amplitud el problema, según Hernández y Mendoza (2018) así lograr un análisis más completo de la realidad del estudio. El enfoque de investigación se refiere a la orientación metodológica del estudio, que puede ser cuantitativa, cualitativa o mixta, según el tipo de datos que se recolectan y el modo en que se analizan para resolver el problema (Ruiz y Valenzuela, 2022).

En mi tesis, el enfoque es mixto, ya que para el cuantitativo se utiliza métodos estadísticos para determinar el PCI, y el IRI, midiendo el tamaño de fallas y desniveles usando serie de procesos estadísticos (ASTM D6433) y rugosímetro Merlin, y para el cualitativo clasifica los estados en que se encuentra la carretera.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. *Ámbito temporal*

Delimita el periodo en que se recolectaron los datos y en el que se interpreta la evidencia; esta acotación asegura pertinencia, control de variables y resultados (Hernández y Mendoza, 2018) Establece el periodo de tiempo que abarcará la investigación fechas, temporada o años, con una justificación clara de por qué ese intervalo es pertinente para responder las preguntas del estudio. Esta delimitación temporal forma parte del mismo proceso de acotar lo incluido/excluido y se define considerando las dimensiones a estudiar y las restricciones de recursos (Pontificia Universidad Católica del Perú [PUCP], 2015).

La tesis se ejecutó el 28 de octubre del 2024 con la delimitación a estudiar, y recopilación de los datos de comenzó a partir del 10 de noviembre del 2024 para determinar el IRI, y para el PCI se realizó el 20 de noviembre, datos y cálculos duro hasta el 30 de diciembre 2024.

4.2.2. *Ámbito espacial*

Establece los límites geográficos o físicos donde se observa el fenómeno, esto delimita y evita que luego alguien generalice cuando solo se midió en un tramo ya definido. (Hernández y Mendoza, 2018). Delimita con precisión dónde se realizará el estudio país, región, distrito, tramo, institución o unidad de análisis, señalando límites administrativos y geográficos, la elección del espacio debe justificarse en función del problema, las dimensiones que se analizarán y los recursos disponibles, acceso a información, capacidad de análisis (PUCP, 2015).

La tesis se realizó en el tramo km 776+000 al km 777+000, de la carretera Abancay-Cusco. Se da inicio en el grifo San Andrés y termina en la curva del Arco con una distancia de 1 kilómetro.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población es el conjunto total de unidades de estudio que reúnen las características necesarias para ser consideradas dentro de la investigación. Dichas unidades pueden ser personas, objetos, conglomerados, hechos o fenómenos que cumplen los criterios definidos (Náupas, 2018). La población es el conjunto total de elementos al que se dirige la investigación; estos elementos comparten características relevantes para el estudio y sobre ellos se busca realizar inferencias (Ruiz y Valenzuela, 2022).

La población de la tesis fue la carretera asfáltica Abancay-Cusco, tramo km 776+00–777+000 (1 km), un ancho promedio de 7.46m sector Prado alto.

Figura 14

Delimitación de la población de la carretera de estudio



Nota. Ubicación de la ejecución es en la ciudad de Tamburco y Abancay y su punto de inicio es en la progresiva km 776+00 (grifo San Andrés) hasta el punto final que es 777+00 (el Arco) coordenadas de inicio $x=729988.70$ $y=8492165.17$ y final $x=729474.20$ $Y=8492781.8$, adaptado de Google Earth.

4.3.2. Muestra

Constituye una parte de la población con capacidad para generalizar conclusiones al conjunto. El método de muestreo puede ser aleatorio o no aleatorio, de acuerdo con el tipo de investigación (Hernández y Mendoza, 2018). También la muestra es una parte representativa de la población, seleccionada para obtener información sobre las variables del estudio; se asume que conserva los rasgos principales del universo y permite analizarlo sin evaluar a todos sus elementos (Ruiz y Valenzuela, 2022).

La tesis utilizó fórmula estadística validada por la (ASTM D6433-07, 2007), y el IRI cada 400 metros, resultando para el PCI 22 muestras cada una de 30 metros intercalados y para el IRI 4 muestras cada una de 400 metros 2 por carril.

Determinación de la muestra para PCI

Inicio de la carretera :776+00 km

Final de carretera :777+00 km

Longitud de Carretera :1000 m

Ancho de carretera :7.46 m

Ancho de carril :3.73 m

Longitud de muestra :30 m

Área de muestra :112 m² (Vásquez, 2002).

N=33 (# total de muestras)

s= 10 (ASTM D6433-07, 2007, para asfalto)

e= 5 (Error aceptable, ASTM D6433-07, 2007)

Estos son los datos iniciales para obtener el área según ancho de cada carril y longitud de la vía, para después determinar el número de muestra en función al intervalo de muestreo que se determinó.

EC- 7 *Número mínimo de unidades.*

$$n = \frac{Nxs^2}{\frac{e^2}{4}x(N-1) + s^2} \quad (7)$$

Donde:

n= 11 (Número mínimo de unidades muestrales a evaluar)

N= Total de muestra

s= Varianza

e= Error máximo permitido

Selección de Unidades de Muestreo

EC- 8 *Intervalo de muestreo*

$$i = \frac{N}{n} \quad (8)$$

i= 3.021 redondeado a 3 intervalo de muestreo.

Figura 15

Distribución de las unidades de muestreo a evaluar PCI

0m	30m	60m	90m	120m	150m	180m	210m	240m	270m	300m	330m	360m
3.73	UM-2			UM-4			UM-6			UM-8		
3.73	UM-1			UM-3			UM-5			UM-7		
390m	420m	450m	480m	510m	540m	570m	600m	630m	660m	690m	720m	
	UM-10		UM-12			UM-14			UM-16			
	UM-9		UM-11			UM-13			UM-15			
750m	780m	810m	840m	870m	900m	930m	960m	990m	1000m			
	UM-18		UM-20			UM-22						
	UM-17		UM-19			UM-21						

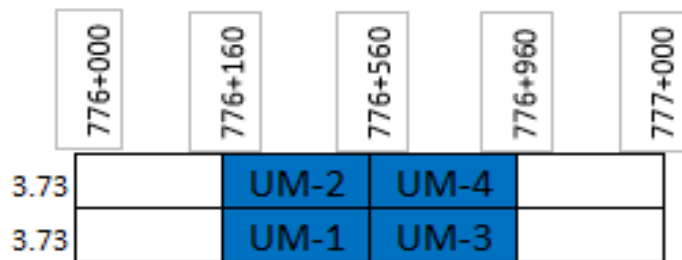
Nota. Distribución de muestras, considerado cada 30 metros, con 22 muestras, 11 cada sentido con una probabilidad de acierto del 95% y error aceptable de 5%.

Tamaño y distribución de muestras para IRI

La medición del Índice Internacional de Rugosidad mediante MERLIN se programa cada 400 metros, obteniéndose 4 datos en total: 2 por carril.

Figura 16

Distribución de las unidades de muestreo a evaluar IRI



Nota. Observamos la distribución de muestras cada una de 400m, las unidades de muestras 1,2,3 y 4.

4.4. Instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos son las herramientas que el investigador emplea para obtener información, y deben describirse con detalle en la metodología. Además, el texto recalca que, para que los resultados sean defendibles, los instrumentos utilizados tienen que ser confiables y validados (Ruiz y Valenzuela, 2022). Los instrumentos son los medios o dispositivos estandarizados que permiten medir variables y recolectar datos de manera válida y confiable como cuestionarios, fichas de observación, pruebas, listas de cotejo. Su diseño y validación se alinean con el tipo de estudio y las operaciones de medición. (Hernández y Mendoza, 2018).

Los instrumentos que se utilizaron son los formatos brindados por la metodología del PCI, y equipo rugosímetro Merlín.

- Plantillas de evaluación de pavimento
- Plantillas de registro de las fallas y severidad del PCI
- Plantilla de registro de rugosímetro Merlín para obtener el IRI

Materiales

- Regla de aluminio de 3m
- Wincha 50ml y de mano de 5ml

- Plumones pizarra acrílica
- Pintura

Equipos

- Rugosímetro Merlín
- Celular

4.5. Procedimientos

Los procedimientos son la secuencia ordenada y detallada de pasos que se siguen para obtener, procesar y analizar los datos: especifican qué se hace, cómo se hace, con qué instrumentos o técnicas, dónde y quién lo realiza, de modo que el estudio pueda replicarse (Hernández y Mendoza, 2018). Para desarrollar una tesis con orden, el investigador debe entender el proceso de investigación como una estrategia de trabajo compuesta por etapas conectadas; no es hacer cosas sueltas, sino avanzar por fases que se apoyan entre sí para resolver un problema real (Ruiz y Valenzuela, 2022).

Los procedimientos se ejecutaron conforme a la metodología del PCI; asimismo, para estimar el PSI a partir del IRI se empleó el rugosímetro MERLIN.

Determinación del PCI

- Recopilación de datos en Campo fue cada 30m se identifica las fallas y severidad (se recopila todas sus áreas o longitudes según indica el manual PCI)

Tabla 11*Registro de datos en campo*

HOJA DE DATOS DEL ESTUDIO DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS Y ESTACIONAMIENTOS DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CADA UNIDAD DE MUESTRA					
VÍA: PE-3S (ABANCAY-CUSCO), Km (776+00-777+00)	SECCIÓN N:	776+00-776+30 derecho	UNIDAD DE MUESTRA:	1	30 m
EVALUADOR: Grover Rainer Navio Arando	FECHA:	20/11/2024	ÁREA DE MUESTRA:	112	3.73 m
1. Grieta piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo y acometidas de Servicios	16. Desplazamiento		
2. Exudación	7. Grietas de borde	12. Pulimientos y Agregados	17. Grietas Parabólicas o por Deslizamiento		
3. Agrietamiento en bloque	8. Grietas de flexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento		
4. Abultamientos y Hundimientos	9. Desnivel Carril/ Borra	14. Cruce de vía férrea	19. Meteorización / Desprendimiento de agregado		
5. Corrugación	10. Grietas Longitudinal/ Transversal	15. Ahuellamiento			
Daño Severidad	CANTIDAD		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
5M	9.6		9.6	8.57	37.59
11H	1.21	5.1	6.31	5.63	40.1
11M	1.94	3	1.94	1.73	13.19
12	24		24	21.43	6.76
15M	4.16	5.3	9.46	8.45	42.18
17L	1.03		1.03	0.92	3.82
19M	5.3		5.3	4.73	13.11

Nota. El número indica tipo de falla y letras L, M, H indica la severidad, áreas por multiplicar, adaptado de ASTM D6433-07 (2007).

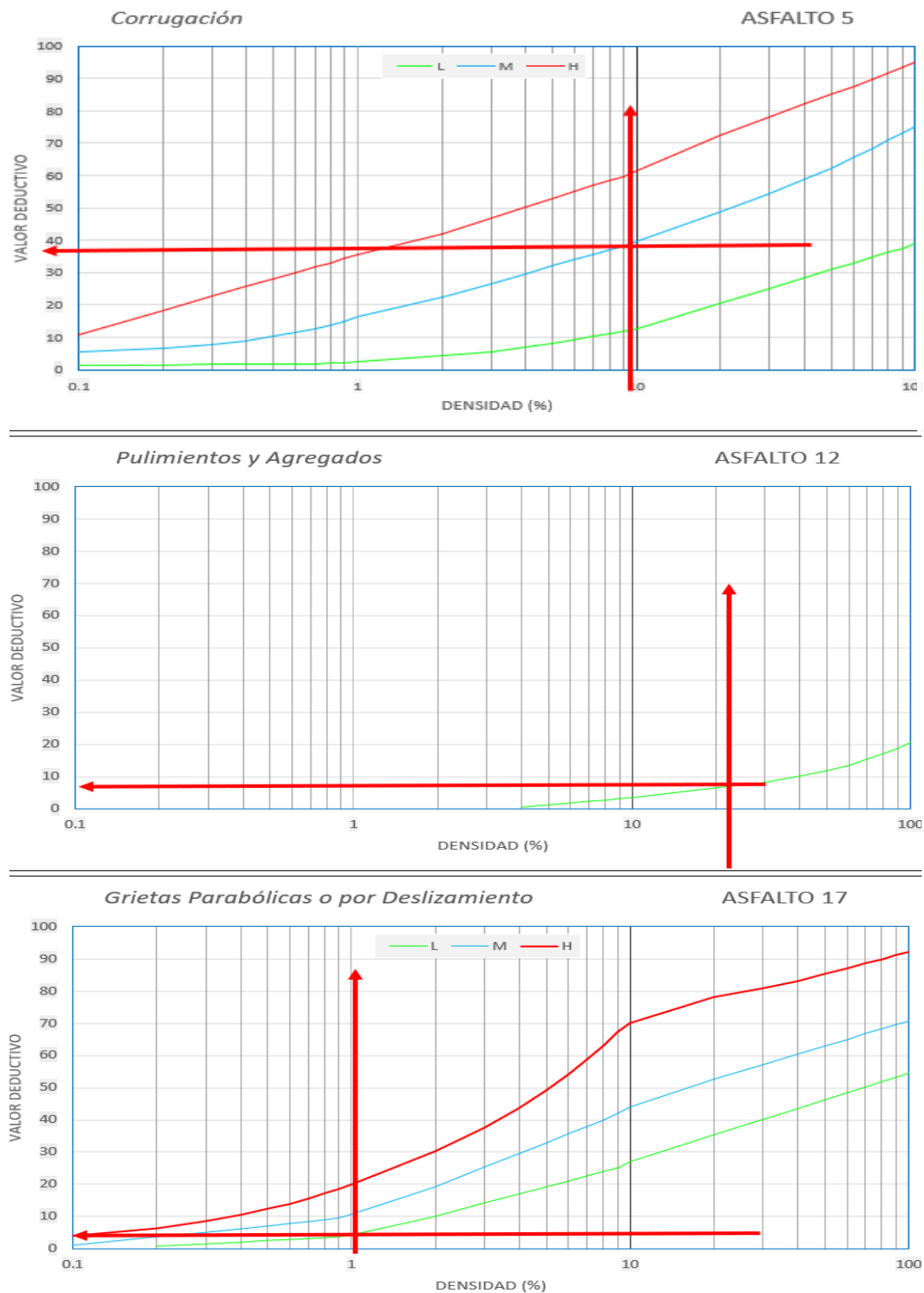
Los demás se llenó en gabinete el total, la densidad y valores deducidos de los ábacos dada por el PCI,

$$\text{Densidad (\%)} = \frac{\text{Suma de áreas parciales del daño}}{\text{Total área muestra}} \times 100$$

$$\text{Densidad (\%)} = \frac{9.6}{112} \times 100 = 8.57, \text{ Sucesivamente en adelante.}$$

Figura 17

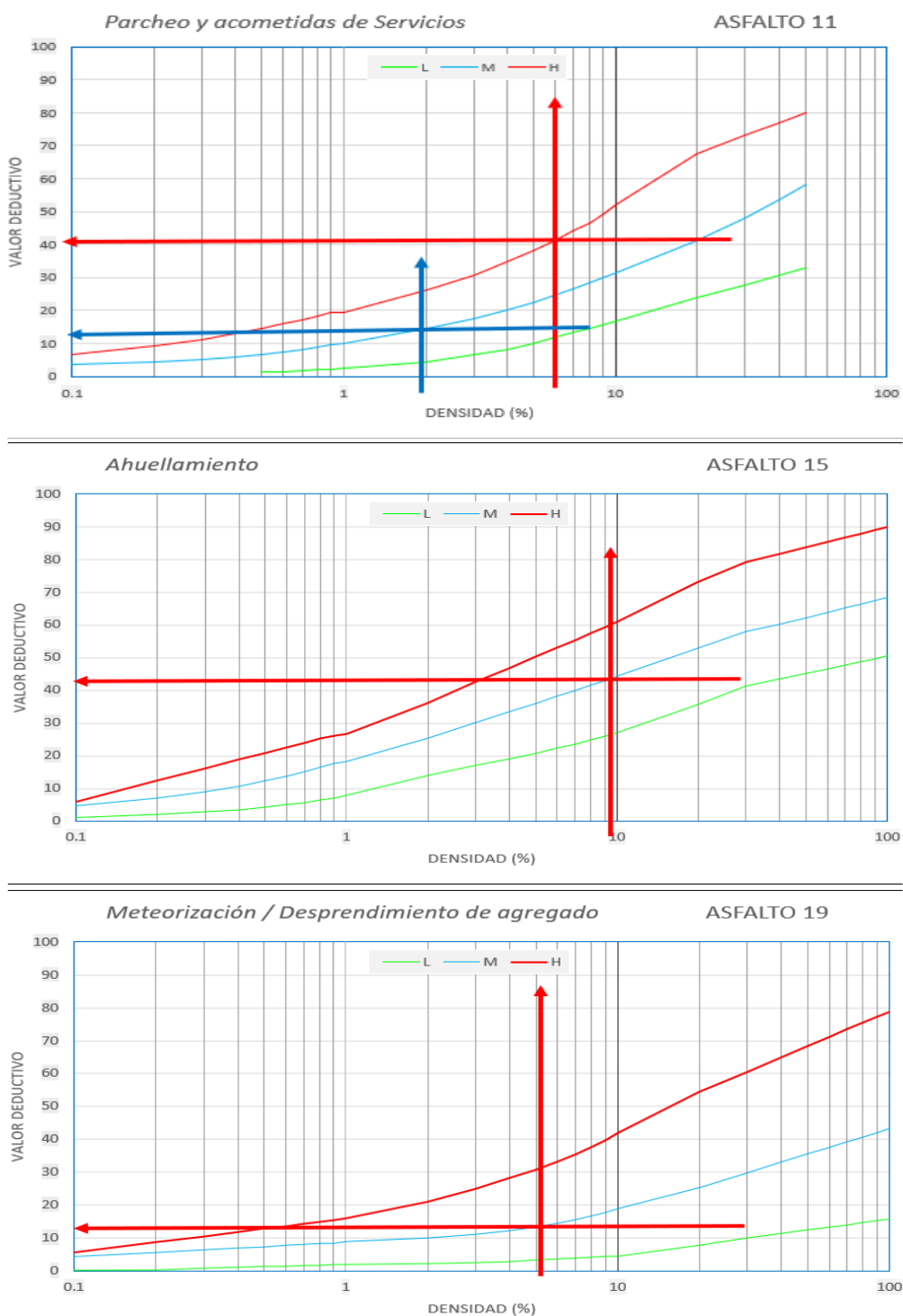
Interpolación de líneas proyectado para valores deducidos



Nota. Interpolación de falla y severidad según cada uno de fallas para interpolar graficas con sus respectivas densidades, adaptado de ASTM D6433-07, (2007).

Figura 18

Interpolación de líneas proyectado para valores deducidos



Nota. Interpolación de falla y severidad según cada uno de fallas para interpolar graficas con sus respectivas densidades, adaptado de ASTM D6433-07, (2007).

Tabla 12*Determinación cantidad, total, densidad y valor deducido*

HOJA DE DATOS DEL ESTUDIO DEL ESTADO DE LAS CARRETERAS Y ESTACIONAMIENTOS DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CADA UNIDAD DE MUESTRA										
DAÑO SEVERIDAD		CANTIDAD		TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO				
5M		9.6		9.6	8.57	37.59				
11H		1.21	5.1	6.31	5.63	40.1				
11M		1.943		1.94	1.73	13.19				
12		24		24	21.43	6.76				
15M		4.16	5.3	9.46	8.45	42.18				
17L		1.03		1.03	0.92	3.82				
19M		5.3		5.3	4.73	13.11				

Nota. Se obtiene el valor deducido con ábacos, el mayor es 42.18 y el menor es 3.82, adaptado de ASTM D6433-07, (2007).

- Determinamos el número de máximo admisibles valor deducido.

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

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} x (100 - 42.18)$$

$m_i = 6.3 < 8$, Usamos 6 muestras pero, la 7 solo usamos el 0.3

= 30% de la muestra 7.

- Ordenar en descendente: 42.18, 40.10, 37.59, 13.19, 13.11, 6.76, **3.82**.

Muestra 7 = 4.48, entonces $0.3 \times 3.82 = 1.1$

- Luego se ordena ascendente los valores deducidos, espacio vacío se completa con el 2 inversamente

Tabla 13*Determinación de cantidad total*

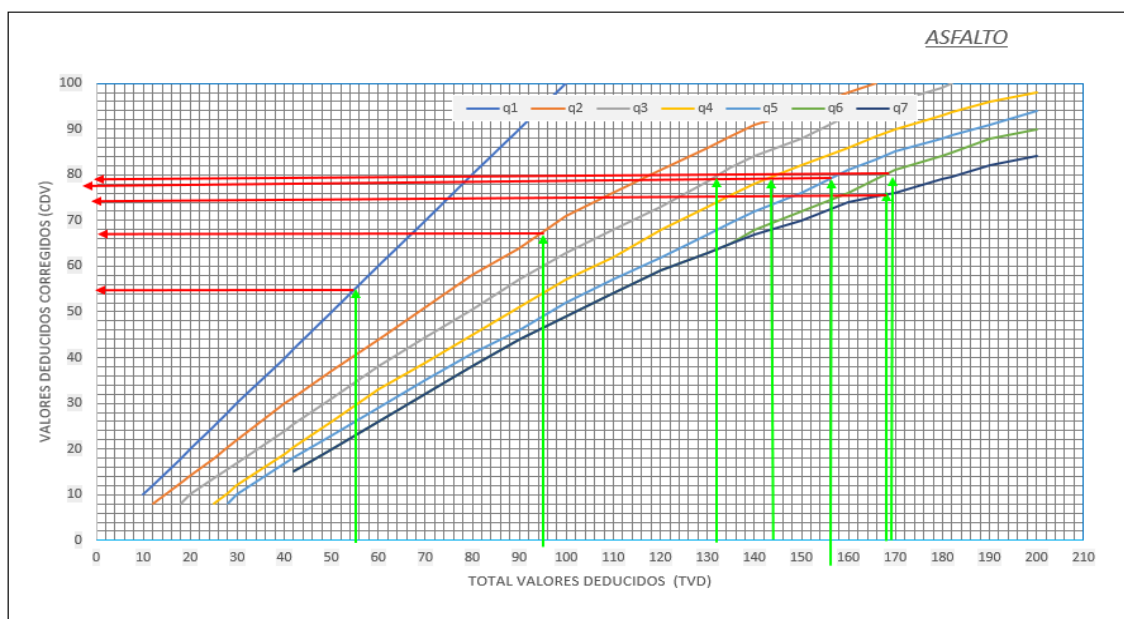
#	(VD)							TOTAL	q	Corr. DV
1	42.18	40.1	37.59	13.19	13.11	6.76	1.1	154.03	7	71.61
2	42.18	40.1	37.59	13.19	13.11	6.76	2	154.93	6	73.97
3	42.18	40.1	37.59	13.19	13.11	2	2	150.17	5	76.09
4	42.18	40.1	37.59	13.19	2	2	2	139.06	4	77.53

#	(VD)							TOTAL	q	Corr. DV
5	42.18	40.1	37.59	2	2	2	2	127.87	3	77.33
6	42.18	40.1	2	2	2	2	2	92.28	2	65.6
7	42.18	2	2	2	2	2	2	54.18	1	54.18

Nota. Interpolación de valores deducidos corregidos se rellena con el número 2, en forma escalonado inverso, donde se suman horizontalmente y se obtiene el valor total VD.

Figura 19

Determinación del q1-q7



Nota. Interpolación de VD totales se interpolan con las curvas de los valores “q”, en donde obtenemos los (CDV).

Tabla 14

Determinación cantidad, total, densidad y valor deducido

#	(VD)							TOTAL	q	Corr. DV
1	42.18	40.1	37.59	13.19	13.11	6.76	1.1	154.03	7	71.61
2	42.18	40.1	37.59	13.19	13.11	6.76	2	154.93	6	73.97
3	42.18	40.1	37.59	13.19	13.11	2	2	150.17	5	76.09
4	42.18	40.1	37.59	13.19	2	2	2	139.06	4	77.53
5	42.18	40.1	37.59	2	2	2	2	127.87	3	77.33
6	42.18	40.1	2	2	2	2	2	92.28	2	65.6
7	42.18	2	2	2	2	2	2	54.18	1	54.18
								MAX CDV	=	78
								PCI	=	22
								CLASIFICACIÓN	=	MUY MALO

Nota. Utilizamos el valor deducido corregido y se resta -100 dando el PCI, el máx. CDV=78.00 y PCI=100-78=22, clasificando como Muy malo.

Determinación de PSI mediante IRI rugosímetro Merlín

En campo por sentido se realiza 2 muestras de 400 metros ida y vuelta en total resultan 4 muestras, después de ello se requiere la calibración del rugosímetro Merlín.

Paso 1: Obtener en milímetros el grosor de la pastilla de calibración.

Medida 01=5.95mm

Medida 02=5.96mm

Medida 03=5.98mm

Medida 04=5.96mm

Espesor promedio=5.96mm

Se coloca el rugosímetro en una superficie plana para ajustar el marcador a 25 para seguidamente levantar el patín centrar para colocar la pastilla de calibración y tomar una nueva lectura como 17, medir la relación de brazos distancia del pivote al patín central=10cm.

EC- 9 *F.C.*

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{[(LI - LF) \times 5]} \quad (9)$$

Donde:

EP=Espesor de placa circular

LI=Longitud inicial de lectura

LF= Longitud final de lectura

Recolección de alturas cada 400m estimado ya que es la distancia del rugosímetro.

Factor de corrección

Distancia de recolección =400m

Distancia del patín al pivote =10m

Espesor de pastilla =5.96m

Primera marca del puntero =25

Segunda marca del puntero =16

$$F.C = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5}$$

F.C=1.32

Cálculo del rango D corregido:

$D_c = D * F.C.$

$D_c = 107.61 \text{ mm}$

Rugosidad en la escala del IRI:

IRI

$= 0.593 + 0.0471 * D_c$ (1) condicionante $2.4 \text{ m/km} \leq \text{IRI} < 15.9 \text{ m/km}$ o $D \geq 50 \text{ mm}$

$= 0.0485 * D_c$ (2) condicionante $0 \text{ m/km} < \text{IRI} < 2.4 \text{ m/km}$ o $D < 50 \text{ mm}$

$= 5.66 \text{ m/km}$

Calculamos PSI:

$$PSI = \frac{5}{e^{5.5 \cdot \text{IRI}}}$$

PSI= 1.79 Mala.

4.6. Análisis de datos

El análisis de datos, para Hernández y Mendoza (2018) es el proceso mediante el cual se transforman los datos recolectados en información útil para comprobar hipótesis o alcanzar los objetivos del estudio, utilizando técnicas estadísticas o modelamiento una vez terminada la recolección, corresponde procesar y analizar los datos para obtener resultados

que permitan responder a los objetivos, preguntas e hipótesis del estudio. Ese procesamiento puede hacerse de forma manual o computarizada, pero siempre con la idea de transformar los datos en información útil para interpretar el fenómeno investigado (Ruiz y Valenzuela, 2022).

Para establecer el estado de los pavimentos mediante el método PCI, se utilizaron fichas de recolección de datos. De forma complementaria, para la regularidad superficial se empleó la ficha del rugosímetro MERLIN. Con la información obtenida se evalúa el índice de serviciabilidad de la vía y, con base en las recomendaciones, se define la intervención que corresponda según la clasificación del PSI.

4.7. Consideraciones éticas

Las consideraciones éticas, para Hernández y Mendoza (2018) sostienen que toda investigación debe guiarse por principios éticos, como la honestidad, el respeto por la propiedad intelectual, el uso responsable de la información y la transparencia en la presentación de resultados. Como también implica ejecutar todo el plan metodológico, asegurar la veracidad de los datos y el respeto por la información; mantener trazabilidad documentada en cada fase; y evitar cualquier manipulación o sesgo deliberado en los resultados. (Arias y Covinos, 2021).

La recolección de datos es verídica y con precisión, Los resultados son verídicos y dan un reporte claro al problema, La ejecución de la tesis cumple con lo establecido por el Instructivo General de Investigación 2024 de la Universidad y manual de la norma APA. 7° edición. Donde se indica como realizar el informe final, consideraciones a acatar y sus plazos de entrega, por lo cual cumplo con los requisitos y recomendaciones del reglamento, la tesis se realizó en un espacio y tiempo determinado en el año 2024 por lo tanto, este garantiza la originalidad.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados del PCI

Tabla 15

Resultados de la medición de fallas según unidades de muestra

N° UM.	Progresiva	Tipo	Severidad	Cant.	Und.
1	776+00-776+30 subida	5	M	9.6	m2
		11	H	6.31	m2
		11	M	1.94	m2
		12		24	m2
		15	M	9.46	m2
		17	L	1.03	m2
		19	M	5.3	m2
2	776+00-776+30 bajada	5	M	3.74	m2
		7	M	3.4	m
		11	H	2.7	m2
		11	M	5.78	m2
		15	M	2.55	m2
3	776+90-776+120 subida	7	M	30	m
		11	M	36	m2
		13	M	2	N°
		13	H	7	N°
		19	M	10	m2
4	776+90-776+120 bajada	7	M	28	m
		10	M	15	m
		11	M	1.86	m2
		13	H	6	N°
		19	M	0.24	m2
		19	H	1.08	m2
5	776+180-776+210 subida	7	L	25	m
		11	M	23.8	m2
		12		4.42	m2
		13	M	2	N°
		15	M	4.68	m2
6	776+180-776+210 bajada	4	M	1.8	m
		7	M	28	m
		11	M	6.03	m2
		12		10.1	m2
		13	H	1	N°
		15	M	1.5	m2
7	776+270-776+300 subida	7	M	26	m

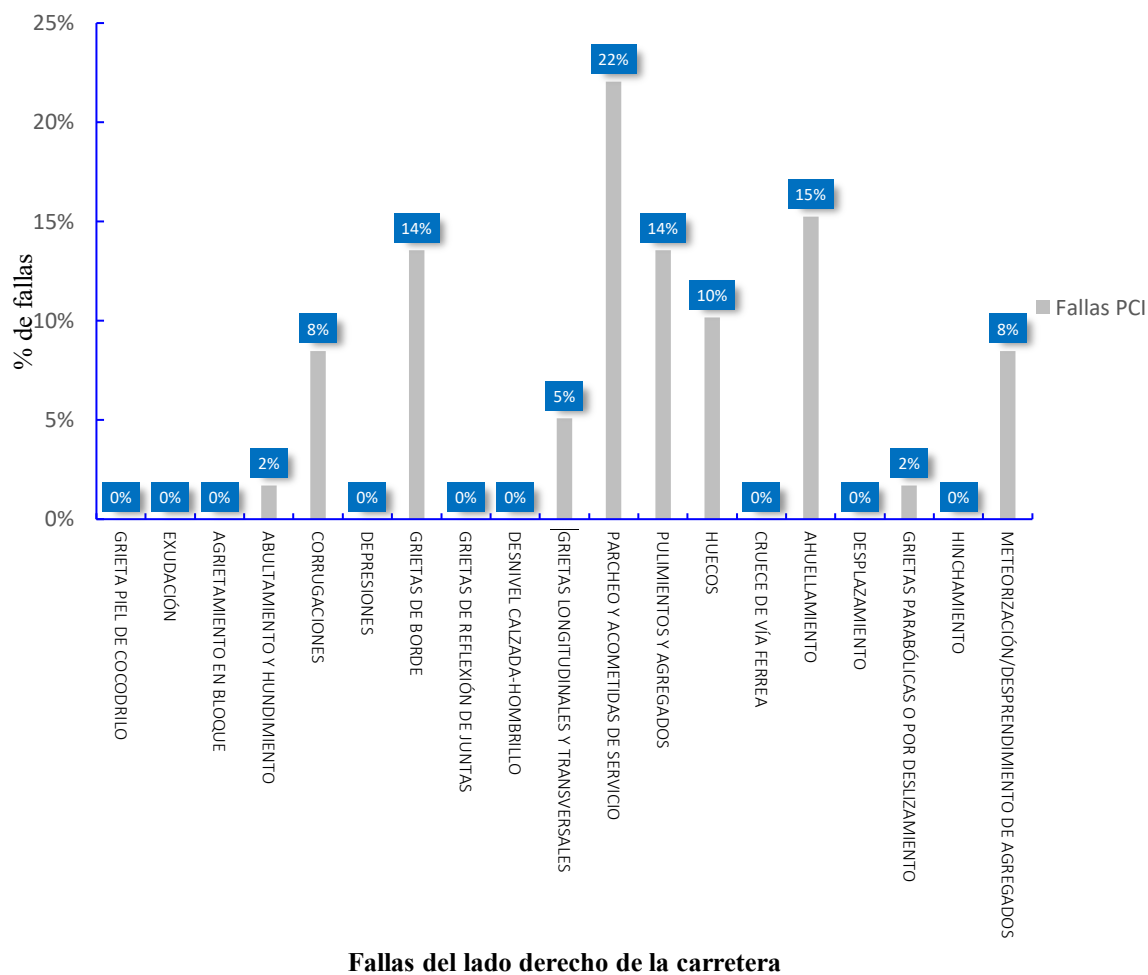
N° UM.	Progresiva	Tipo	Severidad	Cant.	Und.
		11	M	2.01	m2
		15	M	10.5	m2
		19	L	16.91	m2
		12		15	m2
8	776+270-776+300 bajada	5	L	4.5	m2
		7	L	30	m
		11	L	54.83	m2
		12		9.6	m2
		15	M	4	m2
		13	M	2	N°
		13	H	1	N°
9	776+360-776+390 subida	11	M	7.62	m2
		13	H	2	N°
		13	M	1	N°
		15	H	22.64	m2
		19	H	3.53	m2
10	776+360-776+390 bajada	11	M	20.22	m2
		13	M	1	N°
		13	H	2	N°
		15	M	4	m2
		19	M	63	m2
11	776+450-776+480 subida	7	L	15	m
		11	L	0.7	m2
		11	M	2.1	m2
		12		13.2	m2
		15	M	3.3	m2
		13	H	1	N°
		5	M	5.2	m2
12	776+450-776+480 bajada	5	M	9.6	m2
		11	M	26.16	m2
		12		6.04	m2
		13	M	1	N°
		15	M	5.6	m2
		7	M	10.2	m
13	776+540-776+570 subida	4	M	1.6	m
		11	M	3.96	m2
		12		5.85	m2
		15	M	3.6	m2
14	776+540-776+570 bajada	4	M	1.97	m
		11	M	17.34	m2
		15	M	11	m2
		7	H	4	m
		10	L	1.2	m
		12		9.5	m2
15	776+630-776+660 subida	5	M	3.1	m2

N° UM.	Progresiva	Tipo	Severidad	Cant.	Und.
		7	L	10	m
		11	L	4.8	m2
		11	M	13.2	m2
		12		17.04	m2
		19	L	4	m2
16	776+630-776+660 bajada	5	M	12.12	m2
		7	L	1.8	m
		11	L	5.67	m2
		13	L	2	N°
		13	M	1	N°
		15	M	1.35	m2
		12		12	m2
17	776+720-776+750 subida	5	L	12.6	m2
		7	L	21.5	m
		10	M	13	m
		11	M	0.9	m2
		12		7.02	m2
		15	M	4.82	m2
18	776+720-776+750 bajada	5	L	36	m2
		9	M	30	m
		12		54	m2
19	776+810-776+840 subida	5	M	4.4	m2
		7	L	22	m
		10	M	18	m
		12		13.14	m2
		15	M	8.8	m2
20	776+810-776+840 bajada	5	M	16.8	m2
		11	L	7.26	m2
		13	L	1	N°
		12		7.2	m2
		15	M	5.6	m2
21	776+900-776+930 subida	7	L	20	m
		10	M	4.85	m
		11	M	1.53	m2
		15	M	11	m2
22	776+900-776+930 bajada	15	M	4.8	m2
		5	M	10.26	m2
		10	M	9	m
		12		28	m2
		13	M	2	N°
		11	L	0.96	m2

Nota. Muestra cantidad de fallas en función de sus unidades de medida y su severidad, clasificados por cada muestra.

Figura 21

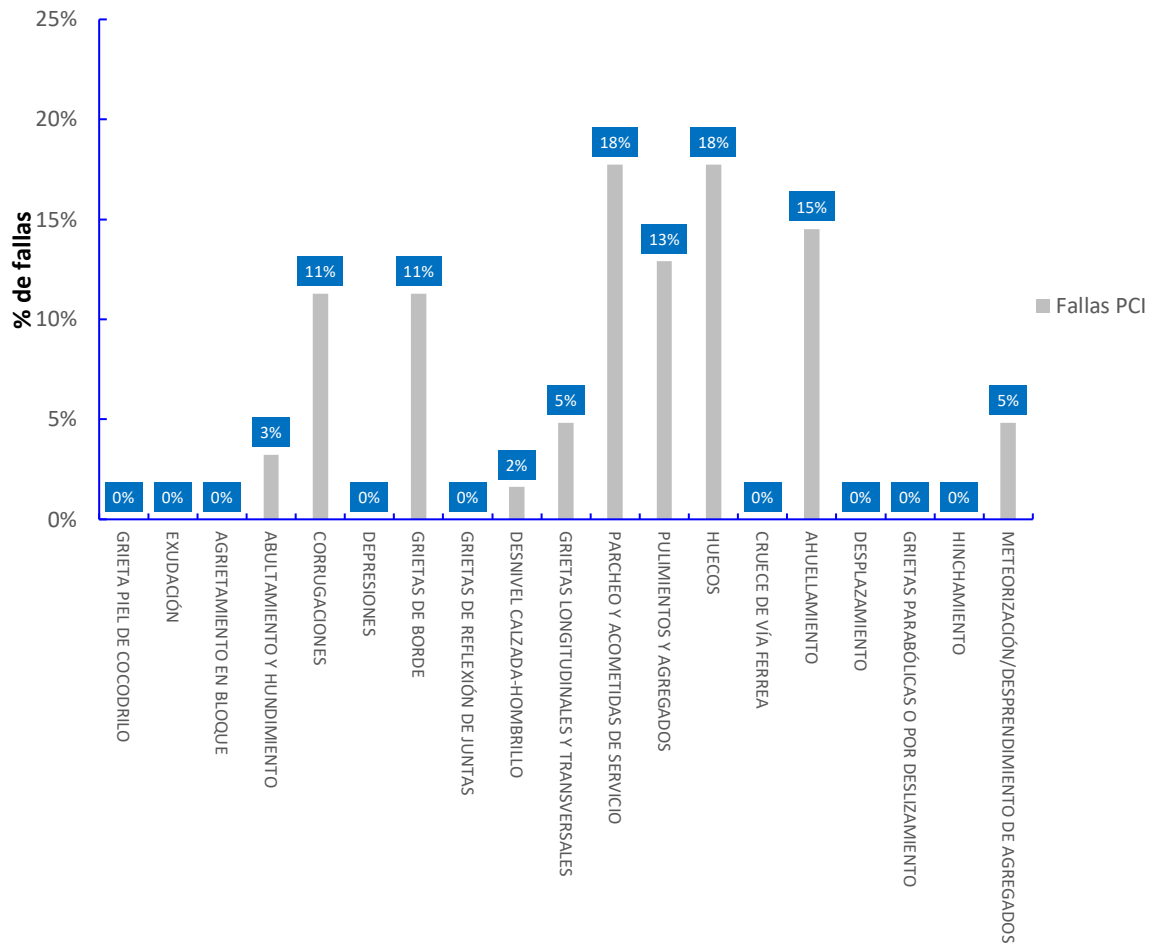
Distribución porcentual de deterioros carril derecho (Abancay-cusco)



Nota. Las fallas del sentido derecho de la vía en estudio, donde muestra que el parcheo es de mayor incidencia con un 22% y en menor medida es abultamiento, grietas parabólicas con un 2% de incidencia.

Figura 22

Distribución porcentual de deterioros carril izquierdo (Cusco-Abancay)

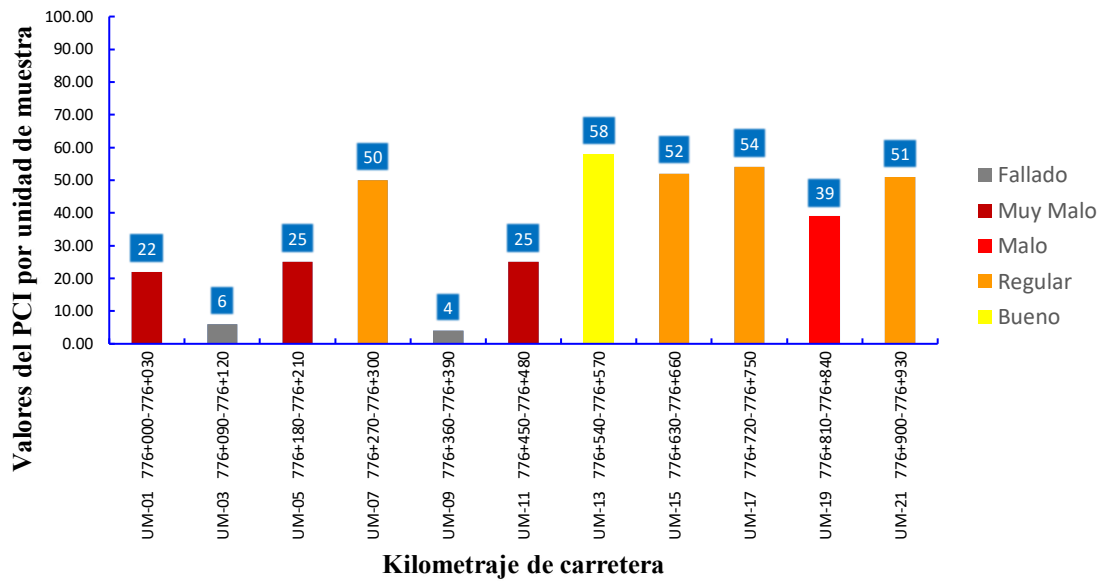


Fallas del lado izquierda de la carretera

Nota. De 18 las fallas del sentido izquierdo de la carretera en estudio, donde el parcheo y huecos es de mayor incidencia con un 18% y en menor medida es desnivel y abultamiento con 2% y 3% de incidencia.

Figura 23

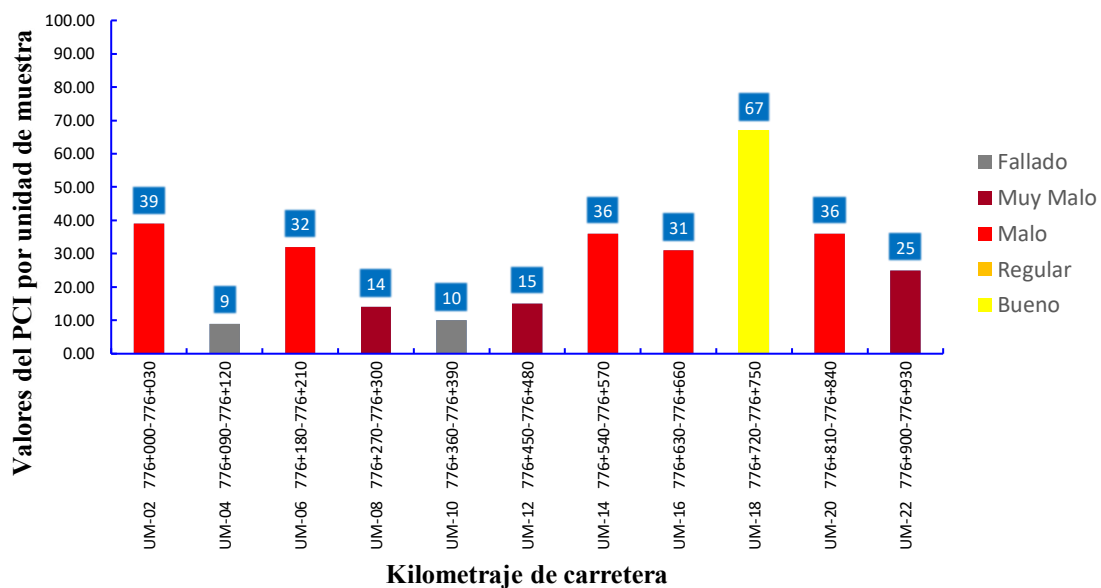
Valores PCI carril derecho subida



Nota. Observamos la clasificación de PCI en cada kilómetro de la vía del lado derecho (Abancay-Cusco), donde en la muestra 13 su clasificación es bueno como también tiene tramos crítico como son la muestra 3 y 9 como fallado, adicionalmente el PCI promedio=35 clasificado como malo.

Figura 24

Valores PCI carril izquierdo bajada



Nota. Observamos la clasificación de PCI en cada kilómetro de la vía del lado Izquierdo, donde en la muestra 18 su clasificación es bueno como también tiene tramos crítico como son la muestra 04 y 10 como fallado, adicionalmente el PCI promedio=29 clasificado como malo.

Tabla 16

Propuesta de rehabilitación de la vía

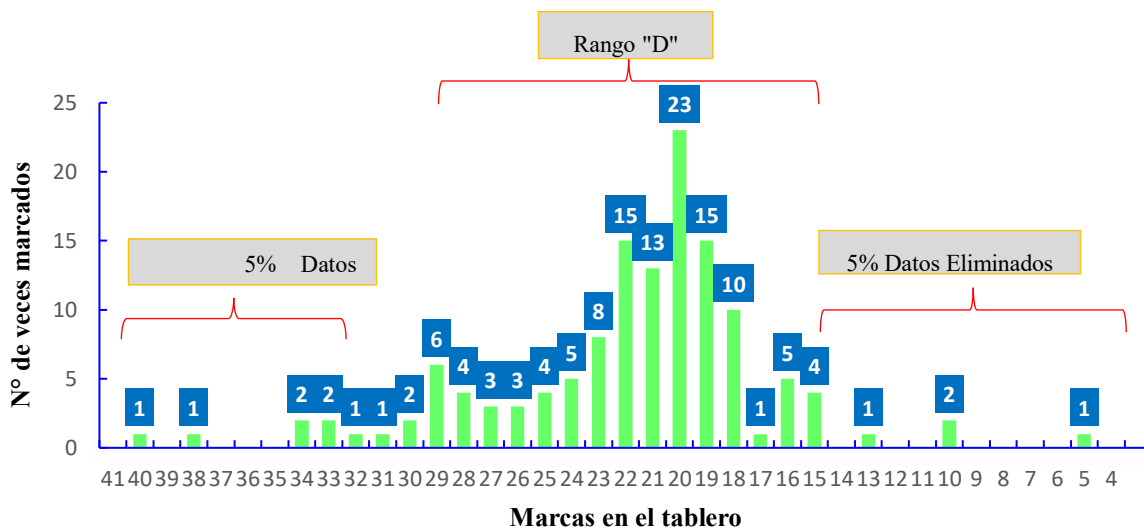
Carril derecho subida	PCI	Estado	Propuesta de intervención
UM- 01 776+000-776+030	22	Muy Malo	Rehabilitación – reconstrucción
UM-03 776+090-776+120	6	Fallado	Rehabilitación – reconstrucción
UM-05 776+180-776+210	25	Muy Malo	Rehabilitación – reconstrucción
UM-07 776+270-776+300	50	Regular	Mantenimiento correctivo
UM-09 776+360-776+390	4	Fallado	Rehabilitación – reconstrucción
UM-11 776+450-776+480	25	Muy Malo	Rehabilitación – reconstrucción
UM-13 776+540-776+570	58	Bueno	Mantenimiento correctivo
UM-15 776+630-776+660	52	Regular	Mantenimiento correctivo
UM-17 776+720-776+750	54	Regular	Mantenimiento periódico
UM-19 776+810-776+840	39	Malo	Rehabilitación – refuerzo estructural
UM-21 776+900-776+930	51	Regular	Mantenimiento correctivo
Carril izquierdo bajada	PCI	Estado	Propuesta de intervención
UM-02 776+000-776+030	39	Malo	Rehabilitación – refuerzo estructural
UM-04 776+090-776+120	9	Fallado	Rehabilitación – reconstrucción
UM-06 776+180-776+210	32	Malo	Rehabilitación – refuerzo estructural
UM-08 776+270-776+300	14	Muy Malo	Rehabilitación – reconstrucción
UM-10 776+360-776+390	10	Fallado	Rehabilitación – reconstrucción
UM-12 776+450-776+480	15	Muy Malo	Rehabilitación – reconstrucción
UM-14 776+540-776+570	36	Malo	Rehabilitación – refuerzo estructural
UM-16 776+630-776+660	31	Malo	Rehabilitación – refuerzo estructural
UM-18 776+720-776+750	67	Bueno	Mantenimiento preventivo rutinario y/o periódico
UM-20 776+810-776+840	36	Malo	Rehabilitación – refuerzo estructural
UM-22 776+900-776+930	25	Muy Malo	Rehabilitación – reconstrucción

Nota. Analizando todo el tramo resulta que la vía requiere un 45% de rehabilitación-reconstrucción y un 27% requiere mantenimiento estructural, los dos son fallas estructurales por lo que se requiere reconstrucción un 72% y 28% requiere mantenimiento periódico o rutinario.

5.1.2 Resultados del rugosímetro Merlín

Figura 25

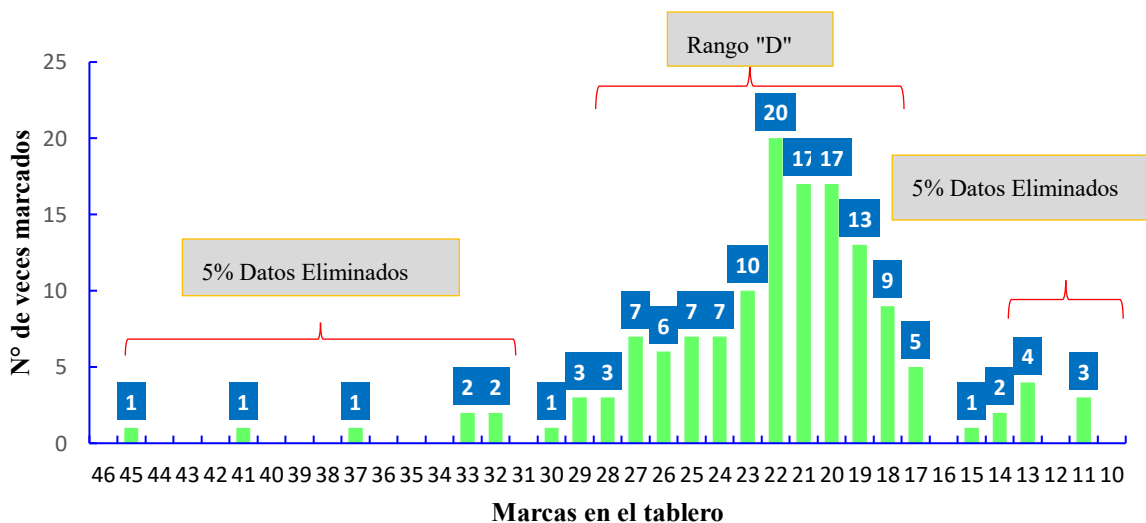
Histograma M-1 Km 776+160-776+560 (lado Derecho)



Nota. Observamos la cantidad de repeticiones marcado por el rugosímetro Merlín dentro de la muestra 1, que está realizada en 400m. lado derecho el rango D es la cantidad a tomar, el resto se elimina, la mayor cantidad de lecturas se tomaron es el 20 con 23 lecturas eso quiere decir que la vía tiene mayor elevación.

Figura 26

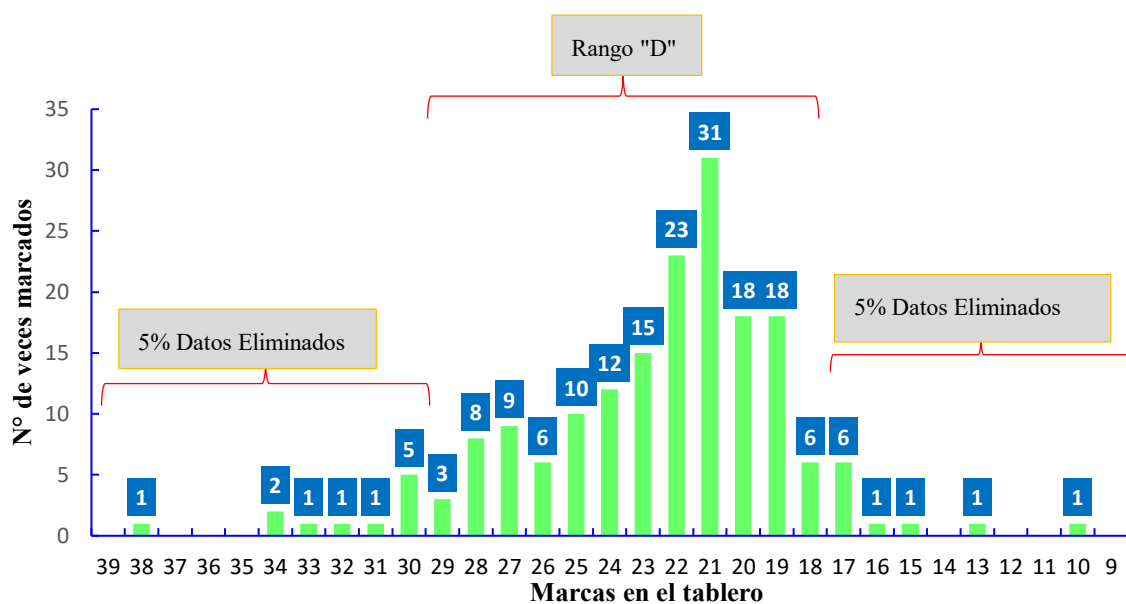
Histograma M-2 km 776+000-776+400 lado Izquierdo



Nota. Las cantidades de repeticiones que ha marcado el rugosímetro Merlín dentro de la muestra 2, que está realizada en 400m. lado izquierdo en el sentido de Abancay – Cusco, el rango D es la cantidad a tomar en cuenta el resto se elimina, la mayor cantidad de lecturas se tomaron en el número 22 con 20 lecturas eso quiere decir que la vía tiene más elevaciones.

Figura 27

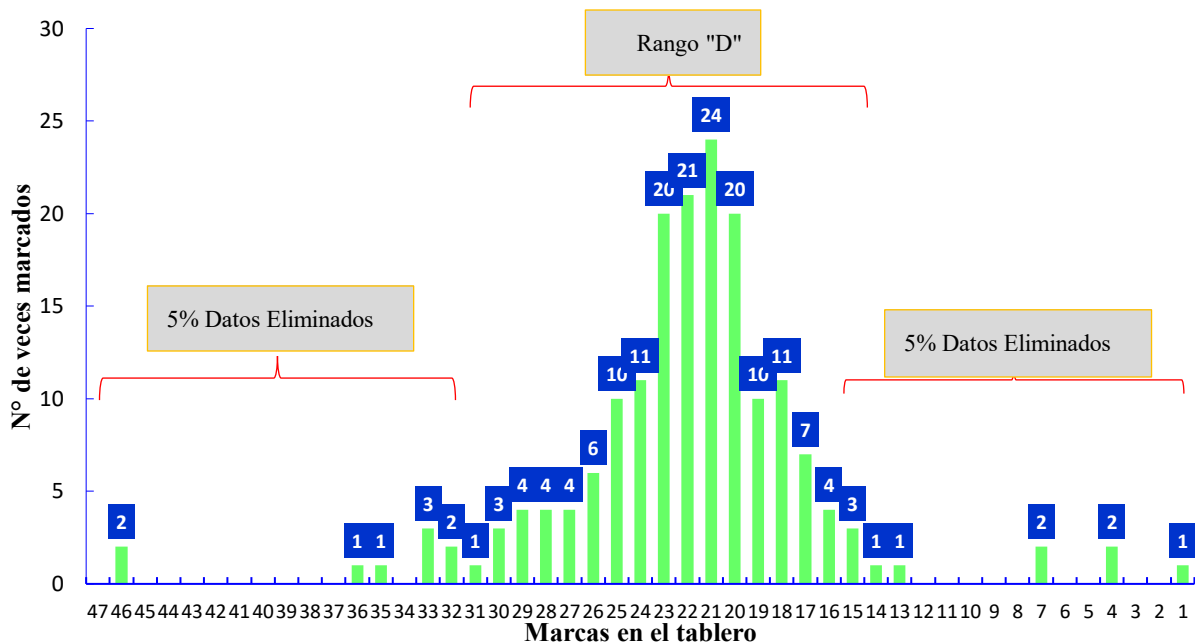
Histograma M-3 km 776+560-776+960 lado Derecho



Nota. Las cantidades de repeticiones que ha marcado el rugosímetro Merlín dentro de la muestra 3, que está realizada en 400m. lado derecho en el sentido de Abancay – Cusco, el rango D es la cantidad a tomar en cuenta el resto se elimina, la mayor cantidad de lecturas se tomaron en el número 21 con 31 lecturas eso quiere decir que la vía tiene mayor elevación por estar debajo de 25.

Figura 28

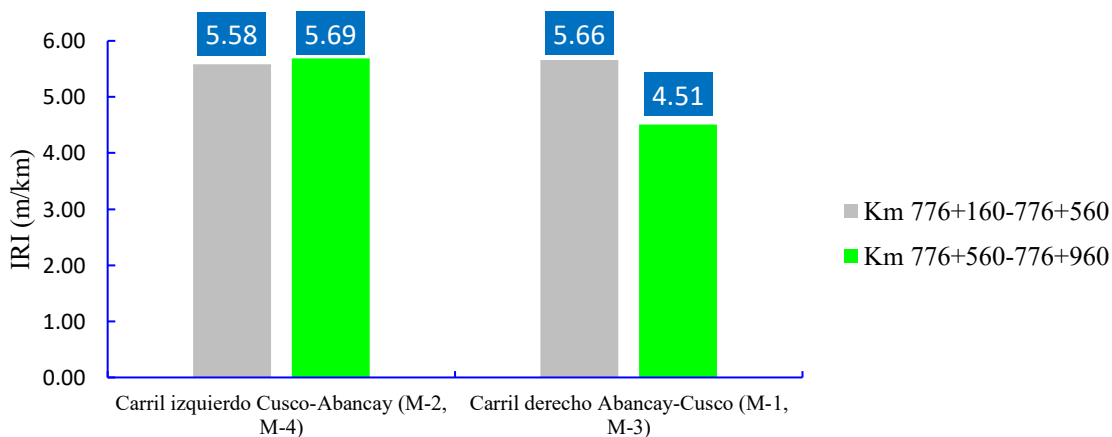
Histograma M-4 km 776+560-776+960 lado Izquierdo



Nota. Las cantidades que ha marcado el rugosímetro Merlín dentro de la muestra 1, que está realizada en 400m. lado izquierdo en el sentido de Abancay – Cusco, el rango D se toma en cuenta el resto se elimina, la mayor incidencia son el 21 con 24 lecturas, resultando mayor hundimiento, la sección tiene mayor cantidad de uniformidad dando mismo valor como dos de 20 y uno de 21.

Figura 29

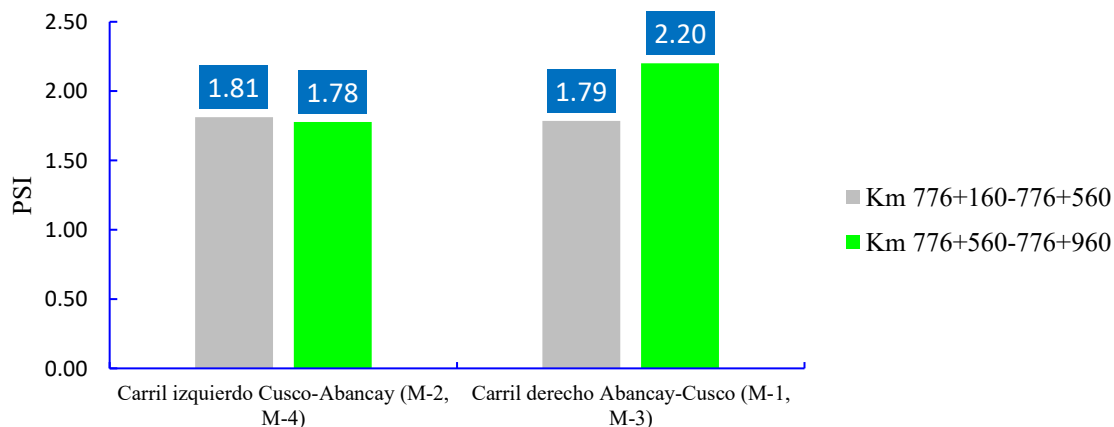
Valores de índice de rugosidad internacional de la vía



Nota. Se tiene el resumen del IRI donde el promedio para el carril izquierdo es 5.64m/km, y carril derecho es 5.08m/km.

Figura 30

Valores del índice de serviciabilidad de pavimentos de la vía



Nota. Se tiene el resumen del PSI donde el promedio para el carril izquierdo es 1.8, y carril derecho es 2.0.

Tabla 17

Datos para generar el perfil longitudinal con rugosímetro Merlín

# De lectura	Progresiva	Desviación vertical (cm) carril derecho	Desviación vertical (cm) carril izquierdo	# De lectura	Progresiva	Desviación vertical (cm) carril derecho	Desviación vertical (cm) carril izquierdo
1	776+562	2.7	1.3	101	776+762	-2	2
2	776+564	2	2	102	776+764	-6	0.7
3	776+566	3.3	2	103	776+766	-1.3	2.7
4	776+568	0.7	4.7	104	776+768	0.7	2
5	776+570	3.3	2.7	105	776+770	4.7	5.3
6	776+572	2	5.3	106	776+772	0.7	-0.7
7	776+574	0	4	107	776+774	2	0.7
8	776+576	3.3	4	108	776+776	-2	-1.3
9	776+578	4.7	3.3	109	776+778	-1.3	1.3
10	776+580		3.3	110	776+780	-0.7	4
11	776+582	-1.3	2.7	111	776+782	0	-4.7
12	776+584	3.3	-7.3	112	776+784	-6	
13	776+586			113	776+786	-1.3	1.3
14	776+588	4.7		114	776+788	2.7	0
15	776+590	2	0	115	776+790	1.3	3.3
16	776+592	2.7	-14	116	776+792	2	2
17	776+594	4	2	117	776+794	0	2.7
18	776+596	1.3	-2.7	118	776+796	3.3	3.3
19	776+598	4	0.7	119	776+798	-2	4
20	776+600	2.7	5.3	120	776+800	-3.3	4.7

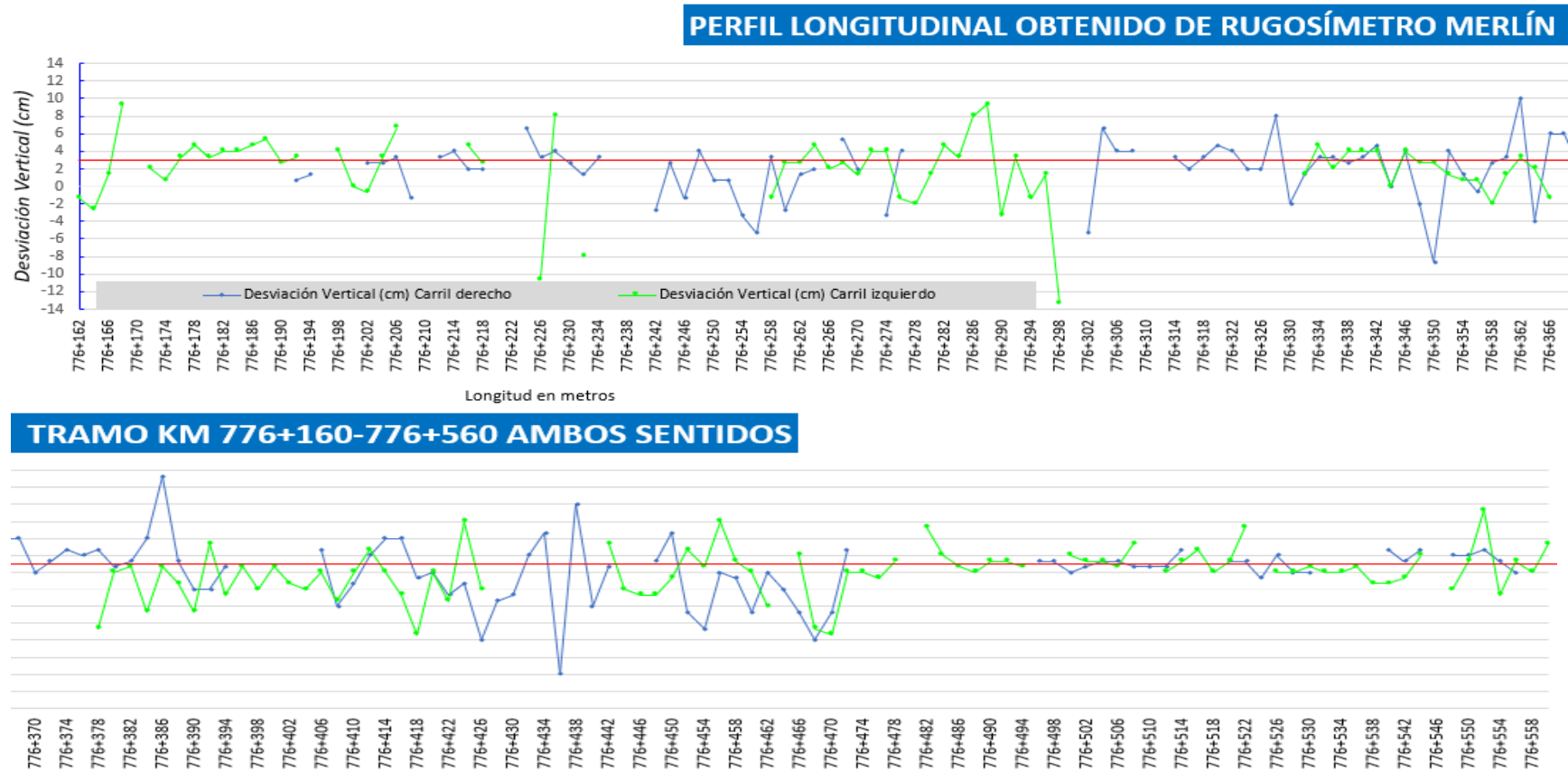
# De lectura	Progresiva	Desviación vertical (cm) carril derecho	Desviación vertical (cm) carril izquierdo	# De lectura	Progresiva	Desviación vertical (cm) carril derecho	Desviación vertical (cm) carril izquierdo
21	776+602	4	7.3	121	776+802	-1.3	3.3
22	776+604	3.3	-0.7	122	776+804	-4	2.7
23	776+606	4	-6.7	123	776+806	2	3.3
24	776+608	2.7	-2.7	124	776+808	2.7	2.7
25	776+610	2.7	4	125	776+810	2.7	2
26	776+612	3.3	4.7	126	776+812	2.7	2.7
27	776+614		-6	127	776+814	3.3	2.7
28	776+616	6	-6	128	776+816	2	2.7
29	776+618	-1.3	6	129	776+818	5.3	4.7
30	776+620	2	2.7	130	776+820	3.3	2
31	776+622	-5.3	1.3	131	776+822	1.3	2
32	776+624	4	-4	132	776+824	2.7	
33	776+626	-3.3	5.3	133	776+826	-2.7	
34	776+628	-3.3	-0.7	134	776+828	0.7	
35	776+630	0	4	135	776+830	2	8
36	776+632	5.3	-2	136	776+832	3.3	12
37	776+634		14	137	776+834	2.7	4.7
38	776+636	3.3	2.7	138	776+836	4	-2.7
39	776+638	1.3	0.7	139	776+838	3.3	1.3
40	776+640	4	-0.7	140	776+840	2.7	-3.3
41	776+642	2.7		141	776+842	1.3	0
42	776+644	-1.3		142	776+844	4	-0.7
43	776+646			143	776+846	4	
44	776+648			144	776+848	4	4
45	776+650	0		145	776+850	4	0
46	776+652	2.7		146	776+852	2	
47	776+654	2.7		147	776+854	2.7	
48	776+656	5.3		148	776+856	0.7	-1.3
49	776+658		2.7	149	776+858	1.3	6
50	776+660		0.7	150	776+860	3.3	2.7
51	776+662		-2	151	776+862	-1.3	4.7
52	776+664		3.3	152	776+864	-3.3	
53	776+666	0.7	3.3	153	776+866	-2	14
54	776+668	1.3	1.3	154	776+868	0.7	2
55	776+670	-0.7	3.3	155	776+870	0.7	2
56	776+672	4	3.3	156	776+872	5.3	-0.7
57	776+674	2.7	2	157	776+874	-1.3	-1.3
58	776+676	5.3	4	158	776+876	0	4
59	776+678	-0.7	2.7	159	776+878	2.7	
60	776+680		0.7	160	776+880	0	-3.3
61	776+682		2.7	161	776+882	2	
62	776+684		2	162	776+884	2	4.7
63	776+686		2	163	776+886	0	0
64	776+688		3.3	164	776+888	-0.7	0.7
65	776+690		2.7	165	776+890	1.3	6
66	776+692	6.7	2	166	776+892	0	-6
67	776+694	4	2.7	167	776+894	-2	5.3
68	776+696	4.7	1.3	168	776+896	-2	4.7
69	776+698	2.7	0.7	169	776+898	-2	4.7
70	776+700	1.3	2.7	170	776+900	0.7	0
71	776+702	10	0.7	171	776+902	2	2.7
72	776+704	2.7	2	172	776+904	0.7	2

# De lectura	Progresiva	Desviación vertical (cm) carril derecho	Desviación vertical (cm) carril izquierdo	# De lectura	Progresiva	Desviación vertical (cm) carril derecho	Desviación vertical (cm) carril izquierdo
73	776+706	1.3	6.7	173	776+906	-0.7	-2.7
74	776+708	-2.7	0	174	776+908	-3.3	12
75	776+710	5.3	6.7	175	776+910	-8.7	-1.3
76	776+712	1.3	4.7	176	776+912	-2	0.7
77	776+714	2.7	4.7	177	776+914	2.7	2.7
78	776+716	1.3	1.3	178	776+916	-0.7	6
79	776+718	2.7	-3.3	179	776+918	-2.7	-14
80	776+720	2.7	-4.7	180	776+920	1.3	1.3
81	776+722		1.3	181	776+922	2	1.3
82	776+724		1.3	182	776+924	3.3	0
83	776+726	3.3	3.3	183	776+926	2	0
84	776+728	2.7	3.3	184	776+928	0	-2
85	776+730	1.3	1.3	185	776+930	0.7	1.3
86	776+732	4.7	3.3	186	776+932	0.7	1.3
87	776+734	3.3	3.3	187	776+934	2.7	2
88	776+736	2	3.3	188	776+936		0
89	776+738	2	5.3	189	776+938	8	5.3
90	776+740	3.3	4	190	776+940	2.7	3.3
91	776+742	4	3.3	191	776+942	1.3	6.7
92	776+744	2	2	192	776+944	2	
93	776+746	3.3	2	193	776+946	2	16
94	776+748	2.7	2.7	194	776+948	4	0.7
95	776+750	2	2.7	195	776+950	-4.7	2.7
96	776+752	2.7	1.3	196	776+952		1.3
97	776+754	2.7	1.3	197	776+954	2.7	-2
98	776+756	4	3.3	198	776+956	4	3.3
99	776+758	4.7	2.7	199	776+958	2	1.3
100	776+760	2	1.3	200	776+960	4	2

Nota. Los valores de la desviación vertical positivos representan las elevaciones, los valores negativos representan desviaciones verticales de depresiones, para la determinación de estos valores se realizó mediante la relación de la pastilla de 6mm de espesor tomando una relación con el marcador del rugosímetro de 17. Donde el marcador inicial es de 25, resultando 45mm, donde la relación es de 5.96mm vertical es a 45mm tablero.

Figura 31

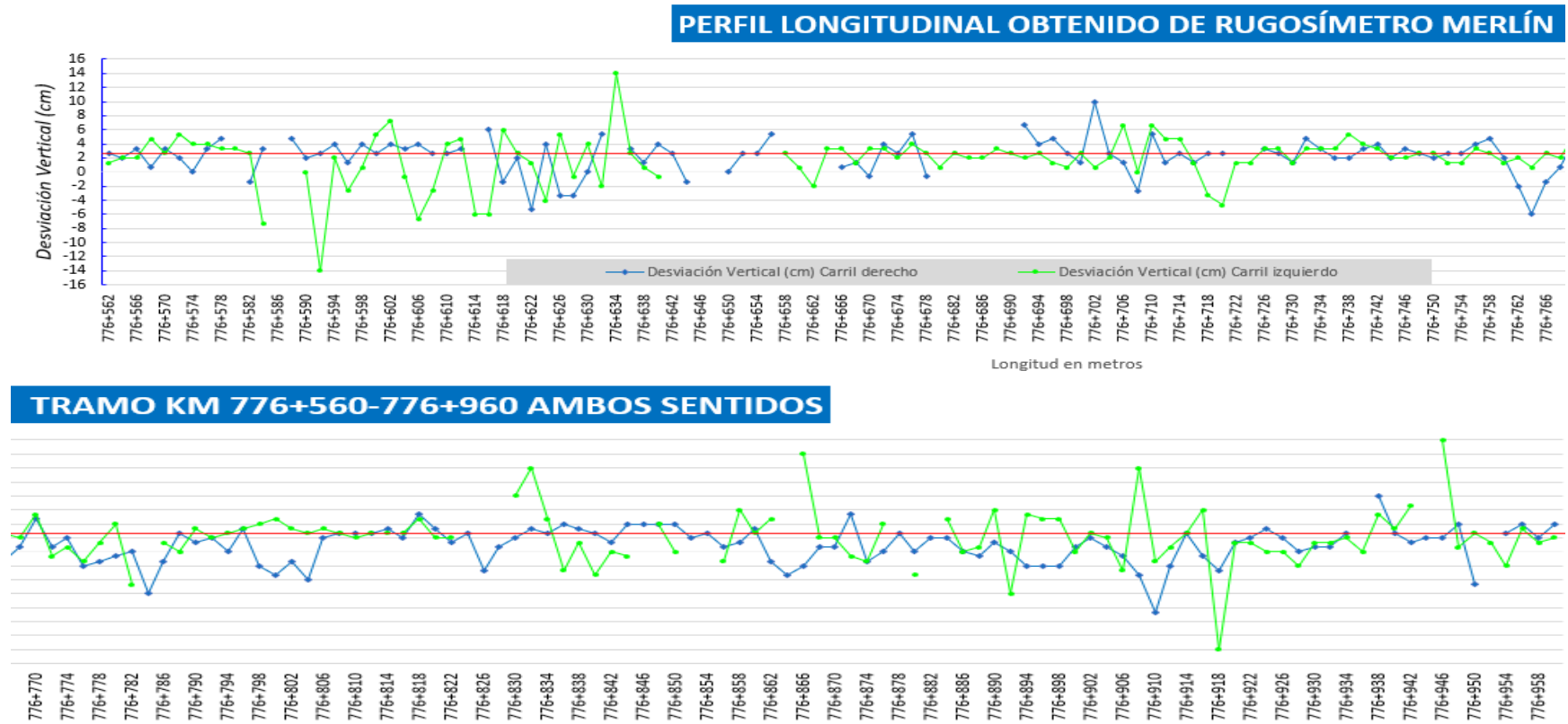
Perfil ambos sentidos km 776+160-776+560 con rugosímetro Merlin



Nota. El perfil de los dos carriles son la variación vertical, línea azul es carril derecho línea verde carril izquierdo de la carretera Abancay-Cusco, los puntos más dispersos son los que tiene valores IRI alto, mientras los que están menos dispersos son los que dan mejor serviciabilidad.

Figura 32

Perfil ambos sentidos km 776+562-776+960 con rugosímetro Merlín



Nota. El perfil de los dos carriles son la variación vertical, línea azul es carril derecho línea verde carril izquierdo de la carretera Abancay-Cusco, los puntos más dispersos son los que tiene valores IRI alto, mientras los que están menos dispersos son los que dan mejor serviciabilidad.

5.2. Discusión de resultados

La discusión se realizó para comparar los resultados y verificar que estén en concordancia y condición, de las investigaciones similares, y poder tomar decisiones con los resultados del PCI y el PSI, en nuestras conclusiones y recomendaciones.

1. Del objetivo general. Se analizó el Índice de Servicio de Pavimentos (PSI) mediante la ecuación de Sayers, obteniendo para el carril derecho valores de PSI = 1,79 (muestra 1, “malo”), PSI = 2,2 (muestra 3, “regular”), PSI = 1,81 (muestra 2, “malo”) y PSI = 1,78 (muestra 4, “malo”). El PSI promedio resultó 2,0 en el carril derecho y 1,8 en el izquierdo, clasificado “malo–regular” y “malo”, respectivamente, según (AASHTO, 1993). Al compararlo con el PSI de 1,55 reportado por (Huanca, 2023), en la avenida Las Malvinas, se observa que nuestra carpeta asfáltica ofrece un desempeño ligeramente superior pero aún insuficiente. Dado que un pavimento flexible en entrega inicial debería alcanzar un PSI de 4,2 y que la (NTPU CE.010, 2010) exige un mínimo de 2,5 para vías arteriales urbanas, es claro que la carretera Abancay–Cusco requiere tanto reconstrucción, rehabilitación estructural y mantenimiento periódico, mantenimiento rutinario y programas de mantenimiento continuo para cumplir con los estándares de servicio y seguridad.

2. Del objetivo específico 1. Se determinó (IRI) con el rugosímetro Merlín, obteniendo un promedio=5,65m/km carril derecho y de 6,27 m/km el izquierdo. Estas cifras se enmarcan dentro del rango esperado para pavimentos envejecidos (2,2–6,0 m/km) según Arriaga (1998) y se asemeja con el IRI promedio de 5,46 m/km registrado por Niño (2021). Las muestras M-1 y M-3 del carril derecho mostraron 23 lecturas elevadas en el indicador Merlín (20 unidades), reflejando depresiones superficiales frecuentes algunas de hasta 14 cm y elevaciones de 16 cm. No obstante, el tramo progresivo 776+494 a 776+570 y el 776+734 a 776+758 mantuvieron una superficie más uniforme, lo que explica que la muestra

3 alcance un IRI de 4,51 m/km en contraste, la muestra 4, afectada por corrugaciones, registró el valor más alto.

3. Del objetivo específico 2. Se determinó, a partir del Índice de Condición del Pavimento (PCI), que el carril derecho de la vía Abancay–Cusco presenta una mayor conservación, con cinco muestras clasificadas como “regular”, frente a cinco muestras “malo” en el carril izquierdo. En el carril derecho predominan los daños de parcheo (22 %), seguidos de ahuellamientos (15 %), grietas de borde (14 %), pulimiento de agregados (10 %) y huecos (10 %). En el carril izquierdo, las patologías más frecuentes son huecos y parcheo (18 %), ahuellamientos (15 %), pulimiento de agregados (13 %), y grietas y corrugaciones (11 % cada una). Solo las muestras 13 y 18 alcanzaron la categoría “bueno”; el resto queda por debajo de este nivel. De acuerdo con los criterios de Vásquez (2002), el PCI prom. =35 carril derecho y 29 el izquierdo se clasifica como “malo”, lo que justifica que el 73 % del tramo requiera rehabilitación estructural y el 27 % mantenimiento rutinario. Al compararlo con el estudio de Santa et al. (2023) que obtuvo un PCI de 41,2 en Malasia (clasificado como “regular”), se reafirma que solo los tramos con PCI “malo” deben rehabilitarse-reconstruirse, mientras que los de mejor calificación pueden atenderse mediante mantenimiento periódico (parcheo, sellos superficiales y fresado) cada uno o dos años.

VI. Conclusiones

1. Del objetivo general. Se analizó que las fallas superficiales se obtuvo un PCI promedio de 35 carril derecho y 29 carril izquierdo, ambos en categoría “malo”, para el PSI se obtuvo un PSI promedio de 2,0 carril derecho y 1,8 carril izquierdo, donde la mayor parte de la vía muestra deflexión obtenido de rugosímetro. Esta combinación de índices confirma que la vía sufre irregularidades severas, derivadas principalmente de parcheos (22%), huecos (18%) y falta de mantenimiento, dado el resultado del PCI un 72% requiere reconstrucción-rehabilitación estructural, y el 28% mantenimiento rutinario y periódicos lo que demuestra que las fallas superficiales deterioran simultáneamente la serviciabilidad y la conservación.

2. Del objetivo específico 1. Se determinó que las muestras presentan un Índice de Rugosidad Internacional promedio de 5,64 m/km. La muestra 3 del carril derecho se obtuvo un IRI = 4,51 m/km, corresponde a un pavimento envejecido con depresiones menores y frecuentes. Estas irregularidades se atribuyen a la presencia de parches, huecos y corrugaciones, mientras que la única falla en la muestra 3 fue el pulimiento de agregados, manteniendo la superficie casi nivelada. El Índice de Servicio de Pavimentos (PSI) promedio resultó 1.8 en el derecho y 2 en el izquierdo, clasificados entre “malo” y “malo-regular”. Estos valores están por debajo del $PSI \geq 2,5$ por lo cual no cumple lo exigido por la norma (NTPU CE.010, 2010) por lo que se confirma que inciden negativamente en la serviciabilidad del pavimento flexible.

3. Del objetivo específico 2. Se determinó que el carril derecho en la parte final está más conservado, con cinco muestras clasificadas como “regular”, en contraste con el carril izquierdo, que registró cinco muestras “malo”. Las fallas predominantes fueron parcheo (22 % en derecho; 18 % en izquierdo), huecos (10 % y 18 %), ahuellamientos (15 % en ambos) y pulimiento de agregados (14 % y 13 %). Solo las muestras 13 y 18 alcanzaron el estado “bueno”; el resto quedó por debajo de ese nivel. Esta concentración de daños expone a la

carpeta asfáltica el ingreso de agua, acelerando el deterioro, reduciendo el rendimiento de la vía, aumentando los costos de mantenimiento, operación y el riesgo de accidentes. Dado que los tramos con PCI= “0 a 40”, entonces las fallas que son menores a clasificación de malo afectan directamente a la estructura de la vía, y los de mayor clasificación son fallas generadas en la capa de rodadura, por lo tanto, el 45% requiere de rehabilitación-reconstrucción, 27 % Rehabilitación – refuerzo estructural, 28% mantenimiento periódico y rutinario.

VII. Recomendaciones

1. Del objetivo general. Se recomienda implemente un plan integral de gestión vial, basado en el análisis cruzado de los indicadores PSI, PCI e IRI obtenidos en el estudio. Considerando que el 72 % de la vía requiere reconstrucción. Los valores promedio de PCI y PSI que se ubicaron en niveles “malos”, será indispensable establecer un sistema técnico de monitoreo continuo como recomienda Sotil (2012), que incluya inspecciones semestrales, registro de fallas y una programación anual de intervenciones. Este enfoque permitirá optimizar los recursos disponibles, mejorar los niveles de servicio y garantizar condiciones seguras y funcionales para los usuarios de la carretera Abancay–Cusco.

2. Del objetivo específico 1. Se recomienda para prolongar su PSI, se implementen acciones en mantenimiento periódico en los tramos donde los valores del PSI fueron inferiores a los mínimos establecidos por la normativa nacional ($PSI < 2.5$), como en las muestras 1, 2 y 4 del estudio, clasificadas como “malo”. Estas acciones deben incluir fresado de superficie, sellado de fisuras, corrección de baches profundos y aplicación de sobrecapas asfálticas para restituir la funcionalidad de la vía. Asimismo, es fundamental realizar un control periódico de la rugosidad con el rugosímetro Merlín, a fin de identificar tempranamente zonas críticas y programar intervenciones antes de que las fallas evolucionen hacia daños estructurales mayores.

3. Del objetivo específico 2. Se recomienda para mejorar el PCI, se priorice la reconstrucción - rehabilitación de los sectores cuyo PCI que están en un rango de “0 a 40” que en realidad abarcan el 72% de todo el tramo, en consecuencia, se debería realizar la reconstrucción del tramo crítico o la reconstrucción total de la vía. O también realizar el mantenimiento rutinario o periódico en el tramo final cerca del arco donde estos tramos todavía se mantienen en condición de regular del tramo derecho con valores promedio de 52. En estos tramos se evidenció la presencia de parcheo, huecos, ahuellamientos y

disgregación, lo cual acelera la pérdida de capacidad estructural del pavimento. Por tanto, será suficiente realizar mantenimiento periódico con técnicas como fresado superficial, bacheo localizado y sellado, lo cual permitirá conservar la estructura existente y reducir los costos de intervención a largo plazo.

VIII. Referencias

- Alarcón, K. (2018). *Evaluación del estado superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y su influencia en el confort de servicio del circuito de la explanada de Sacsayhuaman – Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional de la Universidad Andina del Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/1851>
- Arias Gonzáles, J. L. y Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación* (1.ª ed. digital). Enfoques Consulting EIRL. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- Arriaga, M., Garnica, P. y Rico, A. (1998). Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México. *Secretaría de comunicaciones y transportes*, 108(1), 1-57. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO: Guide for Design of Pavement Structures*. <https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2023). *AASHTO: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: Digital Implementation*. <https://apps.itd.idaho.gov/apps/research/Completed/RP305.pdf>
- ASTM International. (2024). *ASTM D6433-24: Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys*. <https://www.astm.org/d6433-24.html>
- Becerra, M. (2012). *Tópicos de pavimentos de concreto Diseño, construcción y supervisión*. Lima-Perú. flujo libre. P. 6. <https://www.flujolibre.com/innovacion>
- Cazau, P. (2006). *Introducción a la investigación en ciencias sociales*. (3.ª Ed). Buenos Aires, Argentina. https://educacionparatodalavida.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/10/cazau_pablo_-_introduccion_a_la_investigacion.pdf

- Chambilla, E. (2021). *Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de Merlin y el aplicativo Iri-Calc Free en la avenida Simón Bolívar, Puno* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75230>
- City and County Pavement Improvement Center. (2021). *CCPIC. Best Practices for Pavement: Pavement Condition Index (PCI). University of California Pavement Research Center*. <https://www.ucprc.ucdavis.edu/ccpic/pdf/PCI%204-Page%20final%20v2.pdf>
- Corredor, G. y Corros, M. (2010). *Maestría en vías Terrestres Módulo III, Diseño de pavimentos I, Evaluación de Pavimentos*. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/fallas-en-pavimentos1.pdf>
- Cundill, M. (1991). *Merlin: una máquina de bajo costo para medir la rugosidad de las carreteras en países en desarrollo*. Transportation Research Record. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1291vol1/1291-051.pdf>
- Del Águila Rodríguez, P. (1999). *Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión* [Ponencia]. X Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA), Sevilla, España. <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-tecnologica-de-chile/laboratorio-de-suelos-y-hormigon-i/magomerlin-importante-medicion-iri/66056634?utm>
- Federal Highway Administration. (2014). *Distress identification manual for the Long-Term Pavement Performance Program* (Fifth revised ed.; Publication No. FHWA-HRT-13-092). U.S. Department of Transportation.

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/13092/13092.pdf>

Federal Highway Administration. (2017). *Pavement performance measures and forecasting and the effects of maintenance and rehabilitation strategy on treatment effectiveness (Revised): Chapter 3. Pavement condition classification* (FHWA-HRT-17-095).

U.S. Department of Transportation.

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/17095/004.cfm>

Federal Highway Administration. (2018). *FHWA computation procedure for the pavement condition measures* (HIF-18-022). U.S. Department of Transportation.

<https://www.fhwa.dot.gov/tpm/guidance/hif18022.pdf>

Federal Highway Administration. (2022). *Appendix E: Measuring pavement roughness (HPMS Field Manual)*. U.S. Department of Transportation.

<https://www.fhwa.dot.gov/ohim/hpmsman/appe.cfm>

Flores, E. y Pilco, D. (2021). *Análisis funcional del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular, utilizando el rugosímetro de Merlín en la av. Gustavo Pinto, Tacna – 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio

Institucional UPT.

<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1760?show=full>

Freire B. (2024). *Análisis comparativo del método de PCI e IRI en la calificación de la condición actual del pavimento flexible en un tramo de la Av. Lliriana y oe2 en la ciudad de Quito* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio

Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27921>

Georgia Department of Transportation. (2025). *GDOT. Pavement Evaluation Summary (PES) Report Guidelines*.

https://www.dot.ga.gov/PartnerSmart/DesignManuals/Pavement/PES_Report_Guidelines.pdf

González, Z. y Contreras, G. (2022). *Correlación del IRI - PSI - PCI del pavimento flexible de la av. José María Arguedas del distrito de San Jerónimo - Andahuaylas 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

<https://hdl.handle.net/20.500.12394/13429>

Hermoza, A. S. (2024). *Evaluación superficial, funcional y estructural del pavimento flexible, mediante PCI, IRI y deflectometría, en la vía Platería–Acora* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Repositorio UNAP.

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23037>

Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana Editores.

Huanca, B. (2023). *Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de pavimento flexible en la Avenida las Malvinas mediante el análisis funcional aplicando el rugosímetro de Merlín – Abancay, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1446>

Kirbas, U. y Karasahin, M. (2017). *Estimación del PCI mediante datos de vibración para pavimentos de hormigón asfáltico*. <http://dx.doi.org/10.11159/icte17.114>

Kresno, A., Suprpto, A., Nur, M. y Hidayat, A. (2024). Análisis del nivel de daños en la carretera utilizando el índice de condición del pavimento (PCI) método en la autopista de peaje Surabaya-Gresik, Java Oriental. *Journal of Civil Engineering Research*, 18(2), 122–134. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.2.19811>

Macea, L. F., Morales, L. J. y Márquez, L. G. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería*,

Investigación y Tecnología, 17(2), 223-230.
<https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>

Manitoba Transportation and Infrastructure. (2024). *Manitoba pavement assessment & design manual*. Government of Manitoba.
https://www.gov.mb.ca/mti/mateng/pdf/pavement_assessment_design_manual.pdf

Metropolitan Transportation Commission. (2024). *Pavement conditions index (PCI)*.
<https://mtc.ca.gov/operations/programs-projects/streets-roads-arterials/pavement-condition-index>

Miller, J. S. y Bellinger, W. Y. (2014). *Distress identification manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fifth revised edition)* (Publication No. FHWA-HRT-13-092). Federal Highway Administration.
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/13092/13092.pdf>

Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *MEF. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras* (Primera edición).
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/Glosario%20de%20Terminos%20Uso%20Frecuente%20-%20Enero%202018.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2024). Infraestructura vial existente del SINAC. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>

- Mohamed, I., Prasetijo, J., Prasetyo, Y. D., Hartatik, N. y Rifai, A. I. (2023). Predicción de la vida útil basada en relación entre PSI e IRI para pavimento flexible. *Proceedings on Engineering Sciences*, Vol. 05(2), 267-274. <http://dx.doi.org/10.24874/PES05.02.009>
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. (2.^a Ed). Agora editores. P. 2. https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca
- Montoya, M. (2020). *Propuesta de planificación del mantenimiento de carreteras en países en desarrollo basado en sistemas de gestión de pavimentos: estudio de caso en Baja California, México* [Tesis de doctorado, Universidad autónoma de baja california – México]. Repositorio Universidad autónoma de baja California. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/1728>
- Moreno, L. A., Solórzano, L. E., Ponce, F. S. y Quimiz, A. V. (2024). Análisis del Índice de Regularidad Internacional para la Seguridad Vial en el Paso Lateral El Carmen – Manabí. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*. ISSN: 2737-6249, 7(13), 70-82. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/193>
- Niño, E. y Torres, A. (2021). *Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la av. Sáenz Peña, JLO* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/89670>
- ASTM D6433-07 (2007). *Práctica estándar para encuestas de índices de condición del pavimento en carreteras y estacionamientos*. (p. 6). <https://pages.mtu.edu/~balkire/CE5403/ASTMD6433.pdf>

Norma técnica de pavimentos urbanos componentes estructurales. (2010). *NTPU CE.010*.

https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Pavimentos_Urbanos.pdf

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J. y Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación*.

(5.ª Ed). Ediciones de la U.

http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf

Ocsa, E. (2021). *Evaluación superficial del pavimento flexible bicapa aplicando el método*

PCI, Distrito Chuquibambilla, Abra Lliullita km 68+600-73+600, Apurímac [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/62066>

Ohio Department of Transportation. (2022). *Pavement design manual* (1.ª ed.).

<https://dam.assets.ohio.gov/image/upload/transportation.ohio.gov/pavement/pdm/archive/2022-01-PDM.pdf>

Pontificia Universidad Católica del Perú. (2015). *Guía de investigación en Ciencias Sociales:*

Antropología, Ciencia Política, Sociología. PUCP.

<https://investigacion.pucp.edu.pe/wp-content/uploads/2024/04/guia-de-investigacion-en-sociales.pdf>

Pradena Miquel, M. (2006). Análisis de regularidad superficial en caminos pavimentados.

Revista de la Construcción, 5(2), 16–22.

<http://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380002.pdf>

Rodríguez, W. (2011). *Guía de investigación científica*. (1.ª Ed). Universidad de ciencias y humanidades.

https://repositorio.uclm.es/bitstream/handle/20.500.12872/23/rodriguez_arainaga_walabonso_guia%20investigacion_cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rondón, H. y Reyes, F. (2002). *Pavimentos, Materiales, Construcción y Diseño*. (1.ª Ed). Ecoe Ediciones. https://alicaresp.com/2021/07/24/pavimentos-materiales-construccion-y-diseno/#google_vignette
- Ruiz, C. B. y Valenzuela, M. R. (2022). *Metodología de la investigación* (1.ª ed. digital). Fondo Editorial, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. <https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat/catalog/view/4/5/13>
- Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. (1.ª Ed). Universidad Ricardo palma. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- Santa, H., Bulgis, B. y Madami, R. (2023). *Estudio comparativo del rendimiento entre instituciones internacionales: Índice de rugosidad (IRI), índice de condición del pavimento (PCI) y Método Bina Marga en las carreteras*. *PENA TEKNIK*, 8(2), 2052-2089. https://www.researchgate.net/publication/374161628_Comparative_Study_of_Performance_between_International_Roughness_Index_IRI_Pavement_Condition_Index_PCI_and_Bina_Marga_Method_on_Roadways
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D. y Paterson, W. D. O. (1986). *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements* (World Bank Technical Paper No. 46). The World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/851131468160775725/pdf/multi-page.pdf>
- Sigmavial. (s. f.). Tramificación de la red. <https://sigmavial.com/funcionalidades/red-vial/tramificacion-de-la-red/>

/RV DQH[RV SDQHO IRWRJUILLFR \ RWURV GRFXPHQWRV F
GLJLWDO LQVWLWXFLRQDO HQ OD %LEOLRWHF D &HQWUDC