

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Evaluación del estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03

Apurímac, ruta AP-107, según indicadores de calidad para conservación vial,

Abancay 2024.

Asesor:

Ing. Acosta Valer, Hugo Virgilio

Autor:

Trujillo Sánchez, Berkelin Nolberto

Para optar el Título Profesional: 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°: 084

En la ciudad de Abancay, a los diecinueve días del mes de **diciembre del 2025**, siendo las **11:00 am** horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 1065-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 15 de diciembre del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente	: Mag. Huanca Astoquillca, Luis
Dictaminante	: Dr. Soto Palomino, Wilfredo
Replicante	: Ing. Cayo Baca, Holguer

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación del estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según indicadores de calidad para conservación vial, Abancay 2024

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Trujillo Sánchez, Berkelin Nolberto

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 (**)
Trujillo Sánchez, Berkelin Nolberto	Aprobado

Siendo las **13:15pm** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquillca, Luis

Dictaminante: Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Replicante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Abancay 24 de diciembre del 2025

Se expide la presente conforme al libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 388

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 Trellas N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) **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.

Reporte de similitud






23% Similitud general

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

Filtrado desde el Informe

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

Fuentes principales

- 19%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 19%  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	: Trujillo Sánchez Berkelin Nolberto
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 77382239
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0001-6550-2357
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Acosta Valer Hugo Virgilio
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 31036555
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0003-1492-0441
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela profesional	: Ingeniería Civil
Línea de investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rangos de años en que se realizó la investigación	: En el año 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 23 %
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi madre, Yolanda Sánchez Domínguez quien me enseñó a no rendirme en las peores situaciones que pase, mi motivación de niño para cumplir objetivos. A mi padre, Eber Trujillo Chullca por infundir en mí el entusiasmo por la ingeniería, su entrega y aliento a no rendirme ha sido el estímulo para plantearme nuevos propósitos. A mis hermanas, a quienes valoro profundamente y reconocer enormemente su respaldo en los últimos años complicados que me tocó estar en calidad de familia.

Agradecimientos

Deseo comenzar esta parte agradeciendo a los ingenieros de la empresa consorcio Tintay, quienes me respaldaron constantemente en el progreso del proyecto mediante sus saberes y sugerencias para alcanzar con éxito y satisfacer todos los objetivos establecidos. Además, quiero expresar mi agradecimiento por su compañía y por compartir conmigo el impulso y el entusiasmo que siempre tienen, sin duda he adquirido conocimiento de Uds. Seguidamente quiero agradecer al ing. Acosta Valer Hugo Virgilio, por sus aportes con gran experiencia, conocimiento, recomendación y con su inquebrantable dedicación durante el transcurso de la investigación. También quiero agradecer a todos los ingenieros, compañeros de la casa de estudios de la escuela de ingeniería civil profesionales destacados, a quienes dedicamos varios periodos de estudio, compartiendo saberes y experimentando de sus vivencias, les deseo siempre lo mejor. Asimismo, agradezco a todas las personas que me cruce por su camino y que me apoyaron y alentaron a terminar mi proyecto. Y finalmente agradezco a mi familia por su apoyo constante.

Resumen

La presente tesis como objetivo principal es determinar el estado de conservación del micropavimento mediante el uso de los indicadores de calidad del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107. Con un diseño transversal no experimental y un alcance descriptivo, la metodología fue de enfoque cuantitativo y de investigación aplicada. Para esto se realizó el relevamiento de información tanto superficial, funcional y estructural a través de procedimientos descritos en la normativa. La parte evaluada abarca una longitud de 10 kilómetros que está entre el km, 6+000 y 16+000 con un ancho media de carretera de 3.80 metros y la superficie asfáltica es micropavimento. Para la evaluación superficial se utiliza el índice de condición del pavimento (PCI) inspeccionando visualmente todos los defectos y grado de gravedad. Para la evaluación funcional se empleó el índice de rugosidad internacional (IRI) que consistió en medir las deformaciones de la superficie de rodadura en una longitud. Y para la evaluación estructural se utilizó el índice de deflexiones con el equipo deflectómetro de impacto liviano (LWD), que consistió en aplicar el impacto de una masa sobre el pavimento, siendo una de las opciones más efectivas para comprender los módulos de las capas del pavimento. Los resultados para el PCI se obtuvieron un valor de 50; para el IRI se consiguió un valor de 4.14 m/km y un índice de serviciabilidad presente (PSI) de 2.79. Y finalmente la deflexión obtenida fue 188.76 μm .

Palabras clave: micropavimento, indicadores de calidad, conservación vial

Abstract

The main objective of this thesis is to determine the state of conservation of the micropavement using quality indicators for corridor No. 3 in Apurímac, route AP-107. Using a non-experimental cross-sectional design and descriptive scope, the methodology used was quantitative and applied research. To this end, surface, functional, and structural information were collected using procedures described in the regulations. The evaluated section covers a length of 10 kilometers, between km 6,000 and km 16,000, with an average road width of 3.80 meters, and a micro-surfaced asphalt surface. For surface evaluation, the Pavement Condition Index (PCI) was used, visually inspecting all defects and their severity. For functional evaluation, the International Roughness Index (IRI) was used, which consisted of measuring the deformations of the rolling surface along a length. For the structural evaluation, the deflection index was used with the Light Impact Deflectometer (LWD), which involves applying the impact of a mass on the pavement. This is one of the most effective methods for understanding the modulus of the pavement layers. The PCI results were 50; the IRI was 4.14 m/km; and the PSI was 2.79. The final deflection was 188.76 μm .

Keywords: micropaving, quality indicators, state of conservation

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	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.....	17
2.1. Descripción y formulación del problema.....	17
2.2. Objetivos	20
2.2.1. Objetivo general	20
2.2.2. Objetivos específicos.....	20
2.3. Justificación e importancia	21
2.4. Hipótesis	22

2.5. Variables	22
III. Marco teórico.....	24
3.1. Antecedentes	24
3.2. Bases teóricas.....	35
3.3. Definición de términos.....	105
IV. Metodología	109
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	109
4.2. Ámbito temporal y espacial	110
4.3. Población y muestra.....	110
4.4. Instrumentos.....	111
4.5. Procedimientos.....	112
4.6. Análisis de datos	113
4.7. Consideraciones éticas	114
V. Resultados y discusión	115
VI. Conclusiones	126
VII. Recomendaciones	127
VIII. Referencias.....	128
IX. Anexos	140

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	23
Tabla 2 Calificación del PCI	37
Tabla 3 Nivel de severidad según diámetro y profundidad de los baches.....	50
Tabla 4 Tamaño de la muestra.....	56
Tabla 5 Formato de las iteraciones de cálculo del CDV	60
Tabla 6 Equipos empleados para la medición del IRI	79
Tabla 7 Valores y rangos característicos del IRI en relación con el PSI.....	88
Tabla 8 Nivel de capacidad de servicio	89
Tabla 9 Categoría de acción	100
Tabla 10 Rugosidad de una carretera.....	101
Tabla 11 Escala del índice de calidad y servicio	103
Tabla 12 Resumen Estadístico de las Deflexiones Obtenidas	120
Tabla 13 Cálculo de Deflexión admisible	122
Tabla 14 Condición estructural del pavimento	122

Índice de figuras

Figura 1 Escala de Gradación tubería lateral inclinada hacia abajo.....	37
Figura 2 Daño agrietamiento por fatiga o piel de cocodrilo.....	39
Figura 3 Daño exudación.....	40
Figura 4 Daño agrietamiento en bloque	41
Figura 5 Daño de hundimiento y abultamiento	42
Figura 6 Daño de corrugación	43
Figura 7 Daño de depresión.....	44
Figura 8 Daño de grietas de borde.....	45
Figura 9 Daño grietas de reflexión de junta	46
Figura 10 Daño de desnivel de calzada y berma	47
Figura 11 Daño de grietas transversales y longitudinal.....	47
Figura 12 Daño de parcheo.....	48
Figura 13 Daño de pulimiento de áridos	49
Figura 14 Daño huecos.....	50
Figura 15 Daño de ahuellamiento.....	51
Figura 16 Daño de desplazamiento	52
Figura 17 Daño por grieta parabólica o por deslizamiento	53
Figura 18 Daño de hinchamiento	54
Figura 19 Daño de desprendimiento de áridos	55
Figura 20 Daño de cruce de vía férrea.....	56
Figura 21 Ajuste de número del valor deducido	59
Figura 22 Valor de deducción del pavimento asfaltico corregido.....	61
Figura 23 Software - Eval-Pav	62
Figura 24 Unidad de muestreo	63
Figura 25 Modelo matemático del cuarto de carro.....	69

Figura 26 Diagrama de cuerpo libre de las masas del sistema.....	70
Figura 27 Nivel y mira topográfico	73
Figura 28 Equipo Disptick.....	74
Figura 29 Equipo Perfilógrafo de California.....	75
Figura 30 Equipo tipo respuesta (RTRRMS)	76
Figura 31 Equipo MERLIN.....	77
Figura 32 Perfilómetro Inercial	78
Figura 33 Prototipo de rugosímetro Merlín.....	80
Figura 34 Escala utilizada para medir el grado de difusión de las variaciones de la carpeta de la vía con relación al nivel estándar.....	81
Figura 35 Medición de las variaciones con respecto a la cuerda media de la plataforma de la vía	82
Figura 36 Gráfico que muestra la distribución de frecuencias de las 200 desviaciones medidas secuencialmente de la muestra	83
Figura 37 Partes del Deflectómetro de impacto liviano	91
Figura 38 Niveles de servicio para calzada	98
Figura 39 Escala IRI de rugosidad de la calzada para distintos tipos de carretera (m/km)	102
Figura 40 Parámetros de aceptabilidad global basados en los niveles de servicio.....	104
Figura 41 Recopilación de información in situ	112
Figura 42 Índice de Condición del Pavimento - PCI.....	115
Figura 43 Fallas en la superficie asfáltica	116
Figura 44 Índice de Regularidad Internacional IRI.....	117
Figura 45 Índice de serviciabilidad presente PSI	118
Figura 46 Gráfico de deflexiones	119
Figura 47 Modulo Elástico Retro analizado.....	120
Figura 48 Número Estructural Efectivo SNc	121

Índice de anexos

Anexos 1 Matriz de consistencia.....	141
Anexos 2 Operacionalización de variables	143
Anexos 3 Resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	145
Anexos 4 Resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	171
Anexos 5 Resultados del retrocálculo de medición de deflexiones con LWD	227
Anexos 6 Formato de instrumento de recolección de datos.....	237
Anexos 7 Certificado de calibración de los equipos	240
Anexos 8 Panel fotográfico	244

I. Introducción

En la actualidad, los micropavimentos intervenidos presentan características de desgaste normal como son las fisuras, ya que estas son deterioros normales que aparecen en todo tipo de vías intervenido con superficie asfáltica, así afectando la comodidad y seguridad vial en el momento de la circulación, prácticamente la transitabilidad. Esto se debe principalmente por el desinterés y una mala gestión de pavimentos por parte de las entidades responsables de su mantenimiento en estos corredores viales. El objetivo de la tesis es determinar el estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según los indicadores de calidad para conservación vial, Abancay, 2024. Se justifica porque la existencia de estudios previos y en la aplicación de normativas establecidas para establecer la situación del pavimento de la mencionada ruta, es decir determinar el indicador superficial, funcional y estructural de esta ruta AP-107 intervenido con micropavimento y, así mismo para proporcionar información actualizada, brindar recomendaciones y la toma de decisiones a los responsables de la conservación y gestión de la ruta AP-107; las técnicas para recopilar datos se desarrollaron en dos fases: en la oficina y sobre el terreno de la vía. Con un diseño transversal no experimental y un alcance descriptivo, la metodología fue de enfoque cuantitativo y de investigación aplicada; la población fue de 10 kilómetros de 63.381 específicamente que empieza en el km. 6+00 al 16+00.

La investigación estructuralmente está desarrollada en la introducción, planteamiento del problema donde abordaremos la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema, los objetivos, la variable e hipótesis; luego para el marco teórico consideraremos los antecedentes del problema, sus bases teóricas y la definición de términos; luego en la metodología definiremos el tipo y nivel de investigación, el campo

temporal y espacial, la población, la muestra, los instrumentos, el procedimiento, el análisis de información y por último las valoraciones éticas; y continuamos finalmente con los resultados, la discusión, las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Finalmente, en ese sentido el proyecto actual es establecer una alternativa estratégica de mantenimiento de los puntos críticos con zonas específicas en estado deficiente que requieren intervención superficial, funcional y/o estructural de esta vía con la finalidad de establecer un seguimiento del momento actual del pavimento para su conservación vial.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La infraestructura vial de los países es esencial para impulsar el progreso social y económico del territorio; por lo tanto, resulta necesario orientar los esfuerzos hacia la investigación de modernos instrumentos y procedimientos que permitan maximizar la vida útil y optimizar los recursos destinados a la rehabilitación de la red vial, contribuyendo así a mejorar la conectividad y la calidad de vida de los usuarios (Valverde y Barrantes, 2019). Los métodos de evaluación de pavimentos se utilizaron para analizar y registrar información sobre el estado de la vía, sirviendo como herramientas de apoyo para conocer, controlar y mejorar su condición actual. Asimismo, permiten evaluar la efectividad de las tareas de mantenimiento y/o rehabilitación a lo largo del proceso de intervención, lo que hace necesaria su actualización periódica (De Solminihac et al., 2018).

Los países de Chile y Ecuador se situaron en la primera y segunda posición, respectivamente, en el ranking de las mejores vías de América Latina, según la (CNN Español, 2018). En contraste, Paraguay y Haití se posicionaron en el penúltimo y último puesto, respectivamente, en el ranking de las peores vías. Así mismo, nuestro país Perú se posicionó en el puesto número 14, lo que evidencia que la calidad de la infraestructura vial del país se encuentra en una condición deteriorada.

En este sentido, se requiere estudios adecuados para determinar el estado de conservación de los micropavimentos, siendo la auscultación de pavimentos una herramienta fundamental. El primer indicador corresponde a la evaluación funcional, la cual permite determinar el nivel de comodidad y seguridad vial del usuario, principalmente a través del análisis de la uniformidad superficial. Asimismo, se considera la evaluación superficial, que se realiza mediante la identificación de los defectos y daños presentes en la vía, evaluando

su tipo, severidad y cantidad. Finalmente, se incorpora el índice de evaluación estructural, el cual determina las deflexiones del paquete estructural del micropavimento y permite estimar los módulos de elasticidad de cada capa. Una vez determinados estos indicadores, es posible definir el estado actual del pavimento y proponer un tipo de solución adecuado, ya sea de mantenimiento y/o rehabilitación, que garantice un desempeño durable a largo plazo, preferentemente superior al período de diseño (Fernández, 2021).

Según el programa Proregión (2024), el objetivo en la infraestructura de transporte es mejorar la red vial subnacional en las rutas principales de transporte de carga, mediante la aplicación de estándares de diseño adecuados para que garanticen una infraestructura segura, con adecuada vialidad, una conservación y mantenimiento. Esto permitirá una correcta conexión entre los centros de producción, los centros de acopio, los corredores logísticos, los principales centros poblados y distritos adyacentes, conformando una malla vial lo suficientemente densa como para impulsar el desarrollo local y regional, acercar los mercados y facilitar la atracción de nuevas inversiones.

Asimismo, Proregión contempla intervenir cerca de 15.000 km de la red vial regional, a partir de la ejecución de contratos de mejoramiento a nivel de soluciones básicas y conservación por niveles de servicio. Dado el alcance del Programa, su ejecución se ha planteado por fases, siendo la primera fase en 4,872.9 km aproximadamente. Hasta la actualidad el programa Proregión tiene 42 corredores viales alimentadores (CVA). En ese contexto, el presente estudio se enfoca en el CVA N°03 (Apurímac), el cual tiene una longitud total de 241.43 km y comprende las siguientes rutas: AP-107 (63.381 km), AP-108 (76.485 km) y AP-109 (101.382 km).

A nivel local, la ruta AP-107 presenta un ancho promedio de calzada que varía entre 3.20 m y 4.00 m, y actualmente está intervenido a nivel de micropavimento como solución

básica en tramos originalmente no pavimentados. La ruta AP-107 es una carretera departamental que une las provincias de Andahuaylas y Aymaraes, cuyo desarrollo longitudinal se describe a continuación: El tramo se inicia en el empalme con la carretera PE-30B (Huancabamba – km 0+000). Las progresivas del km. 0+000 al 2+080 se observa la presencia de edificaciones de viviendas de adobe y estructuras de concreto armado. Asimismo, las progresivas del km 0+068 al km 0+100, la vía cuenta con un pavimento rígido en una distancia aproximada de 32m, correspondiente a una zona urbana. En la progresiva km 16+000 se localiza la laguna Suytucchocha, cuyas coordenadas geográficas son latitud -13.82599 y longitud -73.27463, a una altitud aproximada de 4.272 m.s.n.m. Entre las progresivas del km 22+800 y km. 23+910 se encuentra la mina Ancasillay. Posteriormente, por la progresiva del km 41+450 al km 43+700, se ubica el centro poblado de Cayhuachahua, caracterizado por edificaciones de adobe, zonas agrícolas y áreas de cultivo. Continuando el recorrido, en la progresiva km 48+910 se localiza la intersección de acceso al distrito de Lucre, la cual se encuentra alejada del casco urbano. Más adelante, entre las progresivas km 55+012 y km 55+357, se ubica el distrito de Tintay, donde la calzada presenta pavimento rígido en una distancia aproximada de 345m. A partir de ese punto, la carretera continua como una vía estrecha con superficie de micropavimento, atravesando zonas predominantemente agrícolas, con incremento progresivo de edificaciones de vivienda, hasta llegar al centro poblado de Pampatama y al finalizar en el empalme con la carretera PE-30A (Dv. Tintay), en la progresiva 63+381.

El problema de estudio de mayor relevancia se identifica en el tramo comprendido entre los hitos kilométricos del km 6+000 al km 16+000, el cual presenta un deficiente estado de transitabilidad, evidenciando por la presencia de baches, peladuras, desprendimiento y otros tipos de deterioro.

2.1.1. Problema general

- ¿Cuál es el estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según los indicadores de calidad para conservación vial, Abancay 2024?

2.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el estado superficial del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según el índice de condición del pavimento, Abancay 2024?
- ¿Cuál es el estado funcional del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según el índice de rugosidad internacional, Abancay 2024?
- ¿Cuál es el estado estructural del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según el índice de deflexiones, Abancay 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- ✓ Determinar el estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según los indicadores de calidad para conservación vial, Abancay 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el estado superficial del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según el índice de condición del pavimento, Abancay 2024
- ✓ Determinar el estado funcional del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según el índice de rugosidad internacional, Abancay 2024.

- ✓ Determinar el estado estructural del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, según el índice de deflexiones, Abancay 2024.

2.3. Justificación e importancia

La presente investigación surge de la necesidad de conocer el estado situacional de la superficie de rodadura (micropavimento) de la ruta AP-107 que conecta Andahuaylas y Aymaraes, mediante evaluaciones detalladas. La relevancia de este estudio se fundamenta en su impacto social, económico y técnico, ya que permitirá mejorar la transitabilidad, beneficiando directamente a la entidad responsable. Además, contribuirá al ámbito de la seguridad vial, la circulación de vehículos y peatones, así como al incremento de los flujos comerciales, al proporcionar información sobre la condición, rugosidad, serviciabilidad y deflexiones de la carretera. Esta investigación se justifica en la existencia de estudios previos y en la aplicación de normativas establecidas para demostrar la circunstancia de la vía de la mencionada ruta. El aporte científico y técnico de este estudio radica en la actualización de información sobre la circunstancia actual de la superficie asfáltica (micropavimento) de la ruta AP-107 en Andahuaylas y Aymaraes, brindando recomendaciones útiles y proponer un adecuado tipo de solución como el mantenimiento y/o rehabilitación que sea durable a largo plazo para los responsables de la conservación y gestión de la ruta AP-107.

Según WebinarTDM (2020) los avances tecnológicos en el ámbito de soluciones básicas en carreteras no pavimentadas se utilizan generalmente el micropavimento que es un asfalto en frío que se usa emulsiones de agrietamiento controlado, que combina el uso de los polímeros y la emulsión asfáltica modificada con los beneficios de una aplicación sencilla de un curado rápido y una apertura al tránsito breve. Se utilizan emulsiones de rotura controlada, implica el uso de polímeros elastoméricos para modificar la tecnología de las

emulsiones asfálticas. La combinación de estos atributos da lugar a un método muy eficaz duradero y asequible para aumentar la vida útil del pavimento.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- El uso de los indicadores de calidad permite determinar el estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, Abancay 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El índice de condición del pavimento permite determinar el estado superficial de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, Abancay 2024.
- El índice de rugosidad internacional permite determinar el estado funcional de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, Abancay, 2024.
- El índice de deflexiones permite determinar el estado estructural de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac, ruta AP-107, Abancay, 2024.

2.5. Variables

Variable independiente (VI): Indicadores de calidad

Variable dependiente (VD): Estado de conservación del micropavimento

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable independiente:	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medición	Escala de medición
Indicadores de calidad	La evaluación de pavimentos se refiere a un análisis, donde se realiza una investigación donde se examinan los pavimentos; describe la condición actual de la estructura y superficie del pavimento, con el fin de tomar las acciones correctas de conservación y mantenimiento, con el objetivo de extender la durabilidad del pavimento. (Leguía & Pacheco, 2016).	Parámetros de desempeño (daños, severidad, rugosidad, serviciabilidad y deflexión) están basados en el análisis de las características superficiales y estructurales del pavimento.	Índice de Condición del Pavimento (PCI)	19 fallas Grado de severidad	Formato ASTM D 6433	Nominal
			Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	Rugosidad Seviciabilidad	Formato Merliner ASTM E 867-06	m/km
			Índice de Deflexiones	Deflexión Característica Deflexión Admisible	Manual LWD Dynatest ASTM E 2583 07	Nominal
Variable dependiente:	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medición	Escala de medición
Estado de conservación del micropavimento	La condición general de la conservación de la superficie de rodadura y el paquete estructural de una vía pavimentada. (Aranibar & Saavedra, 2019).	Parámetros de desempeño que indica la descripción general de los niveles de servicio de la vía.	Estado superficial Estado funcional Estado estructural	Excelente Bueno Regular Mala Deficiente	Guía metodológica de recolección de datos	Nominal

Nota. De la tabla se describe las definiciones de las variables, sus dimensiones e indicadores de cada uno, asimismo el instrumento y escala de medición de cada variable mencionada.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Dentro de los antecedentes internacionales, tenemos que según lo presentado por Ramos y Ramos (2023), en su investigación titulada “Evaluación del pavimento flexible mediante el método PCI y propuestas de mejora de la Av. Pedro Sayán – Barranca, 2021”, se tuvo como principio evaluar la circunstancia superficial de la superficie asfáltica por medio del método PCI. La población y muestra de investigación incluyó la Av. Pedro Sayán- Barranca desde la progresiva 0+00 al 0+976,5. La metodología de tipo fue aplicada de nivel descriptivo y un diseño no experimental transversal. El método se basó en el PCI. Los resultados y conclusiones revelaron que se obtuvieron un PCI de 58.25 indicándonos que la condición superficial es “bueno” en todo el tramo estudiado; así mismo el tesista obtuvo un 29.0% del total de un nivel “excelente” y las enfermedades más severas se mostraron la grieta longitudinal, huecos y el desprendimiento de agregado con un nivel de severidad baja y finalmente se encontraron 325 fallas en todo el tramo evaluado. El autor y sus recomendaciones fueron rehabilitar la vía de estudio donde se hagan trabajos de fresado, relleno grietas, etc. Y de las fallas predominantes que fueron las grietas transversales y longitudinales recomendó realizar un recapeo.

También, Ferrer y Reyes (2025), en su tesis titulada “Evaluación del estado del pavimento flexible en la avenida Juan Velasco Alvarado – sector porvenir, distrito de Pativilca, 2022”, tuvieron como objetivo determinar el estado del pavimento asfáltico. La población de objeto de estudio consistió en la Avenida Juan Velasco Alvarado. La muestra de investigación abarcó un trayecto de 750 metros con un ancho de 6.50 metros del sector el Porvenir. En el

estudio se emplearon las metodologías del PCI y calicatas para determinar las características mecánicas del suelo de cada capa de la estructura de la vía. Los resultados mostraron que, en los 25 grupos de muestra de su integridad fue de 34.86 indicándonos la condición superficial mala; y también de las 2 calicatas que se realizaron se hicieron todos los ensayos de mecánica de suelos en la capa de la base arrojando resultados del % de material que pasa de la grava de un 60%, arena 32% y finos de 6% variando con respecto a la otra calicata en un +- 2%, también realizó los límites de Atterberg indicándonos que no existe LP e IP en las 2 calicatas, así mismo la clasificación de suelos dieron el mismo resultado como una grava bien graduada GW y A-1 (0), también el porcentaje de humedad fue 5 y 7 por ciento y por último el CBR obtenido de ambas calicatas al 95% fue de 45% indicándonos una excelente capacidad de carga. El autor concluyó que con el método del PCI y los ensayos de laboratorio de la base y subrasante se hallan en mal estado deteriorado, también realizó una sugerencia técnica indicando 7.5 cm de superficie asfáltica, 15 cm para una base y por último 20 cm para una sub base. Y por último el autor recomienda la intervención de estas zonas con puntos críticos y también recomienda que se realice un procedimiento de ensayo para los materiales y que estándar con la finalidad de reflejar una transparencia en los resultados.

Además, para Flores y Mogrovejo (2023), en su artículo de investigación titulada “Evaluación funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador”, realizada en la Universidad de Cuenca de Ecuador, se propuso evaluar el estado funcional de la superficie asfáltica en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador. La materia de investigación abarcó entre Mejía y Pechiche, y la muestra se localizó específicamente en una vía rural de 5500 m y un ancho de 6.40 m. El enfoque de la investigación se describe como tipo exploratorio y de un diseño experimental, utilizando el PCI para evaluar el estado de la superficie asfáltica y

también el IRI para calcular la funcionalidad de la vía. Los resultados revelaron que las fallas más incidentes fueron seis daños siendo la fisura longitudinal con un 22.86% y con menor incidencia la fisura por deslizamiento con 8.57% del tramo analizado, y así mismo obteniendo un PCI de 77 indicándonos que la condición superficial de las once unidades de muestra es “muy bueno”, también el IRI se obtuvo un valor de 4 m/km indicando que el estado funcional de la vía es “regular” y también por último el valor del PSI fue 2 diciéndonos que está en “regular” la vía de estudio. De las conclusiones que el autor menciona que se ha reconocido todas las fallas funcionales presentados en la red vial rural de Portoviejo; así mismo esta investigación brinda información detallada respecto al deterioro y así las autoridades deben designar recursos para su conservación de la vía y generar mayor seguridad y confort en la vía. Las recomendaciones que el tesista indica fue realizar un mantenimiento correctivo, preventivo y hasta un repapeo para mitigar y reducir los costos del mantenimiento.

Por otro lado, Baque (2020), en su artículo “Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí.”, este se enfocó en examinar la condición de la superficie asfáltica en la autopista del tramo 2, Puerto Aeropuerto, localizada en Manta, provincia de Manabí, Ecuador. El estudio abarcó una población y muestra comprendida entre la glorieta del Parque del Marisco, con una distancia de 3600 metros y una largura de 17,5 metros, y la glorieta del Aeropuerto. Este trabajo de investigación se estableció como descriptivo, observacional y no experimental, utilizando la metodología del índice de condición del pavimento – PCI. Los resultados revelaron que el estado de la calzada objeto de investigación se alcanzó un valor de 49, ubicándose en la categoría Regular. Respecto a la frecuencia de un suceso, esta técnica encontró doce tipos distintos de fallas entre los 26 grupos de la muestra, siendo el desgaste de agregado el más predominante

con un 78,28%. Otros tipos de fallos incluyeron agrietamiento por fatiga (4,51%), áridos pulidos (4,11%), grietas en bloques (3,96%), grietas longitudinales y/o transversales (3,24%), parcheo (2,27%), grietas de bordes (1,35%), subida y depresiones (0,84%), bacheo (0,65%), depresiones (0,40%), ondulación (0,36%) e hinchazón (0,03%). Por último, el investigador concluyó que la vía requiere únicamente un mantenimiento mínimo, el cual debería llevarse a cabo en toda el área de un segmento si previamente se han realizado reparaciones menores. Esta recomendación se basa en que solo un tipo de falla en la ruta considerada posee un porcentaje considerable de todos los tipos de falla identificados: el desprendimiento de áridos.

Finalizando los estudios realizados, según Castro et al. (2020), en su investigación titulada “Propuesta de empleo de diferentes tecnologías de capa de rodadura para pavimento flexible y en reforzamiento con diferentes tipos de sellado usando el equipo de riego con *slurry seal* y micropavimento de la prefectura del Guayas”, realizada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, tuvieron como objetivo evaluar enfoques alternativos para la reparación de pavimentos asfálticos, incluyendo el uso de herramientas del micropavimento y de riego con *slurry seal* en carreteras rurales. La población y la muestra de estudio fueron los caminos rurales controlados por las prefecturas de Guayas. La metodología utilizada fue la ISSA (*International Slurry Surfacing Association*) para un diseño adecuado, comparando el riego de *slurry seal* y micropavimento. La tesis se enmarcó en un nivel descriptivo y correlacional, empleando un enfoque cuantitativo, con un nivel de tipo básica y un diseño transversal no experimental. Los resultados y conclusiones obtenidos indican que las técnicas de conservación evaluadas tendrán un impacto significativo en la conservación y vida útil de las carreteras. Se ha demostrado que el enfoque preventivo proporciona mejores resultados y protección para los programas de mantenimiento, lo que aumenta la satisfacción del usuario y reduce el impacto ambiental. Para

temperaturas superiores a 10 °C, el uso de lechadas asfálticas convencionales (*slurry seal*) o modificadas con polímeros (*micro pavement*) no presenta problemas. Sin embargo, cuando las temperaturas superan los 35 °C, es necesario el uso de aditivos, considerando las cualidades mecánicas que los polímeros aportan a la mezcla asfáltica como la opción de tratamiento óptima. Desde el punto de vista económico, se observó un ahorro del 58,52% y el 50,57% para los tratamientos de *slurry seal* y micropavimento, respectivamente, en comparación con los tratamientos superficiales típicos.

3.1.2. Antecedentes a nivel nacional

En el ámbito nacional tenemos que Mamani y Paredes (2024), en su trabajo de tesis titulado “Evaluación superficial y serviciabilidad del pavimento flexible de la carretera costanera tramo (km 3+000 – km 8+000), distrito de Tacna, provincia Tacna – 2023”, llevado a cabo en la Universidad Privada de Tacna, teniendo como objetivo determinar la evaluación superficial y serviciabilidad de la superficie asfáltica. La población de la tesis se consagro en la provincia de Tacna, mientras que el grupo de estudio definida por el autor incluyó cinco kilómetros que inicia en el km 3+00 al 8+00. El estudio se diseñó como no experimental transversal, de un tipo básico, aplicando el Abakal IRI más el método PCI. Los resultados obtenidos por cada tramo de 100 metros mostraron un IRI medido de la derecha que varía desde 1.6 m/km hasta un 2.7 m/km; así para el IRI izq varía el rango de 1.8 m/km a 1.3 m/km, señalando una condición favorable. Asimismo, un PCI en todo el tramo evaluado de 77.61 indicándonos una condición superficial muy bueno. El autor concluyó que, mediante el IRI prom. obtenido fue de 1.97 m/km y está en una categoría de bueno y un PCI de un valor de 77.61 y por último un PSI de 3.50 aplicando el Abakal IRI lo que se evidencia una

“serviciabilidad buena”. También el autor recomienda realizar parchado superficial y sellado de fisuras de acuerdo a la regularidad de la vía; también sugiere a los responsables de su gestión de realizar un mantenimiento a pesar de haber obtenido un PCI muy bueno.

También, para Vilca y Cuba (2020) en su investigación titulada “Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y Deflectometría en las Avs. Floral y el Sol de la ciudad de Puno 2019” realizada en la Universidad Nacional del Altiplano, tuvo como propósito fundamental determinar la condición superficial, funcional y estructural de la vía asfáltica. La población y modelo de estudio abarcó la avenida el Sol y Floral de una longitud de 2.08 km y 1.2 km respectivamente de la ciudad de Puno. El diseño de la investigación se clasificó como no experimental con nivel descriptivo. Los métodos aplicados según el tesista fueron el PCI, el IRI con el modelo Merlin y la Deflectometría con el instrumento de la viga Benkelman. Los resultados obtenidos mostraron que para el primer objetivo de la Av. Floral en la calzada derecha e izquierda fue de 25 y 22 indicando que se encuentra “malo” y “muy malo” correspondientemente; y para la Av. El Sol obtuvo un resultado de la calle derecha es 13 e izquierda es 15 indicando ambos una cualificación de “muy malo”. El segundo resultado para el IRI en la Av. Floral para la vía de lado derecho oscila entre 4.27-6.40 m/km y el izquierdo entre 4.36-7.72 m/km; también para la Av. El Sol la vía del lado derecho oscila entre 3.54-6.14 m/km y para el izquierdo entre 4.16-6.28 m/km. Y por último para el tercer resultado la deflexión en la Av. Floral para la calzada derecha e izquierda es $117.28 \cdot 10^{-2}$ y $106.78 \cdot 10^{-2}$ respectivamente y para la Av. El Sol la deflexión en el lado derecho e izquierda es $110.99 \cdot 10^{-2}$ y $103.71 \cdot 10^{-2}$ respectivamente. Las conclusiones del investigador fue que la vía de estudio tiene una condición deficiente y requiere rehabilitación, también la regularidad de la vía con el equipo Merlin es mayor a 3.5 m/km indicativo que la funcionalidad no es buena, igualmente para la

deflectometría con el equipo de viga Benkelman que los valores de la deflexión característica es mayor que los valores de la deflexión admisible indicativo que la vía está en malas condiciones estructurales. Las recomendaciones por el tesista nos indican que se debe realizar un mayor control de calidad de los materiales que se aplican en el desarrollo constructivo, también sugiere el investigador que se deberá tomar decisiones como el mantenimiento como el microfresado y una consolidación estructural o una reconstrucción en su totalidad de todos puntos críticos y, que sean atendidos por la entidad responsable.

Así mismo, para Aguilar y Santa Cruz (2021) en su estudio e investigación titulada “Evaluación y conservación de pavimentos flexibles mediante los índices de desempeño PCI y VIZIR en la carretera Huanchaco entre el tramo km 11+200 hasta el km 13+100, Trujillo 2021”, para la Universidad Privada del Norte, tuvo como meta examinar y mantener el pavimento flexible utilizando los índices de rendimiento PCI y VIZIR en la vía de Huanchaco, específicamente desde el km 11+200 al km 13+100. La población de estudio fue la propia carretera de Huanchaco, con una longitud total de 1900 metros y dos carriles a ambos lados, y la muestra se tomó en toda la longitud en una fracción de 100 metros. El estudio se caracterizó como no experimental y cuantitativo-cualitativo, utilizando el método VIZIR y el PCI como metodologías. Los resultados mostraron que la calificación predominante de la carretera según el método PCI fue “Muy bueno”, con un valor típico de 73, aunque para la técnica VIZIR se le otorgo una clasificación de estado “Condición buena” con una cuantificación de “2”. Las patologías más preeminentes identificadas fueron el desgaste de agregados para el método PCI y el bacheo y zanjas reparadas para la metodología VIZIR. Se concluyó que ambas vías requerían el procedimiento de *slurry seal* para prolongar la vida útil del pavimento, con un costo directo total para ambas calzadas de S/. 51,471.00. Además, se determinó que el enfoque PCI

era más eficaz en términos de fiabilidad, y se propuso un plan de mantenimiento, restauración y preservación del pavimento flexible para ambas carreteras, utilizando el procedimiento *slurry seal*.

Por otra parte, para Mamani y Pilco (2021) en su investigación titulada “Evaluación estructural por deflectometría e IRI para determinar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación - Puno, 2021”, para la Universidad César Vallejo, tuvo como propósito principal evaluar la capacidad estructural de la superficie asfáltica en la avenida Circunvalación para estimar su vida útil restante. La población de estudio abarcó la avenida Circunvalación de la ciudad de Puno, con una longitud de 5,0 km, mientras que la muestra se concentró en la avenida Leoncio Prado hasta la avenida Sayhuani, con una longitud de 2 km, desde el km 0+740 hasta el km 2+740. El enfoque de la investigación fue cuantitativo y explicativo, con un diseño cuasi experimental. Se utilizaron dos metodologías de estudio: la evaluación de la Viga Benkelman y el Índice de Regularidad Internacional (IRI). Los resultados mostraron un índice de rugosidad del pavimento flexible de 4,14 m/km, indicando un deterioro parcial, lo que sugiere que ha superado su vida útil. La prueba de deflectometría de la viga Benkelman reveló un grave estado estructural. Se concluyó que la mejora de la vida útil restante mediante juntas asfálticas sería la intervención más adecuada para el mantenimiento de las carreteras. Además, se determinó que el pavimento de la Av. Circunvalación tenía una condición buena, aunque con signos de envejecimiento, con una rugosidad media en ambos carriles de 4,11 m/km y 4,16 m/km, correspondiente. En resumen, se recomendó una estrategia de conservación periódica para corregir la estabilidad estructural de la vía antes de aplicar sellados de refuerzo asfáltico de 3,5 cm de espesor, debido a los defectos estructurales revelados por las pruebas IRI y Viga Benkelman.

Igualmente, para Farfan (2022) en su tesis “Deflectómetro de impacto liviano y viga Benkelman para el análisis de deflexiones en pavimentos básicos con *slurry seal*, carretera Pischa – Pacaycasa, 2022”, para la Universidad Nacional del Centro del Perú, el objetivo era determinar la correlación entre las deflexiones medidas con una viga Benkelman y un deflectómetro de impacto ligero en un pavimento básico con superficie de *slurry seal*. La población objeto de estudio se encontraba en la región de Ayacucho, a lo largo de la ruta Pischa-Pacaycasa y, la muestra de la investigación fue entre la progresiva 6+700 al 8+400. El tipo de investigación fue aplicada, con un nivel descriptivo y su diseño de estudio fue no experimental. Los resultados obtenidos del conteo vehicular fue $5.96 \text{ E}+05$ de los ejes equivalentes, también la verificación de las deflexiones promedio de la característica y admisibles donde $D_c < D_a$ tanto en la metodología de la viga Benkelman y el LWD; indicándonos que el comportamiento estructural de la vía en investigación es aceptable. Las conclusiones del estudio que correlaciona ambas deflexiones que se representan con la próxima ecuación $D_{LWD} = 0.01089 + 0.9870 D_{VB}$; así mismo el autor determino las deflexiones admisible y característica para para la viga Benkelman igual a $125.94 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ y $27.44 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ respectivamente y, para el Deflectómetro de impacto ligero igual a $102.86 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ y $26.55 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ respectivamente, indicándonos que $D_c < D_a$ y de igual manera indico el autor que las deflexiones son de orden 22% y 26% respectivamente; y para finalizar el autor también concluyo que la suficiencia estructural lo estableció por medio de números estructurales (SN) obteniendo un 6.05% de la viga Benkelman con respecto al LWD.

Para finalizar, Sánchez (2022) en su tesis “Evaluación funcional del micropavimento para determinar el tipo de intervención vial del tramo Paucará – Patoccocha, Acobamba – Huancavelica 2021”, elaborada para la Universidad Peruana los Andes, tuvo como objetivo

analizar un tipo de intervención vial para el tramo entre Patoccocha y Paucará en la localidad de Acobamba, centrándose en el análisis funcional de la *microsuperficie*. La muestra de investigación abarcó una longitud de 14 kilómetros, desde la progresiva 64 en Paucará hasta la progresiva 50 en Patoccocha, dentro de la vía de Acobamba, que tiene una extensión total de 92 kilómetros. El diseño de investigación empleado fue no experimental y cuantitativo, utilizando como metodología el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice de Servicio del Pavimento (PSI). Para el PCI, se evaluaron 124 muestras obteniendo un promedio de 50, indicando una condición regular, y se recomendó un mantenimiento correctivo con la actividad de recapeo. Respecto al IRI y PSI, se tomaron 35 muestras de ambos lados de la calzada, obteniendo un valor de IRI de 3,33 m/km y un valor PSI de 2,73, lo que menciona que el camino cumple con los umbrales para un servicio regular. Los resultados revelaron la presencia de 19 fallas, siendo el desprendimiento de agregado la más común, totalizando 17436.79 m², mientras que la grieta tuvo la menor presencia, totalizando 0.96 m². En cuanto al IRI, se obtuvo un valor de 3.33 m/km, indicando un estado regular, y para el PSI, en relación con el IRI, se registró un valor de 2.73, lo que representa una serviciabilidad regular.

3.1.3. Antecedentes a nivel regional

Para la localidad, según Huanca (2024) en su tesis “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de pavimento flexible en la Avenida las Malvinas mediante el análisis funcional aplicando el rugosímetro de Merlin – Abancay, 2023”, para la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, se propusieron determinar el impacto del análisis funcional en la transitabilidad de la Avenida Malvinas de Abancay. La población y la muestra comprenden la

Avenida Malvinas de la localidad con una longitud de 470 metros. El nivel de la investigación es descriptivo, de diseño no experimental y de un tipo aplicado. Los resultados obtenidos revelaron que se obtuvo un IRI 4.52 m/km y un PSI 1.55 en toda la vía de estudio indicativo de que la condición funcional tiene una transitabilidad malo. El autor recomienda realizar un análisis estructural mediante un ensayo no destructivo, también implementar micropavimento para recuperar la transitabilidad y que estas estén en buenas condiciones operativas.

Y finalmente, para Trujillo (2023), en su tesis “Análisis del desgaste superficial del pavimento rígido $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en las cuadras cinco al siete de la Avenida Víctor Acosta segunda etapa - Abancay -2023” para la Universidad Tecnológica de los Andes; tuvo como objetivo determinar mediante las técnicas del PCI y VIZIR el desgaste superficial de la vía de concreto hidráulico, también calcular el IRI de la regularidad de la vía y verificar la resistencia a compresión de la vía. La población fue las vías urbanas de Victor Acosta segunda etapa de Abancay y muestra del tesista estuvo conformado en el tramo de la vía Andahuaylas y San Jerónimo con una distancia de 2.159 km. La investigación un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y correlacional, y se utilizó un diseño transversal no experimental, también de tipo aplicada. Según los resultados del autor, el VIZIR obtuvo un promedio 3.46 indicando que, si existe desgaste superficie y cualificándolo en regular, el PCI promedio de 52.9 existiendo un desgaste superficial y cualificándolo como regular; se consiguió una rigidez a la compresión de $f'c=205.05\text{ kg/cm}^2$ menor al diseño planteado. El tesista recomienda realizar un trabajo de sellado de juntas con aditivos selladores periódicamente, también realizar una mayor compactación una vez de realizar cortes en la calzada para fines de evitar asentamientos en la superficie de concreto con respecto a las instalaciones domiciliarias de agua y desagüe.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. *Indicadores de calidad*

La evaluación de pavimentos se refiere a un análisis, donde se realiza una investigación donde se examinan los pavimentos; describe la condición actual de la estructura y superficie del pavimento, con el fin de tomar las acciones correctas de conservación y mantenimiento, con el objetivo de extender la durabilidad del pavimento (Leguía y Pacheco, 2016).

En este sentido, se requiere estudios adecuados para determinar el estado de conservación de los micropavimentos, siendo la auscultación de pavimentos una herramienta fundamental. El primer indicador corresponde a la evaluación funcional, la cual permite determinar el nivel de comodidad y seguridad vial del usuario, principalmente a través del análisis de la uniformidad superficial. Asimismo, se considera la evaluación superficial, que se realiza mediante la identificación de los defectos y daños presentes en la vía, evaluando su tipo, severidad y cantidad. Finalmente, se incorpora el índice de evaluación estructural, el cual determina las deflexiones del paquete estructural del micropavimento y permite estimar los módulos de elasticidad de cada capa. Una vez determinados estos indicadores, es posible definir el estado actual del pavimento y proponer un tipo de solución adecuado, ya sea de mantenimiento y/o rehabilitación, que garantice un desempeño durable a largo plazo, preferentemente superior al período de diseño (Fernández, 2021).

3.2.1.1. Índice de condición del pavimento – PCI. La metodología PCI, según se define en la norma ASTM D 6433-03, es un proceso que incluye información confiable e instrucciones con detalles específicos de manera que sea más precisa para realizar una evaluación de la

realidad y apropiada de los pavimentos para conocer su situación a través de la recopilación de datos de campo.

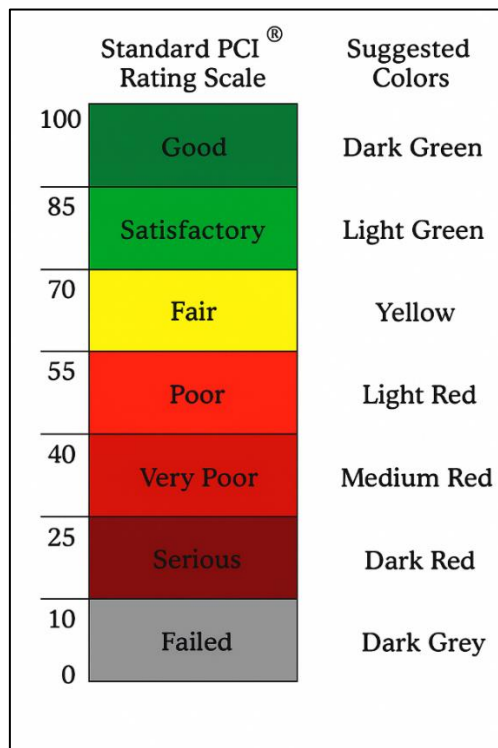
El Pavement Condition Index (PCI), es un procedimiento integral aplicado para la gestión y evaluación imparcial de carreteras, tanto de asfalto como de concreto. Se destaca por su simplicidad de uso, ya que no requiere equipos adicionales además de las que ya están disponibles en el equipo estándar. Organizaciones como la Asociación Americana de Obras Públicas, el Departamento de Defensa de EE. UU. y ASTM han respaldado públicamente este enfoque como el método más exhaustivo para evaluar y calificar de manera objetiva los pavimentos. La ASTM incluso lo ha estandarizado y puesto a disposición como el Método de Inspección en carreteras y estacionamientos (ASTM D 6433).

El PCI se basa en un inventario visual del estado de la carretera, que incluye la clase, gravedad y cantidad de cada tipo de fallo presente. Este método incorpora un factor de corrección denominado valor deducido, que tiene en cuenta las diferentes combinaciones de condiciones superficiales, densidad y gravedad de los fallos. El objetivo principal del PCI es proporcionar una medida cuantitativa del estado de la carretera, que sirva como base para su tratamiento y conservación, así como para evaluar su calidad estructural y su funcionamiento operativo (Rodríguez, 2009).

El PCI asigna una puntuación numérica para calificar la situación del pavimento, que va de cero (para una carretera defectuosa o dañada) hasta cien (para una vía en excelente estado y pleno funcionamiento). Cada intervalo del PCI viene acompañado de una descripción cualitativa del estado de la carretera, lo que facilita su interpretación y análisis (Rodríguez, 2009). En la Figura 1 y Tabla 2 podemos ver las escalas de PCI.

Figura 1

Escala de Gradación tubería lateral inclinada hacia abajo



Nota. Niveles de PCI, desde la condición más desfavorable hasta la condición excelente de una carretera de concreto asfáltico. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

Tabla 2

Calificación del PCI

Jerarquía del PCI	Calificación	Intervención
85-100	Excelente	Mantenimiento
70-85	Muy bueno	Mantenimiento
55-70	Bueno	Rehabilitación
40-55	Regular	Rehabilitación
25-40	Malo	Rehabilitación

10-25	Muy malo	Reconstrucción
0-10	Fallado	Reconstrucción

Nota. Jerarquía, cualificación y alternativa de mantenimiento según la escala del PCI. Obtenido de *Aranibar y Saavedra (2019)*.

Se plantean los siguientes propósitos al emplear el procedimiento del PCI: Evaluar la situación del pavimento en términos de su robustez como una entidad estructural y la calidad de la experiencia de conducción que ofrece. Al no existir mediciones directas para calcular esta solidez, el método posibilita la evaluación indirecta de la solidez estructural mediante el PCI. El término solidez estructural describe la capacidad del conjunto para soportar las cargas externas, como las generadas por el tráfico. En contraste, la capacidad de servicio indica el grado de seguridad y bienestar que brinda al usuario. Además, el método permite comparar de manera uniforme la condición y el desempeño de la vía, lo que se justifica en la planificación de labores de conservación y rehabilitación, así como la determinación del enfoque más adecuado para su reparación (Rodríguez, 2009).

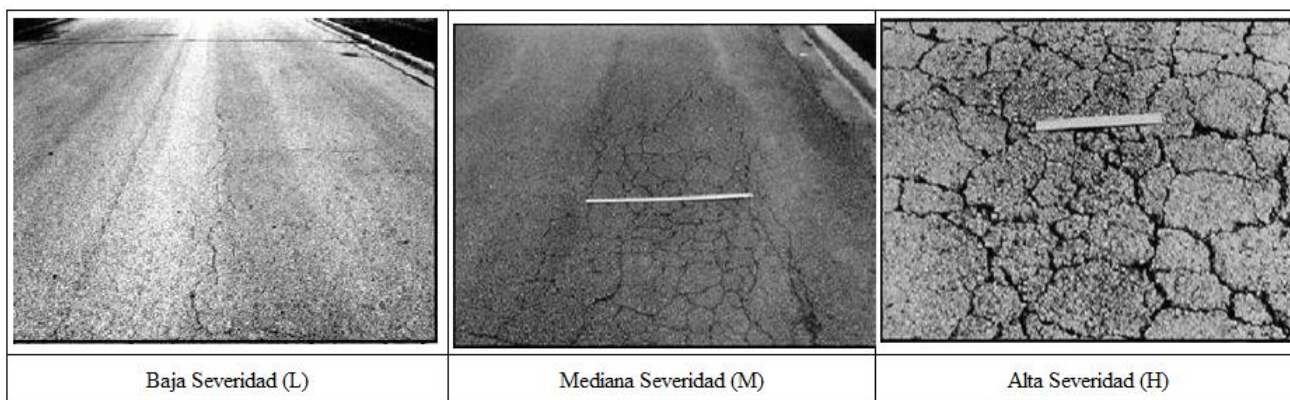
Los 19 modelos mencionados deben ser sometidos a evaluación utilizando la técnica del PCI, tal como se especifica en la norma internacional para Carreteras Pavimentadas (ASTM D 6433, 2003).

3.2.1.1.1. Patología: piel de cocodrilo. Para la normativa internacional ASTM D 6433-03 (2003) lo define como “fatiga de piel de cocodrilo, son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la fatiga de la capa de rodadura asfáltica debido a las cargas de tránsito repetidas” (p. 16).

Además, según la gravedad del daño, los niveles de severidad también se dividen en tres categorías. El primero es un nivel bajo (L), que presenta fisuras en forma de malla que van progresando poco a poco que aún no están descascaradas la superficie de rodadura; la segunda es de un nivel medio (M), que van presentando un patrón de mallas y que están sometidas a descascararse progresivamente en el pavimento; y la tercera está a un nivel alto (H), aquí ya presenta en su totalidad una red de grietas en forma de mallas y que se hacen pedazos poco a poco en la superficie asfáltica como se puede observar en la figura 2 (ASTM D 6433, 2003).

Figura 2

Daño agrietamiento por fatiga o piel de cocodrilo



Nota. Escala de severidad de la patología “piel de cocodrilo” en vías de superficie asfáltica.

Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.2. Patología: exudación. La norma internacional ASTM D 6433 (2003), manifiesta que “la exudación es una capa de material bituminoso sobre el pavimento que crea una superficie brillante, cristalina y reflectora que generalmente se pega” (p. 18). Así mismo define en tres categorías los niveles de severidad. El primero está en nivel bajo (L), esta patología generalmente se visualiza en unos cuantos días y también el bitumen no se adhiere a

las llantas de los automóviles ni a los zapatos de los humanos; el segundo es de escala media (M), esta si se adhiere tanto las zapatillas de las personas y los neumáticos con la superficie asfáltica y son notadas en unas semanas al año; y por ultimo esta la escala alta (H); que la exudación se ha presentado largamente y en varias semanas del periodo anual y estas se adhieren en gran cantidad a los zapatos de las personas y los neumáticos que se ve en la figura 3.

Figura 3

Daño exudación



Nota. Diferencias en los grados de exudación de la superficie asfáltica según el grado severidad.

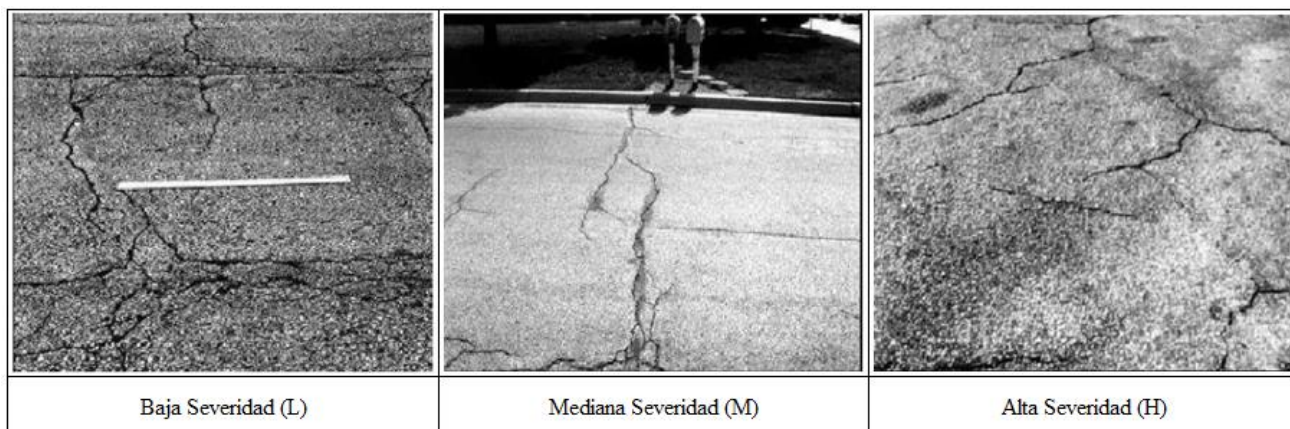
Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.3. Patología: fisuras en bloque. El reglamento internacional *ASTM D 6433* (2003) detalla que “las fisuras en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30m x 0.30m x 0.30m. Se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y la temperatura” (p. 19). También se muestran en tres categorías de niveles de severidad. El primero presenta un bloque de fisuras de nivel bajo (L); el segundo con fisuras un poco mayor al primero

denominado media (M); y por último de severidad alta (H), que se caracteriza las fisuras de bloque mayor a las dos primeras mencionadas, como se da de ejemplo en la figura 4.

Figura 4

Daño agrietamiento en bloque

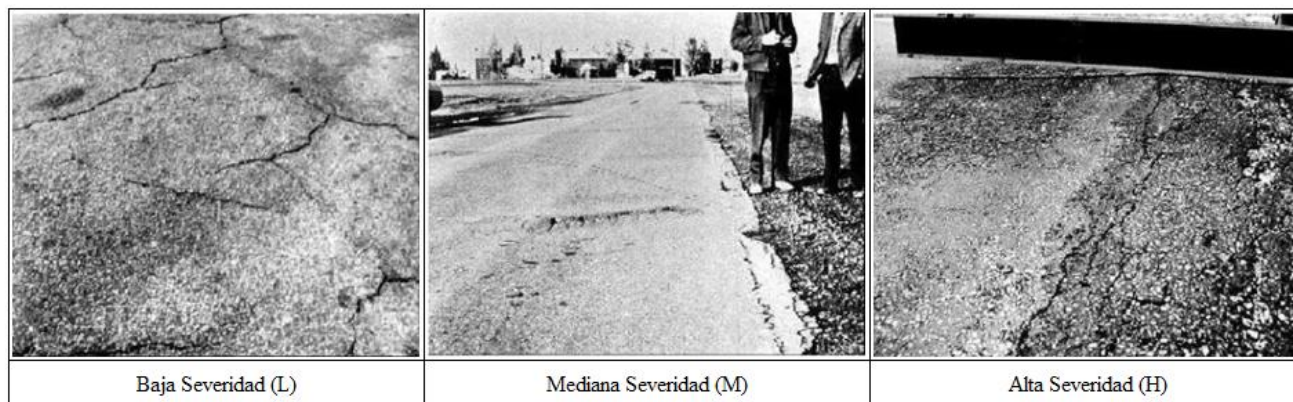


Nota. Diferencias en los grados severidad del deterioro “fisura en bloque” en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.4. Patología: abultamiento y hundimientos. La norma internacional ASTM D 6433 (2003) define que “son pequeños desplazamientos hacia arriba que se encuentran sobre el pavimento. Los desplazamientos se distinguen de estos últimos, ya que son provocados por suelos inestables. Las ondulaciones son distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento” (p. 21). Así mismo define en tres categorías los niveles de severidad, el primero está en nivel bajo (L), que son de incidencia por un bajo tráfico; la segunda presenta hundimiento debido a una incidencia de tráfico medio denominado con la letra (M); y por último esta los abultamientos provocados en un tráfico considerablemente denominado con la letra (H), como también se muestra a detalle en la figura 5.

Figura 5

Daño de hundimiento y abultamiento



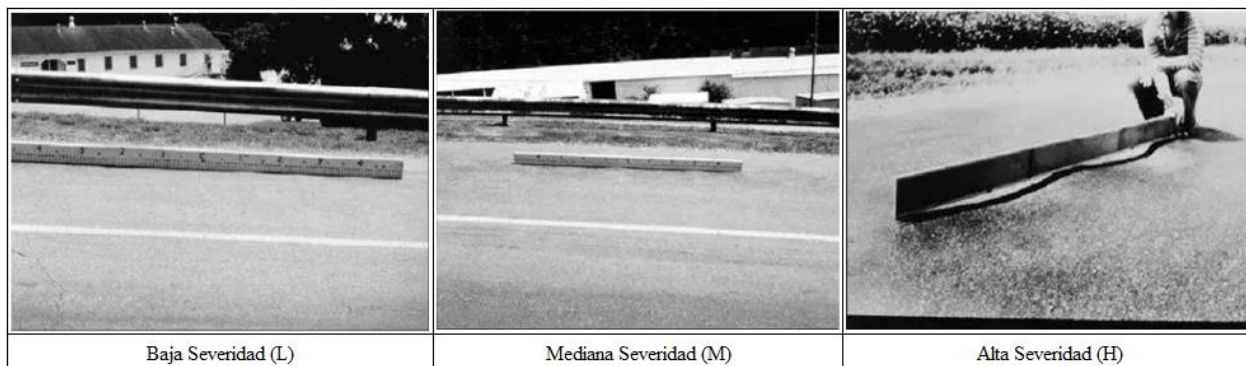
Nota. Diferencias en los grados severidad del deterioro “hundimiento y abultamiento” en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433 (2003)*.

3.2.1.1.5. Patología: corrugación. El manual internacional *ASTM D 6433 (2003)* indica que la corrugación es un conjunto de picos y depresiones muy cercanas que ocurren a intervalos regulares. Las cimas están en línea recta con la dirección del movimiento. El daño conocido como corrugación ocurre cuando los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0m de separación entre ellos.

De la figura 6, se menciona que existen tres categorías en los niveles de severidad, el primero está en estado bajo (L), que prácticamente es menor con respecto a la circulación de autos; la segunda está en nivel medio (M), que son originados un poco mayor a la primera severidad; y por último esta la que es generado en una mayor circulación de carros denominado con la letra (H).

Figura 6

Daño de corrugación



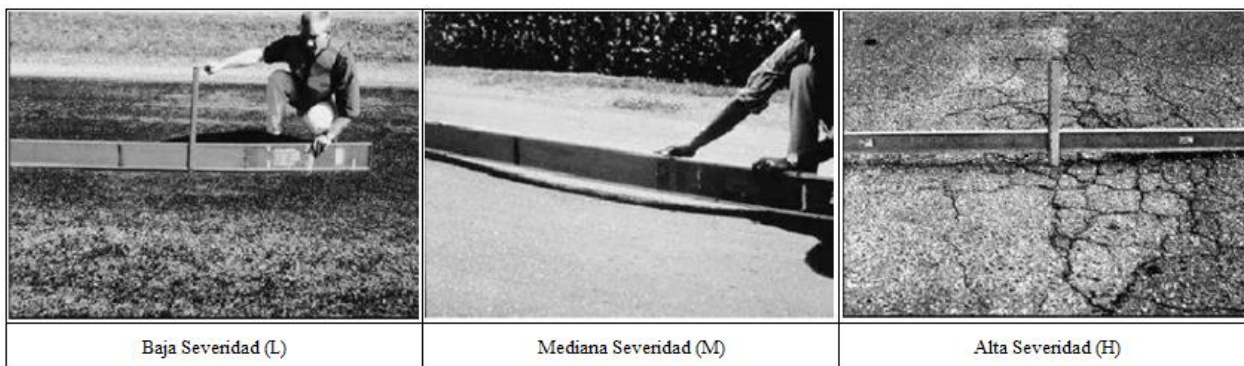
Nota. Diferencias en los grados de severidad del deterioro “corrugación” en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.6. Patología: depresión. Según el manual internacional *ASTM D 6433* (2003) define que son áreas que se encuentran en la superficie de rodadura de la vía y tienen niveles ligeramente más mínimos que superficie de la vía que los rodea. En ocasiones, las depresiones suaves solo se pueden ver después de la lluvia cuando el agua acumulada forma una laguna en la superficie de la vía.

En la figura 7 se indica que existen tres categorías en los niveles de severidad, el primero es de un estado bajo (L), que prácticamente varía desde 13 mm hasta 25 mm; después esta la media (M), que usualmente está en un rango de 25-51 mm; y por último está el alto (H), que normalmente está definido mayor a 51 milímetros.

Figura 7

Daño de depresión

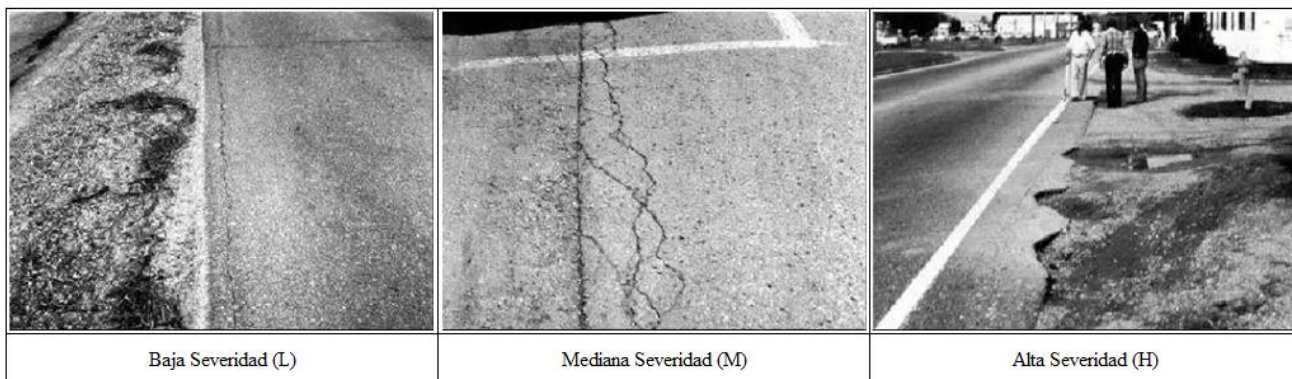


Nota. Diferentes tipos de daños por “depresión” según grados de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.7. Patología: grietas de borde. La norma internacional *ASTM D 6433* (2003) define que las grietas del borde son paralelas y, por lo general, se encuentran a una distancia de entre 30 y 60 centímetros del borde exterior del pavimento. La debilidad de la base o de la subrasante cercana a los bordes del pavimento, provocada por el clima, puede ser una causa de este daño. Las cargas de tránsito también pueden acelerarlo. También se muestran en tres categorías los niveles de severidad. El primero de un nivel bajo (L), presenta en el borde poca fragmentación; el segundo (M) muestra cierta fragmentación y separación del material asfáltico en el borde; y por último la severidad alta (H), que prácticamente presenta desprendimiento en una longitud del borde de la calzada como se indica en la ilustración 8.

Figura 8

Daño de grietas de borde

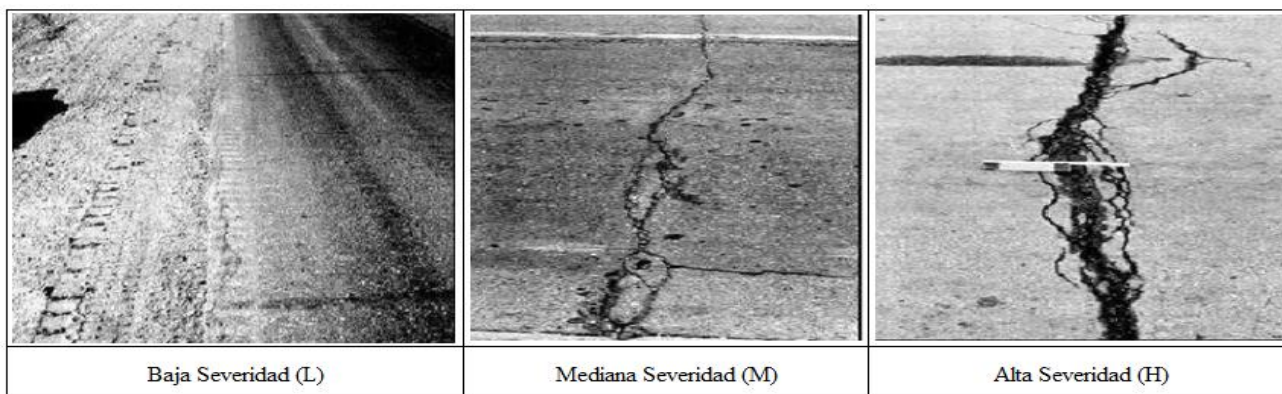


Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “grietas de borde” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.8. Patología: grietas de reflexión de junta. El manual de la *ASTM D 6433* (2003) menciona que este daño únicamente ocurre en superficies pavimentadas con asfalto que están construidas sobre una losa de concreto con cemento hidráulico. Estas grietas ocurren, sobre Todo, cuando la pérdida de concreto del cemento Portland se desplaza por debajo de la superficie del asfalto a causa de la humedad o la temperatura. De igual manera existen tres niveles de severidad como indica en la figura 9, la primera es de nivel bajo (L), que son menores a 1 cm de ancho; la segunda es de nivel medio (M), que tiene un ancho que varía de 1 a 7.6 cm; y la tercera está el de nivel alto (H), que prácticamente son mayores a 7.6 cm de ancho en la calzada.

Figura 9

Daño grietas de reflexión de junta

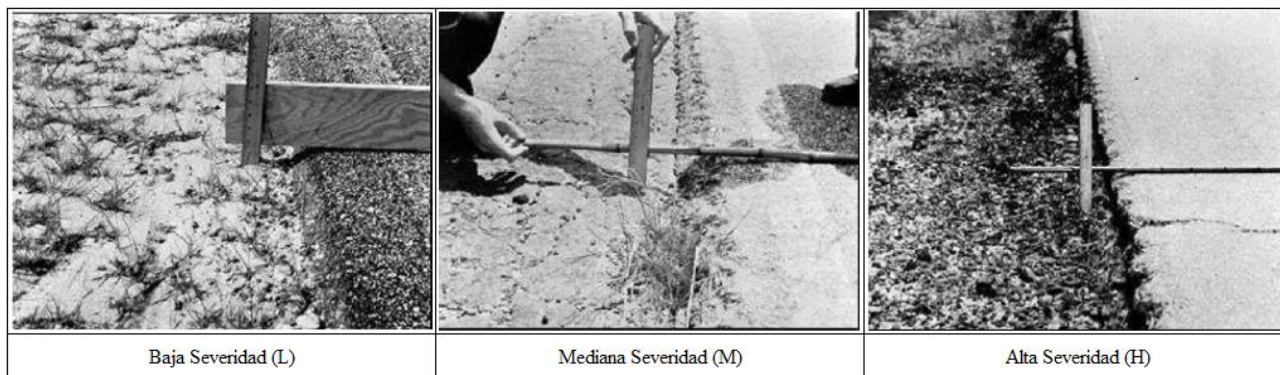


Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “grietas de reflexión de junta” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.9. Patología: desnivel de calzada y berma. El manual internacional ASTM D 6433 (2003) lo define como una diferencia de nivel entre el borde del pavimento y la berma se conoce como desnivel carril-berma. Esta afectación puede ser producto de la erosión del terraplén de poner sobre carpetas en la calzada sin adaptar el nivel de la berma. En la figura 10 se ve tres grados de severidad que mencionares cada uno a continuación: la primera de nivel bajo (L), que existe una altura que varía de 2.5 cm a 5.1 cm de la berma y el borde del pavimento; la segunda es medio (M), que varía en una distancia entre 5.1 cm y 10.2 cm; y la tercera es alta (H), que prácticamente supera los 10.2 cm entre la berma y la calzada.

Figura 10

Daño de desnivel de calzada y berma

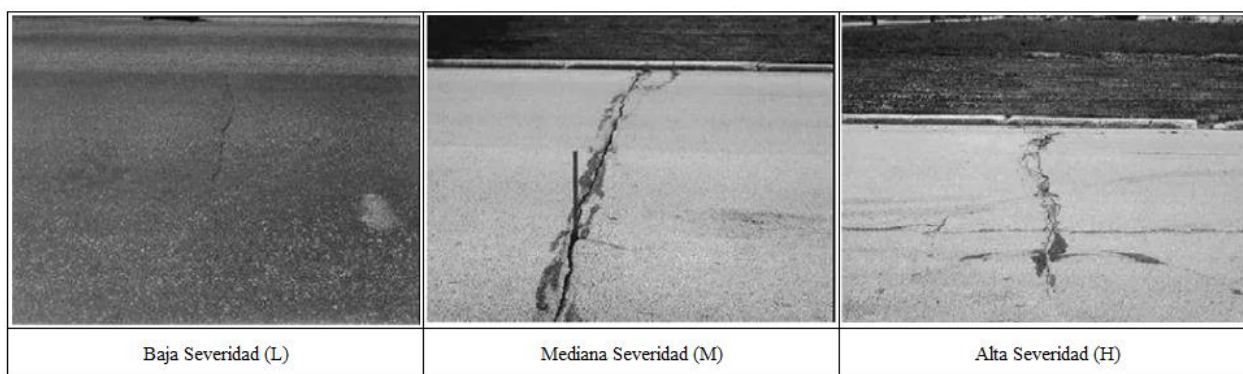


Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “desnivel calzada y berma” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.10. Patología: grietas longitudinal y transversal. Para la normativa internacional de la *ASTM D 6433* (2003) lo conceptualiza como las fisuras longitudinales son hendiduras que siguen una línea paralela al eje de la vía o a la línea direccional en la que fue construida. Sin embargo, las fisuras transversales son ortogonales al eje de la vía.

Figura 11

Daño de grietas transversales y longitudinal



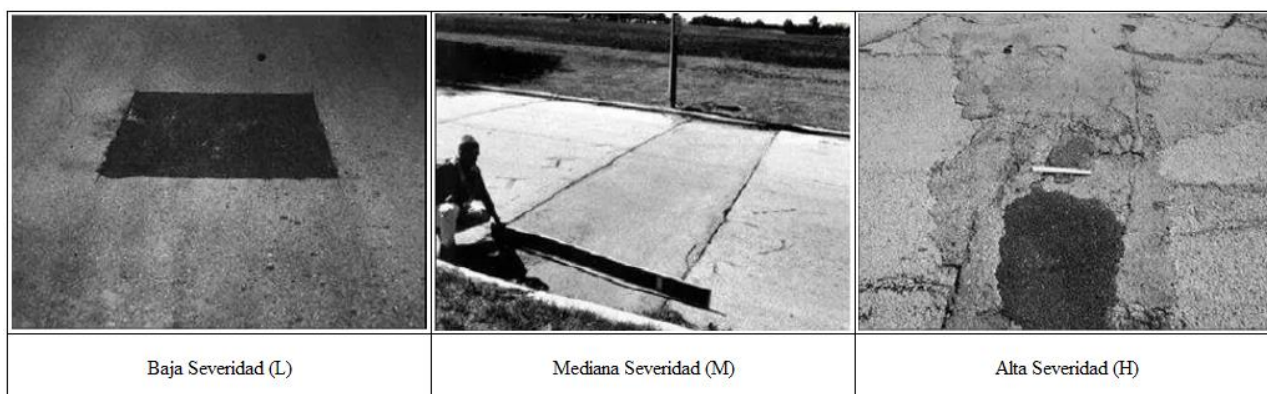
Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “fisuras longitudinales y transversales” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

De la figura 11 se muestra 3 categorías de severidad, la primera es baja (L), que las fisuras son menores a 1 cm del ancho; la segunda es media (M), que la fisura varía entre 1 cm a 7.6 cm de ancho; y la tercera son aquellas que las grietas son mayores a 7.6 cm de ancho y simboliza con la letra (H).

3.2.1.1.11. Patología: parcheo. Según la ASTM D 6433 (2003) lo define como un parche a una sección de la carretera que ha sido sustituido por un material reciente para restaurar la superficie asfáltica. Por En general, el área adyacente o una zona parchada no tienen el mismo desempeño que la sección original del pavimento. También existe tres categorías de grados de severidad, la primera es de severidad baja (L), que prácticamente se muestra que el parche tiene buena presencia en la vía; la segunda es de media severidad (M), que ya está presenta un deterioro en el parche; y por ultima la tercera severidad es alta (H), que este parche ya está deteriorado en su totalidad y se necesita con urgente su reemplazo como muestra para la imagen 12.

Figura 12

Daño de parcheo

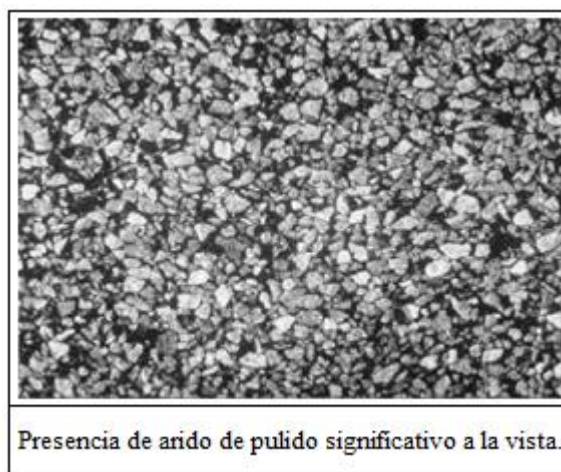


Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “parches” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la ASTM D 6433 (2003).

3.2.1.1.12. Patología: árido pulido. Como indica la ASTM D 6433 (2003) lo define que la repetición de cargas de tránsito causa este daño. Cuando el agregado se vuelve suave al tacto en la superficie, la adherencia con las llantas del automóvil disminuye significativamente. Cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente desde una evaluación anterior, se indica este tipo de daño. Para este defecto no existen niveles de severidad debido a que normalmente se tiene que hacer un ensayo para que se demuestre la condición y ser apreciado como una falla según se muestra en la ilustración 13.

Figura 13

Daño de pulimiento de áridos



Nota. Un ejemplo de deterioro por “pulimiento de agregado” en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la ASTM D 6433 (2003).

3.2.1.1.13. Patología: huecos. Como indica la ASTM D 6433 (2003) son los baches o huecos son hendiduras de forma de recipiente que están en la superficie del pavimento y que, por lo general, tienen un diámetro inferior a 0,90 m. Los huecos se forman cuando el peso del

tráfico corta pequeños trozos de la superficie de rodadura. Así mismo se define las categorías de severidad por la dimensión de diámetro y profundidad de la falla como se presenta en la tabla 3 y figura 14.

Tabla 3

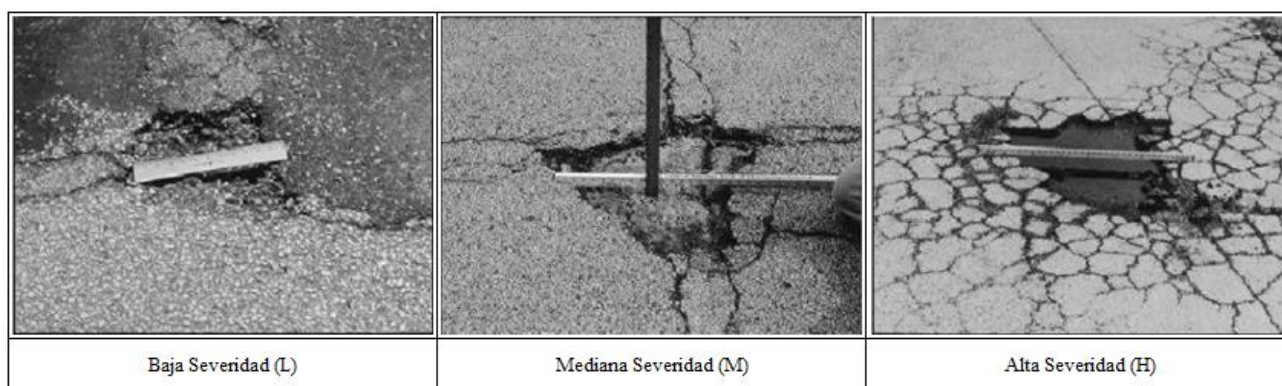
Nivel de severidad según diámetro y profundidad de los baches

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medido (cm)		
	10.2 a 20.3 cm	20.3 a 45.7 cm	45.7 a 76.2 cm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
> 50.8 mm	M	M	H

Nota. Parámetros de diámetro y profundidad del daño de huecos en la vía asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

Figura 14

Daño huecos



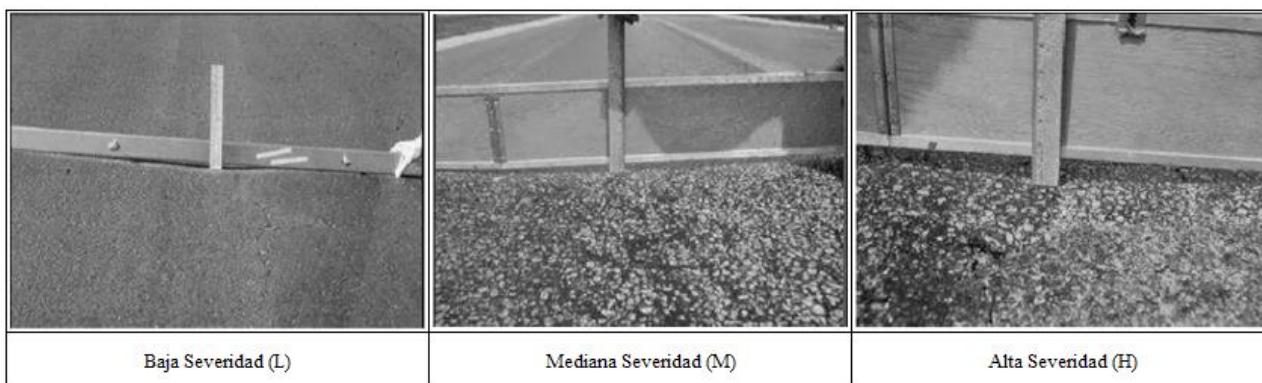
Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “huecos” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.14. Patología: ahuellamiento. Según la norma internacional *ASTM D 6433* (2003) el ahuellamiento es una hendidura en la superficie de las huellas dejadas por los

neumáticos. El pavimento se levanta por los lados del ahuellamiento, pero normalmente sólo es visible después de que ha llovido, cuando las huellas están repletas de agua. Existe tres niveles de severidad el nivel bajo (L), prácticamente tiene una depresión que cambia entre 6 y 13 mm; la segunda de nivel media (M), que prácticamente la depresión oscila en medio de 13 mm y 25 mm; y por último de nivel alta (H), que si la depresión medida es mayor a 25 mm según se presenta en la ilustración 15.

Figura 15

Daño de ahuellamiento



Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “ahuellamiento” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.15. Patología: desplazamiento. Como indica la norma *ASTM D 6433* (2003) el desplazamiento se refiere a un movimiento longitudinal y permanente de una zona concreta de la superficie de la vía, que es provocada por las cargas del tráfico. Cuando el tránsito presiona contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie.

Figura 16*Daño de desplazamiento*

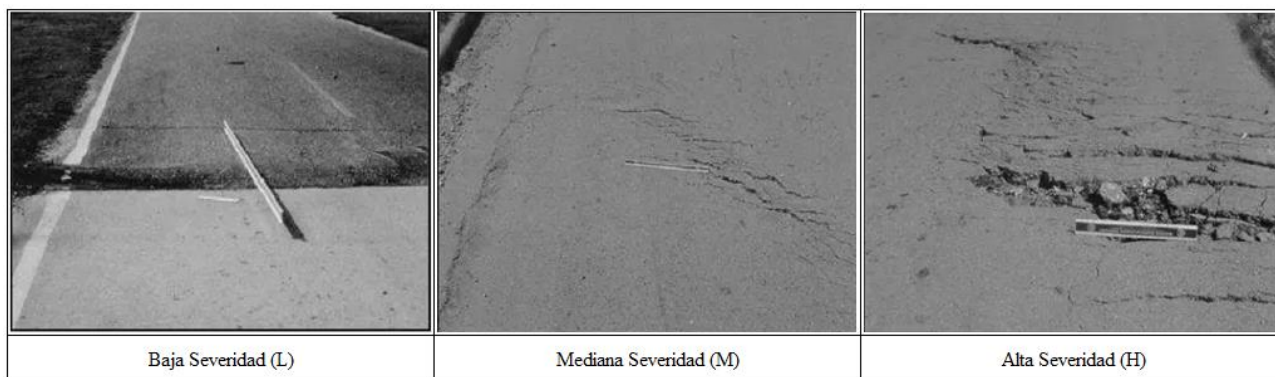
Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “desplazamientos” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

De la figura 16 se ve que consta de tres categorías y la de nivel bajo (L); presenta un desplazamiento menor; la de nivel media (M), muestra un desplazamiento media en la calzada; y por último la de un nivel alto (H), aquí prácticamente el desplazamiento es mayor en la calidad de tránsito.

3.2.1.1.16. Patología: grieta parabólica o por deslizamiento. Según la norma *ASTM D 6433* (2003) las grietas que tienen un aspecto de media luna creciente son denominadas grietas parabólicas por gradual. Se producen debido a que las ruedas giran o frenan, lo que provoca la deformación o el deslizamiento de la superficie de la vía. Existe tres categorías de severidad la primera de nivel bajo (L), que la grieta parabólica presenta un ancho menor a 10 mm; la segunda de nivel media (M), que prácticamente tiene que tener un ancho de 10 a 38 mm y el área alrededor presenta descascaramiento de forma ligera; y por último está la de nivel alta (H), que debe cumplir que el ancho varia de 10 a 38 mm y el área que lo rodea prácticamente se ha quebrantado en pedazos como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Daño por grieta parabólica o por deslizamiento



Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “grietas parabólicas” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.17. Patología: hinchamiento. Según la norma *ASTM D 6433* (2003) se distingue el hinchamiento por una ondulación amplia y progresiva hacia arriba de la superficie del pavimento, que tiene más de 3 m de longitud. El agrietamiento de la superficie puede estar relacionado con el defecto. También existe 3 categorías de severidad la primera de nivel bajo (L), es mínima la afectación a los usuarios de la vía y no se nota a simple vista; la segunda de nivel media (M), que se va notando con la frecuencia de los neumáticos; y la tercera de nivel alto (H), que prácticamente aquí el tránsito es menor velocidad y es notorio el hinchamiento de la calzada.

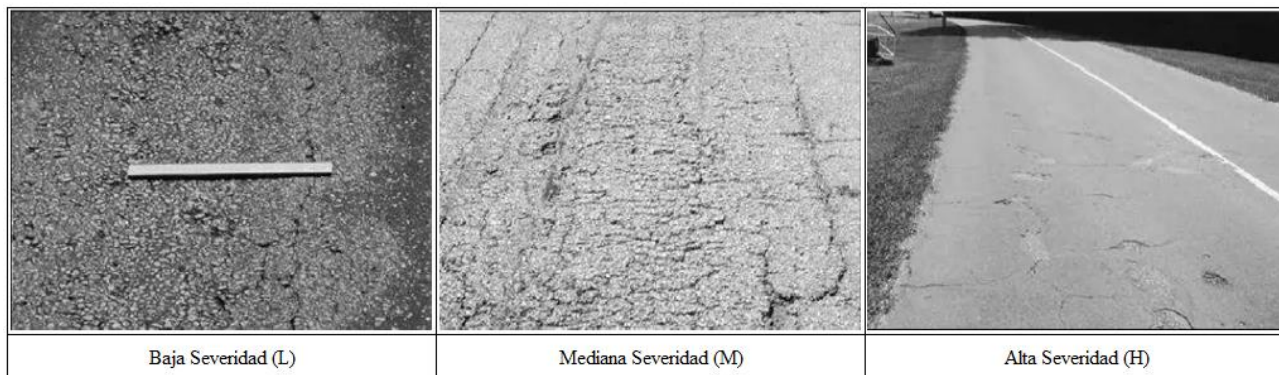
Figura 18*Daño de hinchamiento*

Nota. Un ejemplo de deterioro por “hinchamiento” en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.18. Patología: desprendimiento de áridos. Para la normativa internacional de la *ASTM D 6433* (2003) menciona que la peladura por intemperismo es la desintegración superficial del pavimento que se origina a causa de la pérdida del ligante asfáltico y las partículas sueltas del agregado. Se les llama desprendimiento a las partículas de agregado que están sueltas o han sido desplazadas. Así mismo existe tres categorías de severidad la primera de nivel bajo (L), que los áridos han empezado a desprenderse; la segunda de nivel media (M), que prácticamente el ligante asfáltico se ha perdido y presenta una textura más hueca y modernamente rugosa; y la tercera y última de nivel alta (H), que la calzada presenta una textura mayor y ahuecada como se indica en la figura 19.

Figura 19

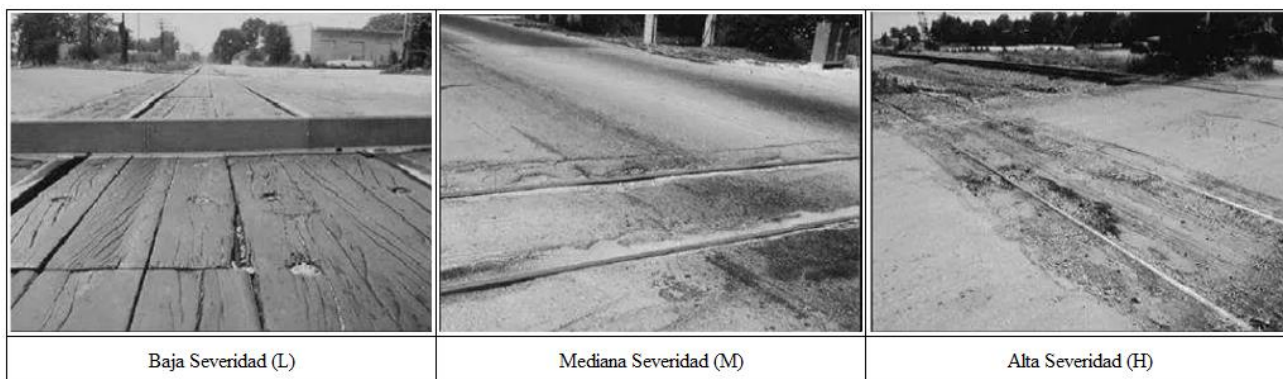
Daño de desprendimiento de áridos



Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “desprendimiento de agregado” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

3.2.1.1.19. Patología: cruce de vía férrea. Según la normativa internacional de la ASTM D 6433 (2003) nos dice que los defectos de cruce de vía férrea son hundimientos o protuberancias que están situados entre los rieles, alrededor de ellos o en ambas zonas.

De igual manera se indica que existe tres categorías de severidad la de primer nivel (L), que es baja son generados por una calidad menor del tránsito; la segunda es de nivel media (M), que prácticamente se presenta en las salidas de los ferrocarriles; y por último la de nivel alta (H), que las salidas de los ferrocarriles genera mayor tránsito como se ve en la imagen 20.

Figura 20*Daño de cruce de vía férrea*

Nota. Diferentes ejemplos de deterioros por “cruce de vía férrea” según escala de severidad en vías de superficie asfáltica. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

El procedimiento para determinar el Índice de Condición del Pavimento – PCI, se inicia dividiendo la carretera en segmentos, los cuales deben nutrir peculiaridades consistentes en términos de la construcción, el mantenimiento, la documentación y entorno ambiental. Posteriormente, según el tipo de pavimento, se subdividen algunas muestras en unidades de muestreo más pequeñas, como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4*Tamaño de la muestra*

Modelo de pavimentos	Unidades de la muestra		
	Ideal	Mínimo	Máximo
Hidráulicos	20 losas \pm 8	12 losas	28 losas
Superficie Asfáltica	225 m ² \pm 90	135 m ²	315 m ²

Nota. Parámetros para seleccionar el tipo de muestra en una vía de estudio. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

Posteriormente, en caso de que no sea factible realizar la partición de esta manera, se recurre a la Ecuación 1 para determinar las unidades de muestreo mínimas que deben ser evaluadas. Dicha fórmula realiza una estimación del PCI promedio actual con un grado de confianza del 95%.

Ecuación 1

Número mínimo de unidades de muestreo

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N-1) + S^2\right)} \quad (1)$$

Donde:

n : Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N : Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento

e : Error admisible estimativo del PCI de la sección ($e=5\%$)

S : Desviación estándar o media del PCI entre las unidades

Además, se observa que el pavimento asfáltico presenta una desviación media (s) de 10 durante la inspección inicial del PCI, con un rango de PCI de 25. Se debe verificar si se cumple con el mínimo requerido, dado que el número total de unidades necesarias ($n < 5$) es menor que cinco. Luego, se procede a seleccionar los métodos de muestreo que serán examinados. Se recomienda que las unidades se distribuyan de manera uniforme a lo largo de la sección del pavimento, eligiendo la primera de manera aleatoria, como se indica en la Ecuación 2:

Ecuación 2

Intervalo de muestreo

$$i = \frac{N}{n} \quad (2)$$

Donde:

N: La cantidad total de unidades de muestra accesibles.

n: El mínimo indispensable de unidades que deben evaluarse.

i: El intervalo de muestreo se redondea al número entero más cercano.

b: A partir de las unidades de muestreo i y el intervalo de muestreo I , se elige al azar la primera unidad de muestreo que se va a examinar.

Posteriormente, se procede a inspeccionar el pavimento para identificar el tipo de falla, evaluar su gravedad y contar la cantidad de cada tipo de falla. Estas mediciones se llevan a cabo siguiendo el manual de daños y se registran manualmente en el formulario de evaluación de la unidad de muestra. Una vez completada la inspección en el campo, se determina el PCI utilizando la información recopilada sobre los daños. Este cálculo puede realizarse de forma automática, considerando los “valores deducidos” asignados a todo tipo de deficiencia y su costo asociado. Además, la información sobre la gravedad y la densidad, como se observa en la Ecuación 3, se utiliza para calcular el valor derivado (VD) de cada falla identificada. Para llevar a cabo este proceso, se deben contar las diversas categorías y niveles de daños y asegurar su coherencia.

Ecuación 3

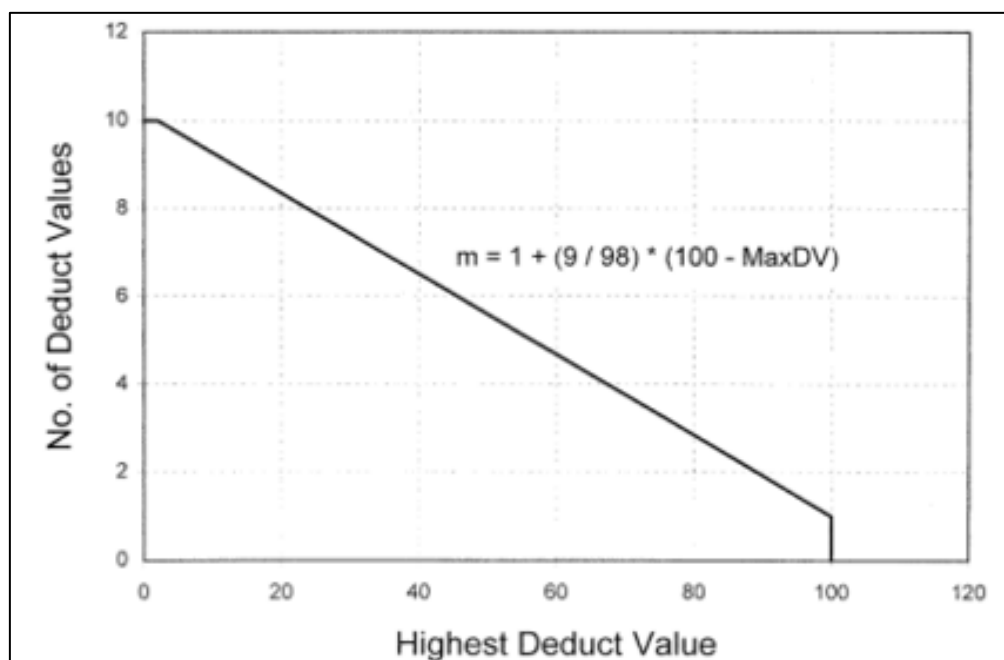
Densidad de daño expresada en porcentajes

$$\text{Densidad \%} = \frac{\text{cantidad de cada tipo de falla}}{\text{área total de unidad de muestra}} \times 100 \quad (3)$$

El cálculo del PCI se realiza utilizando el valor total en lugar del valor del VCD máximo si ninguno o solo uno de los valores sustraídos individuales exceden los dos; de lo contrario, se debe determinar el valor del VCD máximo siguiendo los pasos posteriores. Para ello, se enumera cada valor sustraído individual en orden ascendente y hace los cálculos del número máximo de deducciones, denominado (m), como se presenta en la ilustración 21 y Ecuación 4:

Figura 21

Ajuste de número del valor deducido



Nota. Formula m, también denominado “número máximo admisible de valores deducidos”, utilizada para determinar el “valor deducido total” cuando m es mayor que 2. Obtenido de la *ASTM D 6433* (2003).

Ecuación 4

Número de deducciones permisibles

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) 100 - HDV < 10 \quad (4)$$

Donde:

m: El número máximo de valores que se pueden restar, incluidas las fracciones, y ser inferiores o igual a diez. Todos los valores inferidos deben utilizarse si hay menos de «m» de ellos.

HDV: Se resta el valor individual más alto de la unidad de muestra.

I: Redondear el intervalo de muestreo al número entero más cercano.

b: De entre las unidades de la muestra i y el intervalo de muestreo I , se elige al azar la primera unidad de muestra que se va a inspeccionar.

Luego, mediante la aplicación iterativa del método subsiguiente, se obtendrá el valor máximo corregido deducido, abreviado como CDV, como se puede desarrollar en la Tabla 5.

Tabla 5

Formato de las iteraciones de cálculo del CDV

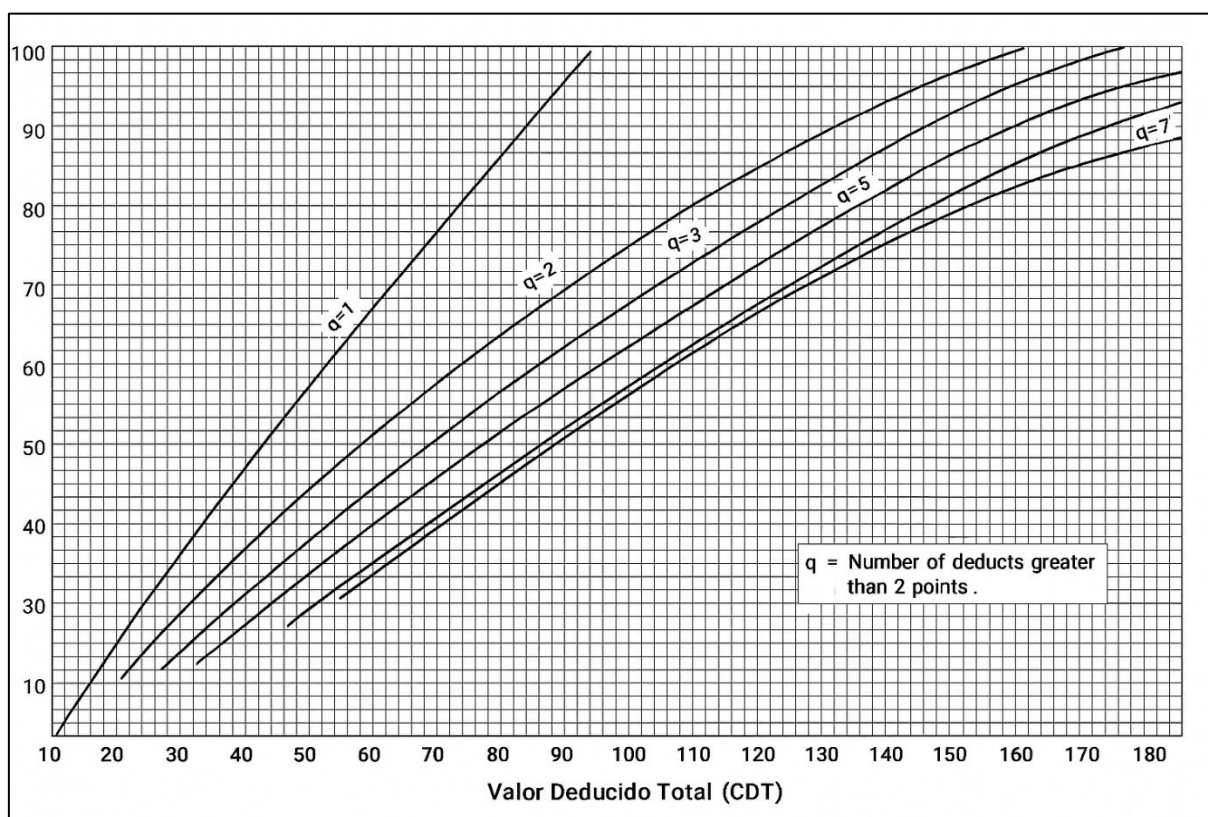
N°	Valores Deducido				Total	q	CDV
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Nota. Valor corregido máximo obtenido a partir de la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento, considerando el valor “q” y el “valor deducido total” y así mismo cumpla el valor de q igual a 1. Obtenido de Aranibar y Saavedra (2019).

Empleando las curvas de ajuste, como la de la Figura 22; apropiadas para el pavimento flexible mostradas en la figura siguiente, la deducción total (CDT) y el valor de “q” se utilizan para calcular el valor CDV, que se calcula contando el número de deducciones que exceden 2,0.

Figura 22

Valor de deducción del pavimento asfáltico corregido



Nota. Curva de corrección pertinente al tipo de pavimento, utilizada para determinar el máximo valor deducido corregido CDV. Obtenido de la norma *ASTM D 6433* (2003).

El proceso continúa sumando todos los valores sustraídos por separado para obtener el “Valor Total Sustraído” (VTD). Estos pasos se repiten hasta que “q” alcance 1 y el valor individual más bajo restado sea igual o mayor a 2. En este punto, el PCI se calcula ajustando el VCD máximo a 100, como se aprecia en la Ecuación 5.

Ecuación 5

Unidad de muestreo del PCI

$$\text{PCI} = 100 - \text{Max CDV} \quad (5)$$

A continuación, en la figura 23 se aprecia la presentación del programa Evalpav para determinar el PCI y que este manual del usuario se basa en la norma ASTM D 6433 el reporte que brinda el software.

Figura 23

Software - Eval-Pav

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR

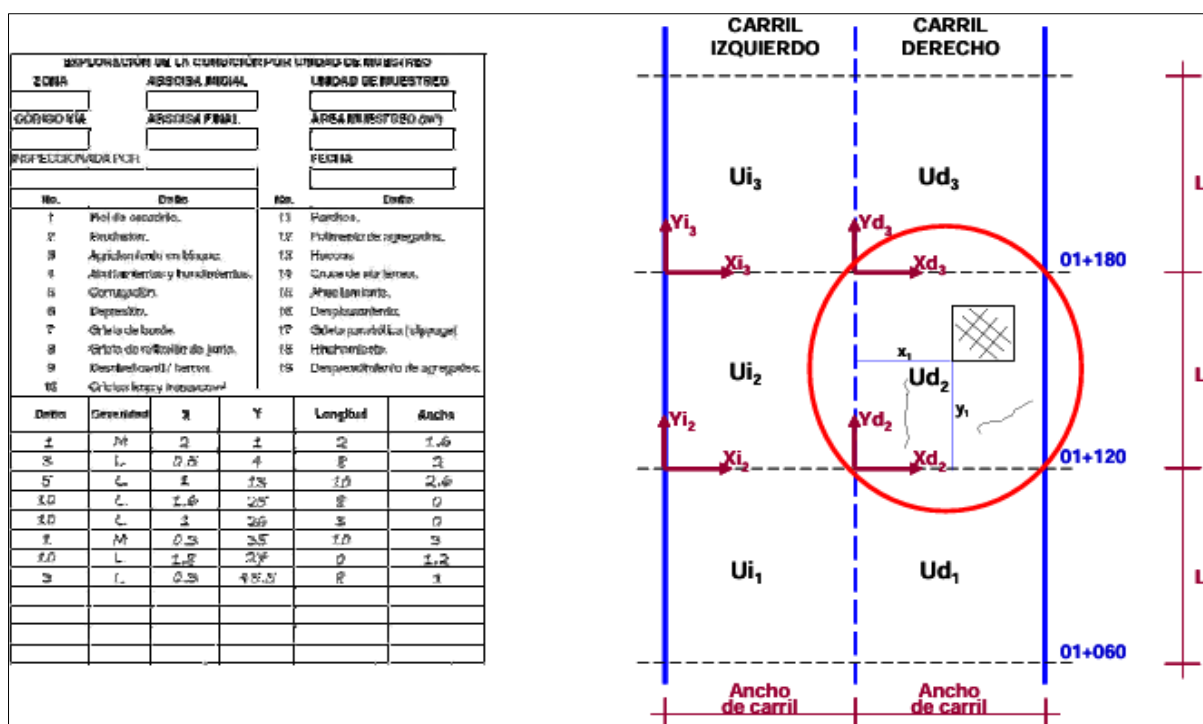
Nota. Adaptado en la normativa *ASTM D 6433* y del programa Eval-Pav, software para evaluación de pavimentos en carreteras y aeropuertos de superficie asfáltica, y carreteras no pavimentadas. Obtenido del Manual Eval-pav.

Para el registro de fallas, se debe tener presente los siguientes conceptos:

- ✓ El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $225.0 \pm 90.0 \text{ m}^2$ para carreteras.
- ✓ Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, que estarán delimitadas por la progresiva inicial y por la progresiva final, por ejemplo: la unidad de muestra Ud2, del carril derecho está delimitado por las progresivas Km 01+120 y Km 01+180; como se presenta en la ilustración 24.

Figura 24

Unidad de muestreo



Nota. Diagrama de identificación de fallas y formato de recolección de campo utilizadas en un área de evaluación. Adaptado en la normativa *ASTM D 6433* y del manual *Eval-pav*.

- ✓ De acuerdo al gráfico anterior, para definir la posición de las fallas, se debe tener presente que el origen del sistema de coordenadas se encontrará en el extremo inferior izquierdo de cada unidad de muestra, coincidiendo con la progresiva inicial.
- ✓ Los conceptos anteriores, Las ideas previas sostienen que el esquema de fallas representará la ubicación de cada daño en la unidad de muestra, que se detalla por su etapa inicial y final (Unidad de muestra Ud₂, 01+120 al 01+180), que sus coordenadas hacen referencia al primer punto del área, como por ejemplo la piel de cocodrilo ($X_1=1.2$ m, $Y_1=15.5$ m) o en situaciones de fisuras transversales o longitudinales, en su extremo inferior.

3.2.1.2. Índice de rugosidad internacional – IRI. El término uniformidad se define en la norma ASTM E867-06, terminología estándar relacionada con los sistemas de pavimentación de vehículos, e incluye las variaciones con respecto a una superficie plana hipotética que afectan a las cargas dinámicas, la evacuación y la experiencia de conducción del usuario (ASTM, 2018). La uniformidad, o también denominada rugosidad de la carretera, puede afectar negativamente las características funcionales y operacionales de una vía, tal como:

- Seguridad y Comodidad: Disminuye el bienestar del usuario al tomar un camino, incrementando el peligro de circunstancias y cansancio del conductor (Cantisani & Loprencipe, 2010).
- Efectos dinámicos: Acelera el desgaste provocado por la degradación estructural del pavimento al aumentar las cargas dinámicas que los neumáticos ejercen sobre él. (Badilla, 2011).

- Costos de operación: Debido a que el pavimento irregular acelera el desgaste de las ruedas y aumenta el consumo de combustible, incrementa los gastos de funcionamiento y mantenimiento de un vehículo (Islam & Buttlar, 2012).
- Huella de carbono: Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) aumentan como resultado del mayor consumo de combustible, así como de las actividades de mantenimiento y rehabilitación (Chong & Wang, 2017).

El elemento fundamental del factor relacionado con la uniformidad de la superficie de la vía son las deformaciones que se representan en un perfil topográfico de ambas pisadas de vehículos. El beneficiario experimenta una aceleración vertical como resultado de estas deformaciones, tanto en términos de frecuencia como de amplitud (Haas & Hudson, 2015).

Uno de los indicadores más efectivos para determinar el estado del pavimento es la evaluación de la uniformidad superficial, así como para examinar los precios operativos del automóvil y la protección en función a la naturaleza del pavimento (Elbheiry et al., 2011). En un momento anterior, todas las naciones utilizaban varios parámetros para indicar la calidad de la parte superficial de rodadura, lo que impedía su comparación debido a la variedad de equipos y métodos utilizados (Pradena, 2006).

3.2.1.2.1. Experimento internacional de regularidad de carreteras (IRRE). En la década de 1970, el Banco Mundial proporcionó y financió a varios programas de estudios científicos de gran gama, donde se incluyeron investigaciones en diversos lugares del planeta tierra sobre la calidad de los caminos y los precios para los usuarios (Sayers et al., 1986^a). Estas investigaciones revelaron una uniformidad específica por cada nación no existía equidad y que estos documentos obtenidos en un mismo país carecían de fiabilidad, debido a que las

mediciones se llevaron a cabo utilizando métodos y equipos inconsistentes a lo largo del tiempo (Ventura, 2005). Esto representaba un problema que persiste, ya que no existía una metodología universal para describir la esencia de la uniformidad superficial; los procedimientos conocidos se apoyaron en el cálculo del perfil topográfico o en la contestación del auto a la uniformidad.

Según a la exigencia, por el Banco Mundial lanzó la idea mencionado Experimento Internacional de Uniformidad en Carreteras (IRRE), con el objetivo de correlacionar las herramientas de equipos de evaluación más empleados en ese instante bajo distintas condiciones en un lugar común, promoviendo así el crecimiento y adopción de un IRI al igual que un indicador mundial de la uniformidad de la superficie de la vía. (Sayers et al., 1986^a).

Varios equipos de investigación liderados por la “Agencia Brasileña de Planificación del Transporte (GEIPOT), el Instituto Brasileño de Investigación Vial (IPRIDNER), el Laboratorio de Investigación del Transporte (TRRL) de Gran Bretaña, el Laboratorio Francés de Puentes y Pavimentos (LCPC)” y el Instituto de Investigación del Transporte de la Universidad de Michigan (UMTRI) participaron en el proyecto, que se llevó a cabo en Brasil en mayo y junio de 1982. El Centro de Investigación Vial de Bélgica (CRK) también participó en el examen de los datos posteriores a las pruebas (Sayers et al., 1986^a).

Se emplearon diversas herramientas, como herramientas de tipo respuesta, perfilómetros dinámicos de alta celeridad y también dos métodos para monitorizar de forma constante el perfil longitudinal. Se midieron cuatro tipos de superficies de carretera: tierra, grava, tratamiento superficial y vía flexible (Sayers et al., 1986^a).

El propósito importante fue alcanzar y establecer un indicador internacional que fuera constante a lo largo del tiempo, relevante, transferible y reproducible, conocido como el International Uniformity Index (IRI) (Loría et al., 2014).

3.2.1.2.2. Definición de rugosidad. El perfil longitudinal de la superficie de la carretera se representa matemáticamente mediante el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), que captura las vibraciones provocadas por la rugosidad de una ruta en un vehículo de pasajeros común. Esto se obtiene mediante la simulación del modelo de matemáticas del cuarto de carro (Golden Car) a una velocidad de 80 km/h (Sayers, 1995).

En términos simples, el IRI se calcula al relacionar la acumulación del traslado del sistema de suspensión de un carro modelo con la distancia que ha recorrido el carro a una determinada celeridad de 80 km/h, expresándose en unidades de medida en mm/m o m/km.

De acuerdo con Sayers y Karamihas (1998), este indicador cumple con las siguientes condiciones:

- Estable en el tiempo: El IRI se fundamenta en la concepción de un perfil topográfico real, en lugar de en las características físicas de un tipo específico de herramienta.
- Transportable: Su valor se deriva a perfiles longitudinales obtenidos con diversas herramientas.
- Reproducible: utilizando diversos equipos para medir, como perfilómetros, equipos modelo respuesta o métodos de medición fijo.
- Relevante: indicador de la calidad superficial del pavimento que está relacionado con el bienestar del usuario y los gastos operativos del automóvil.

3.2.1.2.3. Cálculo del IRI (modelo del cuarto de carro). El cómputo del IRI se establece mediante modelos matemáticos y estadísticos que permiten derivar la medida de uniformidad relacionada con el pavimento, e incluye varias etapas. El primer paso es obtener las depresiones y elevaciones del perfil longitudinal de las pisadas de los neumáticos relacionadas con la vía utilizada como una herramienta de alta exactitud (Sayers & Karamihas, 1998). A continuación, se aplica un filtro preliminar, utilizando el análisis estadístico de la media móvil para originar un perfil suavizado reciente que permita:

- ✓ Aparentar como interactúa las llantas con el pavimento y analizar la desproporción.
- ✓ Disminuir la delicadeza de la notación del IRI al rango del prototipo

La suma de la ecuación 6 se utiliza para calcular un filtro de uniformidad de media móvil para un perfil muestreado a intervalos (Δ):

Ecuación 6

Elevación del perfil

$$h_{ps}(i) = \frac{1}{k} \sum_{j=i}^{i+k-1} h_{ps}(j) \quad ; \quad k = \max[1, \text{nint}(L_B/\Delta)] \quad (6)$$

Donde:

h_p = elevación del perfil

h_{ps} = elevación del perfil suavizado

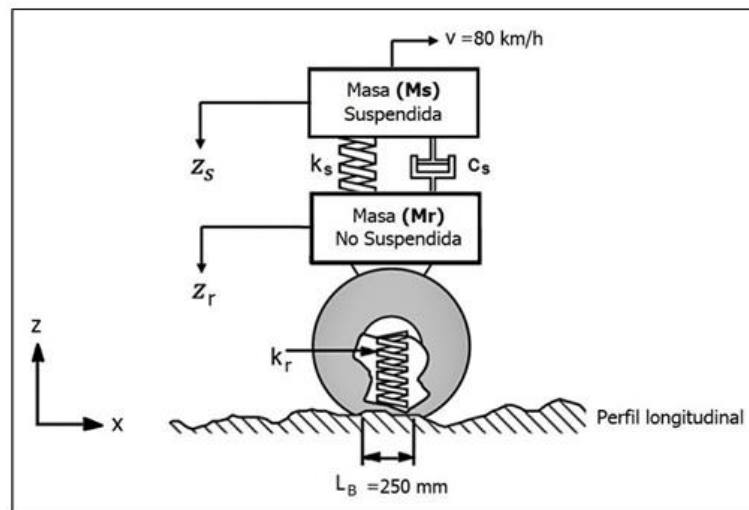
nint = entero más cercano

L_B = Longitud base de la media móvil, 250 mm

Este perfil recién creado recibe un segundo filtro, que incluye el uso del modelo de cuarto de carro. Este prototipo copia los atributos de la carretera basándose en los movimientos verticales que provoca un automóvil (Loría et al., 2014). Una masa amortiguada (la masa del cuarto del vehículo) se une a una masa no amortiguada (el eje y el neumático) mediante un resorte y una suspensión lineal; el neumático se representa mediante otro resorte lineal en el modelo de simulación del cuarto del automóvil, así como indica en la Figura 25 (Badilla, 2011).

Figura 25

Modelo matemático del cuarto de carro



Nota. Modelo de cuarto de carro que prácticamente es una interacción del neumático y la suspensión del auto. Obtenido de Cruz, J. (2022).

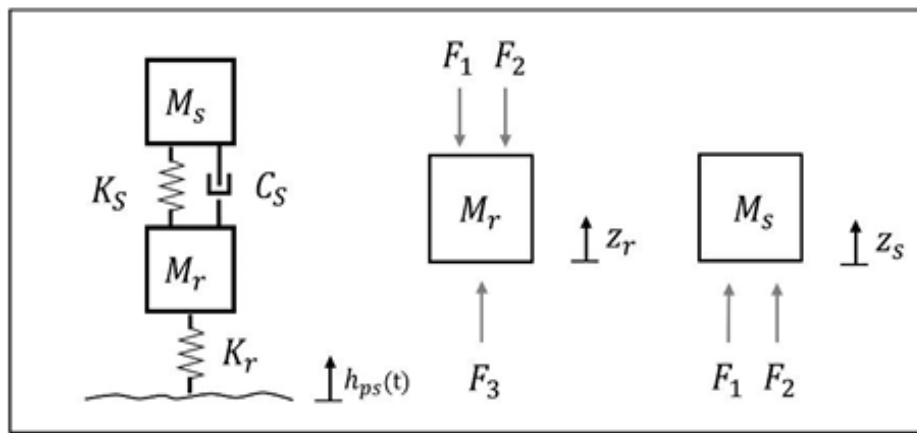
En su informe 228, la investigación del Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (NCHRP) presenta un conjunto específico de parámetros para un sistema de respuesta computarizado para un cuarto de carro, denominado Golden Car (Gillespie et al., 1998). Este modelo representa masas suspendidas y no suspendidas por (M_s) y (M_r) , respectivamente. El sistema de suspensión se encuentra compuesto por una fuerza elástica lineal

con una inflexibilidad de (k_s) y un amortiguador lineal que amortigua a una tasa (C_s), mientras que la llanta se modela mediante un resorte lineal rígido (K_r) y (z) representa la variación en el perfil longitudinal (Chen et al., 2020).

Se utiliza una velocidad constante de 80 km/h para medir el perfil. Las diferentes velocidades o aceleraciones verticales (Z_s y Z_r) en las masas colgadas y no colgadas son el resultado de la interacción dinámica en el sistema de ruedas causada por el pavimento irregular. En la Figura 26 muestra un diagrama de fuerzas, donde, aplicando la primera condición de equilibrio, se obtiene las ecuaciones siguientes:

Figura 26

Diagrama de cuerpo libre de las masas del sistema



Nota. Aplicación de la primera ley de Newton enfocado en el modelo de cuarto de carro.

Diagrama obtenido de Cruz, J. (2022).

$$F_1 + F_2 = M_s * Z_s$$

$$K_s(Z_r - Z_s) + C_s(Z_r - Z_s) = M_s * Z_s \quad (7)$$

$$F_3 - F_2 - F_1 = M_r * Z_r$$

$$K_r(h_{ps}-Z_r)+C_s(Z_r-Z_s)-K_s(Z_r-Z_s)=M_r*Z_r \quad (8)$$

Al dividir en ambos lados las Ecuaciones (7) y (8) por M_s simultáneamente, es posible reducir las formula de desplazamiento a las ecuaciones (9) y (10):

En la formula (9):

$$Z_s = -\frac{K_s}{M_s} * Z_s - \frac{C_s}{M_s} * Z_s + \frac{K_s}{M_s} * Z_r + \frac{C_s}{M_s} * Z_r$$

$$Z_s + K_2 * Z_s + C * Z_s - K_2 * Z_r - C * Z_r = 0 \quad (9)$$

En la formula (10)

$$Z_r = \frac{K_s}{M_r} * Z_s + \frac{C_s}{M_r} * Z_s - \frac{(K_r + K_s)}{M_r} * Z_r - \frac{C_s}{M_r} * Z_r + \frac{K_r}{M_r} * h_{ps}$$

$$Z_r + \frac{K_2}{\mu} * Z_s - \frac{C}{\mu} * Z_s - \frac{(K_1 + K_2)}{\mu} * Z_r + \frac{C}{\mu} * Z_r - \frac{K_1}{\mu} * h_{ps} = 0 \quad (10)$$

Donde:

$$C = \frac{C_s}{M_s} = 6 \quad ; \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15 \quad ; \quad K_1 = \frac{K_r}{M_s} = 653 \quad ; \quad K_2 = \frac{K_s}{M_s} = 63.3$$

De las ecuaciones dinámicas obtenidas en el prototipo que crean un sistema que utiliza como referencia de ingreso el perfil topográfico de la vía. Se determina y almacena el desplazamiento vertical del eje en cuanto a la masa suspendida, determinando así el valor del IRI en unidades de m/km (Sayers, 1995).

El tiempo se relaciona con la distancia longitudinal a la velocidad simulada del vehículo, como se indica en la ecuación 11:

$$t = \frac{X}{V} \quad (11)$$

Donde:

X=distancia longitudinal

V=velocidad (80 km/h)

La longitud por segundo debe utilizarse como unidad de velocidad, y las unidades de longitud deben ser iguales de “x”. Como resultado, el valor del IRI se puede calcular en la ecuación 12 para un tramo de una longitud específica:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L [Z_s - Z_r] dt \quad (12)$$

Donde:

IRI= Índice Internacional de Rugosidad (m/km)

L = longitud del tramo (km)

Dado que se trata de una ecuación lineal, si el IRI de una sección de 500 m es 1.0 m/km y el IRI de la sección siguiente de 500 m es 2.0 m/km, el IRI para el kilómetro completo se calcula como un promedio aritmético simple, resultando en 1.5 m/km (Sayers, 1995).

3.2.1.2.4. Equipos para la medición del perfil longitudinal. Seguidamente, se describen las diferentes herramientas o equipos utilizados para calcular el IRI mediante correlaciones u obtener el perfil longitudinal. Estos equipos varían según la celeridad con el que se recopilan los datos y se determina la exactitud de la medida.

a) Nivel y mira topográfico

Aquel equipo se compone con el nivel topográfico y mira de precisión, con unidades para medir los desniveles en centímetros, como esta en la Figura 27. Este modelo ofrece un alto nivel de precisión, permitiendo que se obtenga el perfil longitudinal de la vía en forma exacta. No obstante, su proceso de operación es muy lento y se considera de baja calidad, por lo que generalmente se utiliza para calibrar equipos de mayor complejidad. Su alcance se limita a la evaluación de proyectos y en el control de calidad para nuevos proyectos.

Figura 27

Nivel y mira topográfico



Nota. Instrumentos que ocupa el nivel de ingeniero, clasificado como una herramienta clase 1 pero de pésimo rendimiento operativo. Obtenido de Cruz (2022)

b) Dipstick

Este prototipo que se exhibe en la Figura 28 se fundamenta en el uso de un inclinómetro sostenido a dos respaldos, que están separados a una longitud que varía de 250 a 300 mm. Este dispositivo proporciona buscar la elevación de un soporte con relación a otro, girando el dispositivo sobre cada soporte, acompañando un tramo del camino previamente notable. Puede registrar entre diez y quince lecturas por minuto, con un margen de fallo de ± 0.127 mm cuando se mide el perfil topográfico (Loría et al., 2014). Se utiliza normalmente para confirmar los resultados de los perfilómetros inerciales o para calibrar otros dispositivos, incluidos los equipos de modelos de respuesta.

Figura 28

Equipo Dipstick



Nota. Equipo de bajo rendimiento, pero una precisión alta para obtener información in situ de una evaluación superficial. Obtenido de Cruz (2022)

c) Perfilógrafos

Como se puede observar en la figura 29, estos dispositivos económicos y fáciles de usar están compuestos por un pequeño neumático anclado en el centro del bastidor que acepta un movimiento vertical sin restricciones. Es posible evaluar pequeños movimientos y ondulaciones de la superficie de rodadura a una distancia de aproximadamente 6 metros registrando la divergencia del bastidor con respecto a un plano de referencia y el movimiento de la rueda (Pradena, 2006). Aunque estos aparatos destacan por su bajo costo y fácil uso, tienen un bajo desempeño y se utilizan generalmente para el control de calidad en nuevos proyectos, para identificar y corregir los defectos del pavimento.

Figura 29

Equipo Perfilógrafo de California



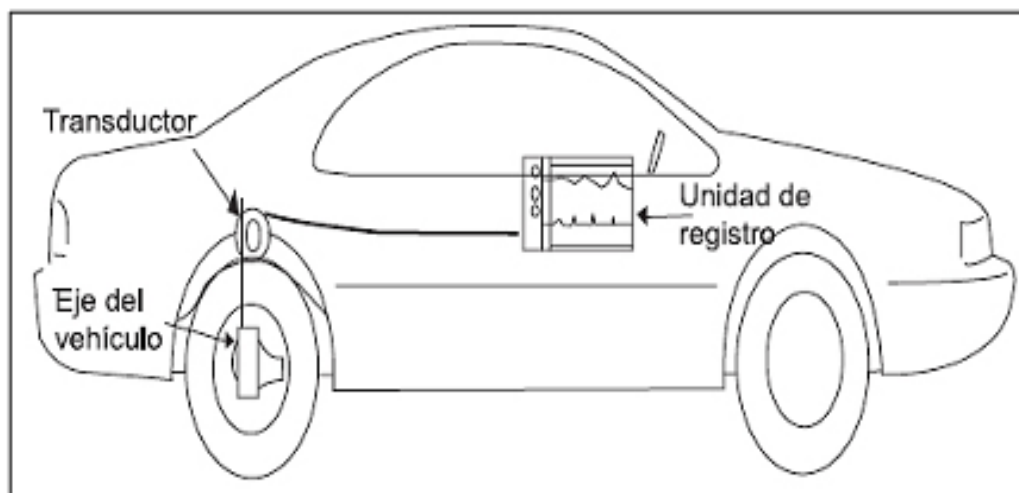
Nota. Es un prototipo de una precisión media y que no es apto para proyectos a nivel de red en evaluaciones de fallas, generalmente se utilizaba en proyectos nuevos para el control de calidad de la vía. Obtenido de Cruz (2022)

d) Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS)

De la figura 30 se dice que este prototipo, son instalados en automóviles ligeros, que registra una respuesta al vehículo y que provocan distancias relativas entre la carrocería y el eje del automóvil. Es posible medir la respuesta del vehículo al desplazarse sobre la superficie del camino, proporcionando una evaluación arbitraria de la calidad de la vía (Badilla, 2011). Aunque, estos equipos de modelo respuesta operan a velocidades normales en las vías, cuando se comparan mediciones realizadas en diferentes fechas, los resultados de regularidad no son estables.

Figura 30

Equipo tipo respuesta (RTRRMS)



Nota. Es un método muy conocido en proyectos de carreteras ya que la recolección de campo y procesamiento es fácil de obtener, sirve para evaluaciones a nivel de red. Obtenido de Cruz (2022).

e) Equipo Merlin

De la figura 31 se indica que es uno de los equipos más conocidos el MERLIN, es un dispositivo simple y económico que estima la uniformidad del pavimento, y así midiendo las deformaciones de la superficie de rodadura en una longitud (Cundill, 1991). Este prototipo tiene una clasificación de clase 3 de acuerdo con los criterios establecidos por el Banco Mundial, debido a los hallazgos del IRI se adquieren mediante correlaciones. Como se ve en la figura 31, está fabricado con una armadura aleación de 1,8 metros de largura, con un neumático en la zona de adelante, con una base sólida en la parte de atrás y un apoyo medio oscilante. Ese soporte compara la altura de un punto con la plataforma que ahora está compuesta de dos puntos (Varma et al., 2016).

Figura 31

Equipo MERLIN



Nota. Modelo que se utiliza en la actualidad con más frecuencia para el control de nivel de servicio, ya que es un equipo para evaluar muestras y su posterior análisis de mantenimiento.

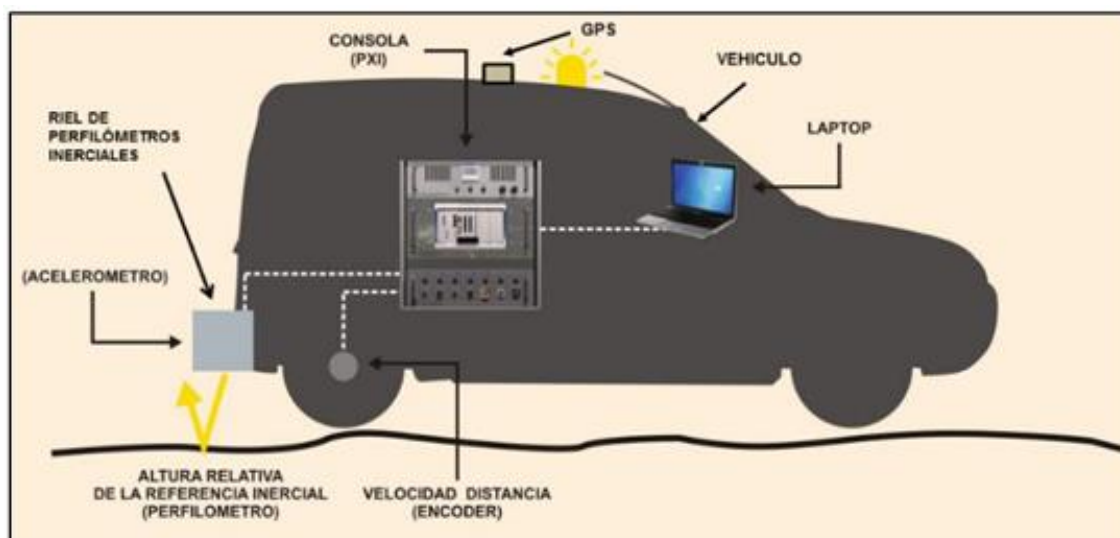
Obtenido de Cruz (2022)

f) Perfilómetro Inercial

A continuación, en la figura 32 se indica que mediante estos equipos que aceptan determinar los perfiles longitudinales con gran eficiencia y precisión, debido a que puede obtener información a una celeridad de 80 km/h. Los acelerómetros de un automóvil que registran descensos verticales se utilizan junto con un modelo inercial para realizar la medición. Los movimientos relativos del vehículo a medida que se desplaza por la superficie de la carretera también se miden mediante sensores infrarrojos (Pradena, 2006). Para evaluaciones de redes viales, estos equipos son extremadamente efectivos.

Figura 32

Perfilómetro Inercial



Nota. Aparato más preciso, pero de un costo elevado este es similar al equipo tipo respuesta sin embargo la diferencia es amplia ya que esta te resultados en la misma evaluación. Obtenido de Cruz (2022).

Las características fundamentales de los aparatos empleados para evaluar la uniformidad superficial del pavimento son resumidas en la Tabla 6, desde la escala de mayor rendimiento hasta la deficiente.

Tabla 6

Equipos empleados para la medición del IRI

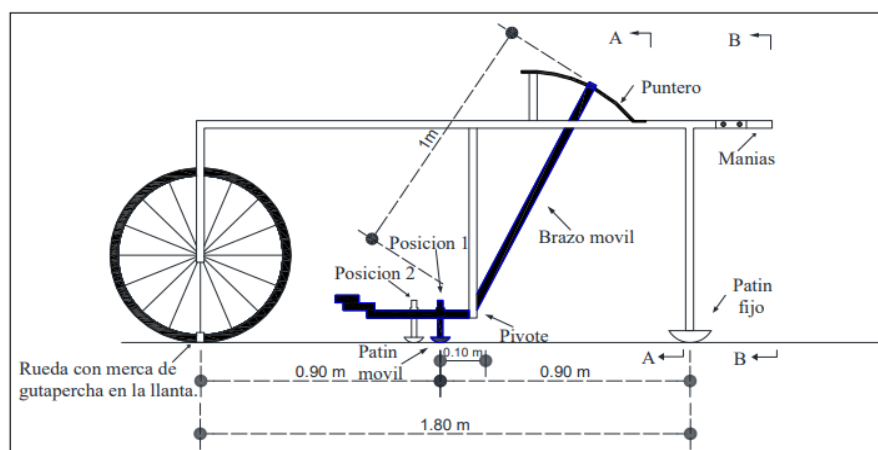
Equipo	Nivel de precisión	Implementación	Observaciones
Nivel y prisma topográfico	Muy alto	Calibración y medición de perfiles de dispositivos más complejos	No se recomienda para evaluaciones de red debido a su desempeño deficiente.
Disptick	Muy alto	Medición de perfil y calibración de dispositivos más complejos	No se recomienda para evaluaciones de red debido a su desempeño deficiente.
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de proyectos nuevos	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Evaluación a nivel de red	Los resultados no son trasladables ni permanentes, dado que se basan en la dinámica del movimiento del vehículo.
MERLIN	Medio	Evaluación a nivel de proyecto	No se recomienda para evaluaciones de red debido a su desempeño deficiente.
Perfilómetro inercial	Muy alto	Recepción y evaluación de proyectos a nivel de red	Resultados que se pueden transportar y mantener en el tiempo. La evaluación de redes viales es su principal uso.

Nota. Diferencias que existen en todos los prototipos descritos anteriormente, en precisión e implementación. Adaptado de Cruz (2022)

3.2.1.2.5. Fundamentos teóricos del Merlín. El Merlín Roughness Meter (Medidor de Rugosidad Merlín), desarrollado por el “Laboratorio de Investigación de Transportes y Carreteras Británicos (TRRL)” con la premisa del perfilómetro estático, tiene como objetivo proporcionar un método de análisis económico, simple y preciso. El MERLIN es un dispositivo de diseño sencillo, como se observa en la figura 33. Este se compone de una estructura que consta de una sección horizontal y dos verticales, con dos soportes inclinados fijados lateralmente al elemento vertical trasero. Durante las pruebas, uno de estos soportes se coloca en el lado derecho del suelo para estabilizar la maquinaria, mientras que el otro se sitúa en el lado izquierdo para sostenerla. En la parte delantera, hay una rueda que facilita el movimiento y el funcionamiento. Además, el dispositivo cuenta con dos asas que permiten desplazarlo sobre el aro y levantarlo, como una carretilla, mientras que la parte superior se extiende hacia atrás (Del Águila, 1999).

Figura 33

Prototipo de rugosímetro Merlín



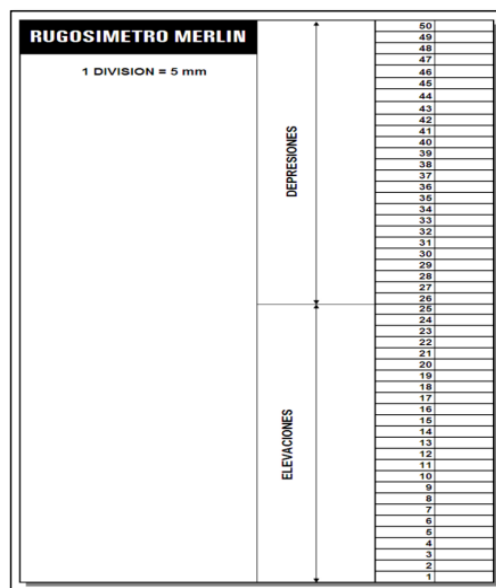
Nota. Partes laterales y componentes del equipo rugosímetro Merlin desde la rueda, patín, puntero, etc. Adaptado a Del Águila (1999).

Un brazo móvil pivota desde la parte inferior de una barra vertical que se extiende hacia abajo, aproximadamente en el centro del componente horizontal, sin hacer contacto con el suelo. En el extremo superior del brazo móvil, hay un puntero que se desliza sobre el borde de una tabla. Este puntero está equipado con un patín fijo y ajustable que compensa las imperfecciones del pavimento. Cuando la base del patín móvil entra en contacto con el suelo, el extremo inferior del brazo flexible también lo hace, interactuando con el pavimento (Del Águila, 1999).

La escala del dispositivo es un gráfico que consta de 50 divisiones de 5 milímetros de grosor cada una, diseñado para registrar el valor seleccionado por el puntador, como se indica a continuación en la Figura 34:

Figura 34

Escala utilizada para medir el grado de difusión de las variaciones de la carpeta de la vía con relación al nivel estándar

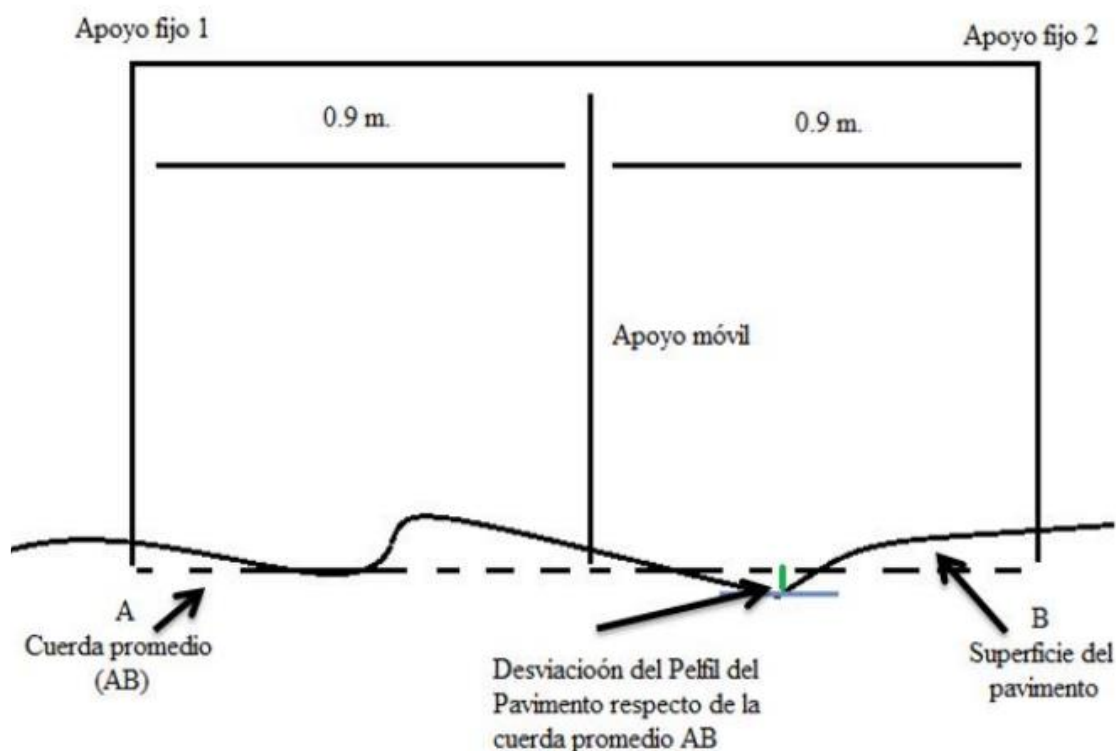


Nota. Valores que indican si pertenece a las elevaciones o depresiones ya que con 200 lecturas representa 400 metros en un lado del carril. Adaptado de Del Águila (1999).

La medición de la uniformidad de la carretera basada en la forma en que las variaciones de la superficie se distribuyen en relación con una línea imaginaria representativa. El dispositivo Merlín mide la separación vertical entre la superficie de la vía y el origen de esta línea hipotética de longitud continua, como se puede apreciar en la imagen 35. El concepto de desviación de la cuerda media se emplea para caracterizar este desplazamiento (Del Águila, 1999).

Figura 35

Medición de las variaciones con respecto a la cuerda media de la plataforma de la vía



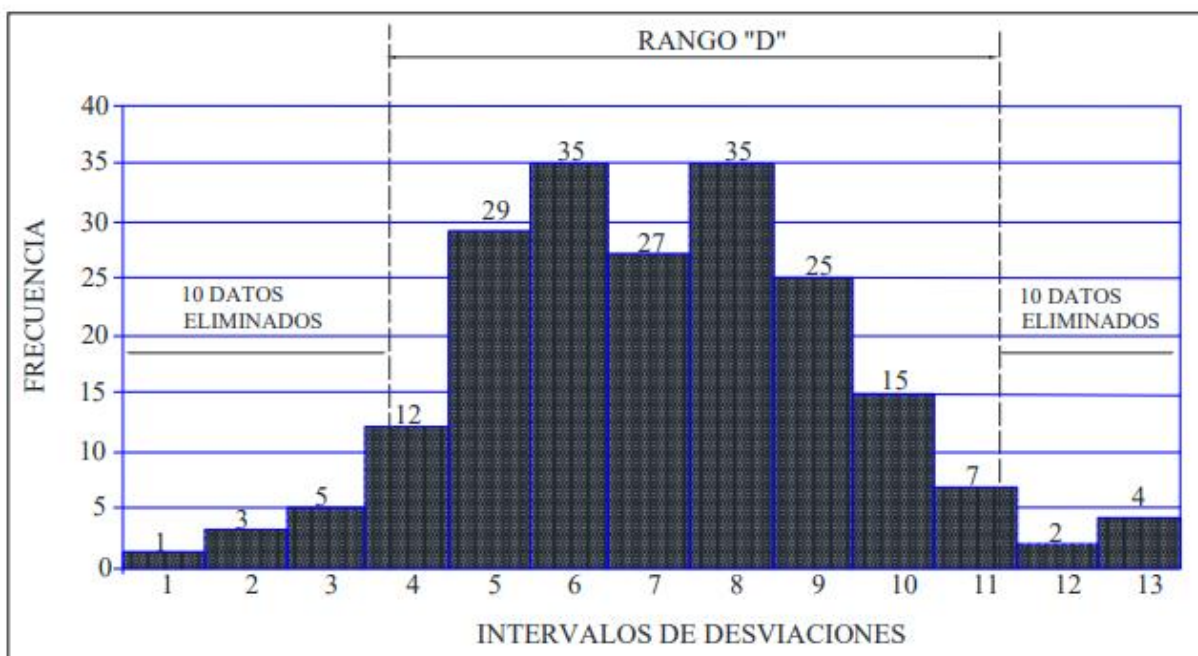
Nota. Relación que existe entre el patín móvil, patín fijo y la rueda, con una longitud de 1.80 metros. Obtenido de Del Águila (1999).

La largura estándar de la manija es de 1.80 metros, ya que se ha determinado que los resultados de correlación son más precisos con esta longitud. Se requiere realizar 200

mediciones consecutivas a lo largo de la calzada, con un espaciado regular entre ellas, para evaluar la variabilidad del desplazamiento y su relación inversa con la rugosidad de la superficie. La distribución de frecuencias de las desviaciones se representa en un histograma, lo que permite correlacionarlas con una escala estándar de rugosidad basada en las 200 observaciones. El rango de la muestra (D), como se muestra en la Figura 36, se obtiene después de excluir el 10% de las observaciones extremas del histograma, lo que determina el grado de dispersión. El valor D, expresado en unidades Merlín, indica la uniformidad de la carretera (Del Águila, 1999).

Figura 36

Gráfico que muestra la distribución de frecuencias de las 200 desviaciones medidas secuencialmente de la muestra



Nota. Histograma de los 200 apuntes tomados de campo en la cual se descartan 10 datos de ambos lados y los demás datos denominado rango D, sirven para el análisis. Obtenido de Del Águila (1999).

El indicador de rugosidad y la rugosidad evaluada por el Merlín se relacionan mediante las siguientes fórmulas, las cuales se utilizan para normalizar la salida de los diferentes equipos disponibles en el mercado:

$$\text{Cuando; } 2.4 < \text{IRI} < 3.4, \text{ entonces el } \text{IRI} = 0.593 + 0.0471D \quad (13)$$

$$\text{Cuando; } \text{IRI} < 2.4, \text{ entonces el } \text{IRI} = 0.0485D \quad (14)$$

Mediante simulaciones por ordenador utilizando un fundamento de información de una investigación mundial sobre regularidad realizada en Brasil de 1982, TRRL creó la primera fórmula, conocida como Expresión 13. Esta fórmula de correlación reconocida puede aplicarse para evaluar vías con superficies asfálticas, granulares o de tierra que estén actualmente en uso, siempre que la rugosidad del pavimento esté dentro del rango especificado.

Por otro lado, la fórmula de correlación derivada de la experiencia peruana se presenta en la expresión 14. Esta nueva ecuación fue desarrollada después de determinar que el cálculo anterior realizado por TRRL no era relevante para más de 3,000 km de pavimentos, especialmente en el caso de vías asfálticas recién instaladas o ligeramente distorsionados. Este nuevo enfoque se basa en los mismos métodos utilizados por el laboratorio británico (Sachún, 2016).

Luego, para calibrar el equipo, si el puntero se posiciona en la marca 25 del tablero, se calibra inicialmente sobre una superficie plana y horizontal. Alternativamente, el patín móvil se ajusta para calibrar el equipo. Posteriormente, se mide el grosor promedio de la pastilla para calibrar (EP) a partir de los cuatro valores polares opuestos de ésta, y se registra la lectura final del tablero (LF) con la tableta colocada debajo del patín móvil. Este proceso proporciona una indicación de la precisión de la calibración, como lo demuestra la ecuación 15:

Ecuación 15

Cálculo del factor de corrección

$$F.C.=\frac{(EP \times 10)}{[(LI-LF)]} \times 5 \quad (15)$$

El siguiente procedimiento implica realizar 200 observaciones de las “irregularidades del pavimento”. Una vez completada la sección de estudio, este proceso se repite. Posteriormente, se crea una representación gráfica utilizando una muestra de 200 desviaciones, y se determina el parámetro D así la anchura de la representación gráfica (histograma), luego de eliminar las fracciones derivadas de los datos eliminados, considerando el 5% de los datos en los extremos inferiores y superiores. Finalmente, se evalúa el rango D. La observación debe llevarse a cabo estacionando el aparato a intervalos de 2 metros, lo que implica que cada prueba debe llevarse a cabo después de una vuelta completa de la rueda:

- ✓ Si la ubicación del patín está ubicada a 10 cm del punto de pivote la relación de brazos utilizada será de 1 a 10.
- ✓ Si el patín móvil está ubicada a 20 cm del punto de pivote, la relación de brazos será de 1 a 5. Si se utiliza esta posición, el valor determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

Después de este paso, se calcula el rango ajustado “D corregido”, como se muestra en la Ecuación 16, que requiere una corrección para la relación entre los brazos y el cuerpo, así como el factor de corrección FC. Al utilizar este valor en condiciones estándar, se cuantifica la rugosidad en “Unidades Merlín”.

Ecuación 16

Cálculo del valor D corregido

$$D \text{ corr} = RB * FC * D \quad (16)$$

Luego, se procede a calcular el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), transformando la medida de rugosidad a la escala IRI mediante la siguiente fórmula:

- a. Cuando $2.4 < IRI < 15.9$ ó $D \geq 50$ mm, entonces usar la Ecuación 17:

Ecuación 17

Cálculo Valor IRI

$$IRI=0.593+0.0471 D \quad (17)$$

- b. Cuando $IRI < 50$ mm, entonces usar la Ecuación 18:

Ecuación 18

Cálculo Valor IRI

$$IRI=0.0485 D \quad (18)$$

Donde:

IRI: Índice de rugosidad internacional

D: Rugosidad en unidades merlín, mm

Y finalmente, con la Ecuación 19, se calcula el IRI típico:

Ecuación 19

Cálculo del IRI característico

$$IRIc=IRI_{prom}+1.645 \sigma \quad (19)$$

Donde:

IRIc: IRI característico

IRI_{prom}: IRI promedio

σ : Desviación estándar

Se ha demostrado que el IRI es un indicador clave de rendimiento en la gestión de carreteras en Perú, ya que está asociado con aspectos cruciales como el confort, la seguridad y los costos operativos, lo que facilita la evaluación de los beneficios para los usuarios. A pesar de que existen diversas estrategias de control implementadas por distintas entidades según sus necesidades y especificaciones, actualmente carecemos de una metodología nacional definida para la evaluación de la rugosidad, como una Norma Técnica Peruana. En su lugar, nos basamos en estándares como ASTM E 950 y las directrices del Banco Mundial para el uso de dispositivos de Clase 3, así como el “Método de Prueba Estándar para Medir el Perfil Longitudinal de Superficies Recorridas con una Referencia de Perfil Inercial Establecida por un Acelerómetro” para dispositivos de Clase 1. Aunque estas directrices son reconocidas internacionalmente, falta un respaldo por parte de organizaciones nacionales que se encarguen de normalizar, actualizar y difundir esta información de manera más amplia.

3.2.1.2.6. Serviciabilidad presente – PSI. La operación de servicio de las carreteras se evalúa mediante el PSI, un estándar que indica el estado actual o funcional de la vía. Estas métricas fueron concebidas por el comité especialista de la AASTHO en 1957. Se proporciona una clasificación de los valores PSI en una escala del 0 al 5, donde el valor más alto representa condiciones ideales. La expresión de Sayers, que vincula el índice de servicio y la rugosidad, se emplea para calcular el PSI en el contexto peruano, como se observa en las Ecuaciones 20 y 21. Este término fue desarrollado como una correlación utilizando datos de la Prueba Internacional Brasileña de Rugosidad de Carreteras de 1982.

Ecuación 20

Cálculo del IRI en relación con el PSI

$$IRI=5.5 \ln\left(\frac{5.0}{PSI}\right) \quad (20)$$

Ecuación 21

Cálculo del IRI en relación con el PSI

$$PSI=\frac{5.0}{\exp\left(\frac{IRI}{5.5}\right)} \quad (21)$$

Donde:

IRI: International Roughness Índice

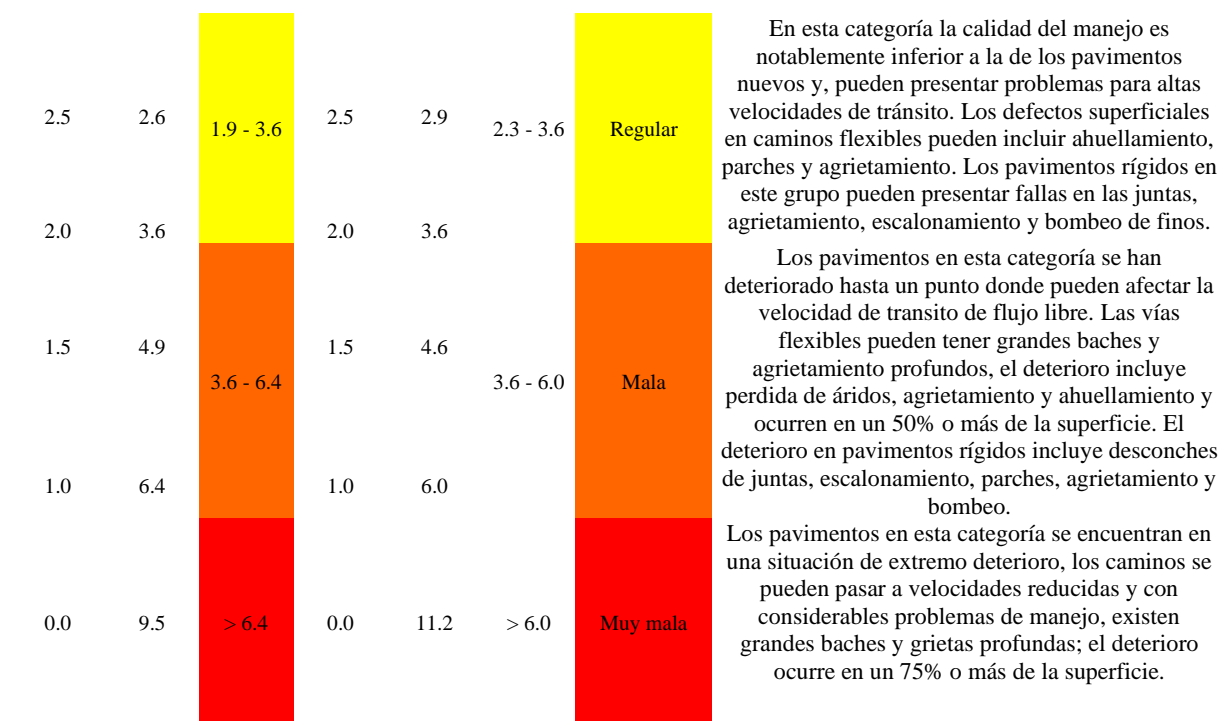
PSI: Present Serviceability Índice

Según los datos PSI obtenidos, en los parámetros subsecuentes, la calificación descriptiva de la calidad del servicio ofrecido por el pavimento en un momento dado es la transitabilidad de la carretera, como se aprecia en las Tablas 7 y 8 (Del Águila, 1999).

Tabla 7

Valores y rangos característicos del IRI en relación con el PSI

Pavimentos Flexibles (Modelo de AASHTO)			Pavimentos Rígidos (Modelo de AASHTO)			Clasificación	Descripción AASHTO
Valores de PSI	Valores de IRI	Rango de IRI	Valores de PSI	Valores de IRI	Rango de IRI		
5.0	0.0	0 - 1.0	5.0	0.0	0 - 1.4	Muy buena	Solo los pisos nuevos (o casi nuevos) deben ser lo suficientemente suaves y sin daño para ser clasificados en esa categoría. La mayoría de los pavimentos que se construyeron o recarpetearon durante el año de inspección se clasificaran generalmente como muy buenos.
4.2	0.8		4.5	1.0			
4.0	1.0		4.0	1.4			
3.0	1.9	1.0 - 1.9	3.0	2.3	1.4 - 2.3	Buena	Los pavimentos de esta categoría si bien no son tan suaves; sino que entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial como desprendimiento y fisuras menores.



Nota. Comparación de rangos y valores del PCI e IRI y una pequeña descripción de conservación de acuerdo a los parámetros. Adaptado de Barrantes (2011)

Tabla 8

Nivel de capacidad de servicio

Indicador de Servicialidad (PSI)	Calificación
5 – 4	Muy buena
4 – 3	Buena
3 – 2	Regular
2 – 1	Mala
1 – 0	Muy mala

Nota. Valores del PSI y grado de cualificación que puede tomar una vía después de ser evaluada. Adaptado de la AASTHO (1993).

3.2.1.3. Índice de deflexiones. La técnica para evaluar el pavimento con el equipo deflectómetro de impacto liviano (LWD), conforme a la norma técnica ASTM E 2583-07, se lleva a cabo en superficies sin carpeta asfáltica. Consiste en aplicar el impacto de una masa sobre

el pavimento, siendo una de las opciones más efectivas para comprender el comportamiento in-situ de las capas del pavimento. El uso del deflectómetro ligero (LWD) ha ganado interés creciente, particularmente debido a la demanda de pruebas de campo del módulo de superficie en las capas de pavimento. Este equipo portátil se considera una herramienta rápida y económica cuando se utiliza de manera adecuada.

El deflectómetro de impacto liviano (LWD) es específicamente diseñado para realizar mediciones in-situ de los módulos elásticos de bases, subbases y subrasantes de pavimentos compuestos por materiales no ligados. (Ingenieros MTV Perú, 2022).

3.2.1.3.1. Evaluación con light weight deflectometer – LWD. El principio de funcionamiento del equipo LWD es similar al del FWD, pero con cargas considerablemente menores. Consiste en un dispositivo de carga que genera una carga dinámica, la cual impacta el suelo a través de un plato de carga y registra la deflexión mediante geófonos.

Fabricado originalmente en Dinamarca, el mercado actual ofrece diversas marcas y tipos de LWD, cada uno con un diseño y modo de operación diferentes, lo que puede afectar la variabilidad de las mediciones obtenidas con cada uno.

El LWD se destaca como una opción económica y sencilla para ensayos estáticos de carga, ya que su peso es inferior a los 30 kilogramos, lo que facilita su transporte a sitios de construcción de pavimentos. Este equipo aplica una carga de alrededor de 10 kN, simulando el movimiento de un automóvil. Las principales partes del LWD incluyen, según se ve en la imagen 37:

Figura 37

Partes del Deflectómetro de impacto liviano



Nota. Aparato portátil y versátil que muestra todas sus partes. Adaptado de Dynatest, (2022)

El equipo se utiliza colocándolo sobre la superficie a medir con el plato correctamente apoyado. Luego, se eleva la carga hasta alcanzar la altura necesaria para aplicar la presión deseada sobre la capa en evaluación, y se suelta la carga libremente. Una barra con una manija ajustable y un dispositivo de seguridad se utiliza para determinar la altura desde la cual cae el peso. Cuando la carga impacta sobre los amortiguadores de caucho, estos determinan la duración y el valor pico del pulso de carga. Un mayor número de amortiguadores resulta en un pulso más corto y un pico de carga más alto.

3.2.1.3.2. Trabajos de campo. El proceso de medición comienza con la correcta identificación del conductor del vehículo y asegurando que solo el operador autorizado maneje el equipo. Luego, el técnico a cargo, junto con el ingeniero responsable, determina el punto de inicio, así como los cambios de carril, la distancia entre mediciones y cualquier singularidad en la vía.

Una vez establecido el punto de inicio, se enciende el equipo deflectómetro LWD y se conecta a un dispositivo móvil a través de la aplicación “LWD 3032” para registrar los ensayos no destructivos. Se verifica la comunicación y la capacidad de registro de datos, realizando una prueba con el deflectómetro liviano para confirmar su correcto funcionamiento.

Después, se coordina con el personal de seguridad para ingresar a la zona de medición, verificando el funcionamiento de los equipos de comunicación y llevando a cabo las pruebas necesarias. Al finalizar las mediciones del día, se exportan los registros de campo desde la aplicación y se apaga el equipo. Se asegura que el deflectómetro esté completamente seguro y listo para su almacenamiento.

3.2.1.3.3. Parámetros estructurales de deflectometría. Son trabajos de gabinete donde se procesa el análisis de datos de campo como se muestra a continuación.

a. Corrección por carga

La corrección por carga se refiere a un factor utilizado para ajustar las mediciones de deflexión del impacto a un estándar establecido. La ecuación 22 proporciona el factor de rectificación recomendado por la Guía (AASHTO, 1993):

Ecuación 22

Corrección por carga

$$\Delta_{ir} = \Delta_i * \left(\frac{P_r}{P}\right) \quad (22)$$

Donde:

Δ_{ir} : Deflexión corregida a la carga de referencia en el sensor i.

Δ_i : Deflexión medida con el Deflectómetro de impacto en el sensor i.

P_r : Carga de referencia (aproximado al promedio de las cargas)

P : Carga actuante en el ensayo con el Deflectómetro.

La carga de referencia se basa en la carga de diseño teórica y, en teoría, todas las mediciones deberían corregirse en todos los sensores. Sin embargo, muchos investigadores no están de acuerdo con este enfoque y sugieren aplicar la corrección por factor de carga solo en casos de comparación, donde se necesita una carga de referencia. En esos casos, se realiza un retro cálculo con las cargas medidas en campo.

La comparación de mediciones es crucial en ingeniería para verificar metodologías, validar nuevas tecnologías, etc. Con el Deflectómetro de Impacto, si se realizan ensayos en una misma sección en momentos diferentes, se puede observar el progresivo deterioro de la capacidad estructural del pavimento. Esto es fundamental en la gestión de la infraestructura vial, ya que permite desarrollar modelos predictivos propios o calibrar modelos desarrollados por otras agencias o países.

b. Radio de curvatura

Una característica crítica de la línea elástica de deflexión es el radio de curvatura que calcula la deformación lineal por tracción que experimentan las capas que se vuelven elásticas cuando se flexionan bajo cargas. Este parámetro tiene en cuenta las unidades y la distancia (0,2 m) entre el primer y el segundo punto de medición.

Para la diligencia de los formatos SIC 27, el radio de curvatura (R_c) se calculó mediante la Ecuación 23:

Ecuación 23

Radio de curvatura

$$R_c = \frac{20000}{(D_0 - D_{200})} \quad (23)$$

Para calcular el radio de curvatura, se necesita el sensor ubicado a 200 mm del centro del plato, para lo cual se interpolará entre el sensor D_0 ubicado a 0 mm y el sensor D_{300} ubicado a 300 mm del centro del plato, como se indica en la Ecuación 24:

Ecuación 24

Sensor ubicado a 200 mm del centro del plato

$$D_{200(\text{interpolada})} = \frac{(D_0 + 2D_{300})}{3} \quad (24)$$

Donde:

R_c : Radio de curvatura, en metros, sin decimales.

D_0 : Deflexión en el centro de impacto, en 1/1000 mm y sin decimales.

D_{20} : Deflexión a 0.20 m aprox., en 1/1000 mm y sin decimales. (Interpolada)

D_{30} : Deflexión a 0.30 m aprox., en 1/1000 mm y sin decimales.

c. Modulo según la teoría de Boussinesq

En los tramos medidos con el LWD, el módulo in situ se calcula basándose en la teoría elástica de Boussinesq, asumiendo una capa de suelo isotrópica homogénea.

Por lo tanto, la relación de Poisson y el factor de forma se asignan como parámetros de entrada al software para calcular el módulo mediante la Ecuación 25.

Ecuación 25

Módulo de superficie

$$E_{LWD} = \frac{f \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma \cdot r}{\delta} \quad (25)$$

Donde:

E_{LWD} : Modulo de la superficie (MPa).

σ : Fuerza aplicada (Kpa)

f : Factor de forma (valor asignado de 2)

δ : Deflexión de la superficie (μm)

ν : Ratio de Poisson (0.35 para material granular)

r : Radio del plato (mm)

d. Numero estructural efectivo (S_{Neff})

De acuerdo con la guía de diseño AASHTO-93, la capacidad estructural de un pavimento se representa a partir de la información del cuenco de deflexión, del módulo equivalente y del espesor total del modelo estructural, y se determina mediante la ecuación 26:

Ecuación 26

Número estructural efectivo

$$SN_{\text{eff}} = 0.0045 * D * \sqrt[3]{E_p} \quad (26)$$

Donde:

SN_{eff} : Número estructural efectivo.

D: Espesor total del pavimento (pulgadas)

E_p : Modulo efectivo de todas las capas del pavimento (lb/pulg²).

e. Módulo resiliente (Mr)

Dado que los espesores del pavimento recién construido son conocidos de antemano, el valor del módulo resiliente (Mr) se obtiene de acuerdo con la guía de diseño AASHTO-93 y la fórmula siguiente. Los módulos elásticos se calculan mediante el programa LWD Mod mediante el retrocálculo de la ecuación 27:

Ecuación 27

Deflexión central

$$d_0 = 1.5P * a \left(\frac{1}{\sqrt[2]{MR \sqrt{1 + \left(\frac{D^3}{a} * \sqrt[3]{\frac{E_p}{MR}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p}} \right) \quad (27)$$

Donde:

d_0 : Deflexión central (mm)

P: Presión del plato de carga (psi)

a: Radio del plato carga (pulg)

D: Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante (pulg)

Mr: Módulo resiliente de la subrasante (psi)

Ep: Módulo efectivo de las capas que conforman el pavimento (psi).

f. Deflexión admisible

El cálculo del CBR se realizó utilizando la ecuación 28 de AASHTO, según lo mencionado en el “Manual de Suelos y Pavimentos del MTC”:

Ecuación 28

Módulo de Resiliencia de la subrasante retro calculado

$$M_R(\text{psi})=2555*\text{CBR}^{0.64} \quad (28)$$

Donde:

Mr: Retro calculado el módulo de resiliencia de la subrasante (psi).

También según Conrevial lo define a la deflexión admisible como se muestra en la ecuación 29:

Ecuación 29

Deflexión admisible

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (29)$$

Donde:

Da: Deflexión admisible (Según Conrevial)

N: ESAL de diseño (En millones de ejes equivalentes)

g. Valor característico de las deflexiones

En cada parte uniforme, se calcula un valor equivalente a las deflexiones, conocido como deflexión característica (D_c). Esta se define en la Ecuación 29 de la siguiente manera.

Ecuación 29

Deflexión característica

$$D_c = X + Z * S \quad (29)$$

Donde:

D_c : Deflexión característica

X: Promedio de la deflexión característica

Z: 0.842 (Según manual de Mantenimiento o Conservación Vial)

S: Desviación Estándar.

Como se indica en el pie de página de la subsección 3b, de Manual de Carreteras en Conservación Vial (2014), los estándares de servicio en calzada, se calcula el valor característico se tiene en cuenta la confiabilidad del diseño de los pavimentos propuestos. Para el servicio, se adopta un valor del 90%, como se indica en la Figura 38.

Figura 38

Niveles de servicio para calzada

(1)	IRI característico (IRI_c) a la confiabilidad de 95%	$IRI_c = IRI_p + 1.645 \times ds$
(2)	IRI característico (IRI_c) a la confiabilidad de 90%	$IRI_c = IRI_p + 1.282 \times ds$
(3)	IRI característico (IRI_c) a la confiabilidad de 85%	$IRI_c = IRI_p + 1.036 \times ds$
(4)	IRI característico (IRI_c) a la confiabilidad de 80%	$IRI_c = IRI_p + 1.842 \times ds$
(5)	IRI característico (IRI_c) a la confiabilidad de 75%	$IRI_c = IRI_p + 1.674 \times ds$
	$IRI_p =$ IRI promedio	
	$ds =$ desviacion estandar	

Nota. Parámetros de serviciabilidad que presenta la vía a partir de una evaluación y obtener el IRI. Obtenido del *Manual de Carreteras en Conservación Vial* (2014)

3.2.2. Estado de conservación del micropavimento

La condición general de la conservación de la superficie de rodadura y el paquete estructural de una vía pavimentada con asfalto (Araníbar y Saavedra, 2019).

Son características que se da en una pavimento que nos describe en que forma se encuentra y deterioros presenta (Salgado y Sotomayor, 2024).

“Consiste en los trabajos de campo y gabinete, realizados para generar información que permiten describir el estado del micropavimento, a lo largo del periodo de vida útil del mismo” (Idecvial Tv, 2021, 1h02m24s).

Asimismo, el autor identifica que se clasifican en tres evaluaciones para determinar el estado superficial, funcional y estructural:

3.2.2.1. Estado superficial. Situación actual de la descripción e inventario de fallas superficiales del pavimento y comprensión de sus mecanismos (Idecvial Tv, 2021).

3.2.2.2. Estado funcional. Situación presente del confort y seguridad vial que la carretera proporciona a los usuarios (Idecvial Tv, 2021).

3.2.2.3. Estado estructural. Condición circunstancial de la capacidad de soporte de las capas del pavimento (Idecvial Tv, 2021).

Según la investigación “Estado del arte de la Ingeniería de Pavimentos” del ingeniero Andrés Sotil Chávez, a medida que la conservación de la carretera ya no resulta adecuada, se

requiere realizar obras de reconstrucción que contribuyan a mejorarla. Sotil Chávez recomienda tomar las acciones correctivas siguientes:

Tabla 9

Categoría de acción

Clasificación PSI		Categoría de Acción
0 – 1	Muy malo	Rehabilitación – Reconstrucción
1 – 2	Malo	Rehabilitación – Reconstrucción
2 – 3	Regular	Mantenimiento Correctivo
3 – 4	Bueno	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
4 – 5	Muy bueno	Mantenimiento Preventivo o Mínimo

Nota. Categorización del PSI y la acción preventiva o intervención según los valores obtenidos a partir de una evaluación en una vía. Adaptado de Sotil (2014).

Según lo señalado en la Tabla 9, el mantenimiento preventivo tiene como objetivo proteger la superficie de la vía y retrasar su deterioro. Este tipo de actividades se divide en dos categorías: rutinario y periódico. El mantenimiento rutinario se realiza con una frecuencia regular, que puede ser una o más veces al año, mientras que el mantenimiento periódico se lleva a cabo cada varios años, dependiendo del estado de la carretera. Cuando la vía ha alcanzado o está cerca de su existencia útil, se lleva a cabo una rehabilitación para mejorar su estructura. Para determinar la necesidad de rehabilitación, se requiere el uso de equipos de prueba de alto rendimiento. La reconstrucción implica la restauración de la capa de rodadura debido a deterioros críticos que hayan ocurrido.

✓ ***Excelente.*** Es la condición o estado situacional de la superficie de rodadura en perfectas condiciones de transitabilidad, en donde aún no existe presencia de deterioros, generalmente son aquellas vías que recién se terminaron de construir.

✓ **Bueno.** Es cuando ya hay existencia de algunos deterioros en la superficie de rodadura, pero en menor impacto. La transitabilidad aun adecuado.

✓ **Regular.** Es el estado situacional de la superficie de rodadura que ya hay un poco de deficiencias en la transitabilidad y existe deterioros superficiales, funciones que afectan la comodidad de rodamiento.

✓ **Mala.** Es la condición o estado situacional de la superficie de rodadura en una transitabilidad inadecuada, existe presencia de deterioros estructurales, funcionales y hasta superficiales en un grado de severidad media.

✓ **Deficiente.** Es la condición o estado situacional de la superficie de rodadura en una inadecuada transitabilidad, prácticamente es intransitable porque el paquete estructural ha fallado.

3.2.2.1. Revisión de la normativa peruana. Los manuales emitidos por el MTC contienen información detallada sobre la Regularidad Internacional. En el informe presentado en la Resolución Directoral MTC/14 N° 051-2007, titulado “Aspectos Conceptuales de la Conservación de Carreteras”, se enumeran las pautas técnicas generales para el mantenimiento de las vías, como se indica en la Tabla 10:

Tabla 10

Rugosidad de una carretera

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6.0$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6.0 < IRI \leq 8.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8.0 < IRI \leq 10$

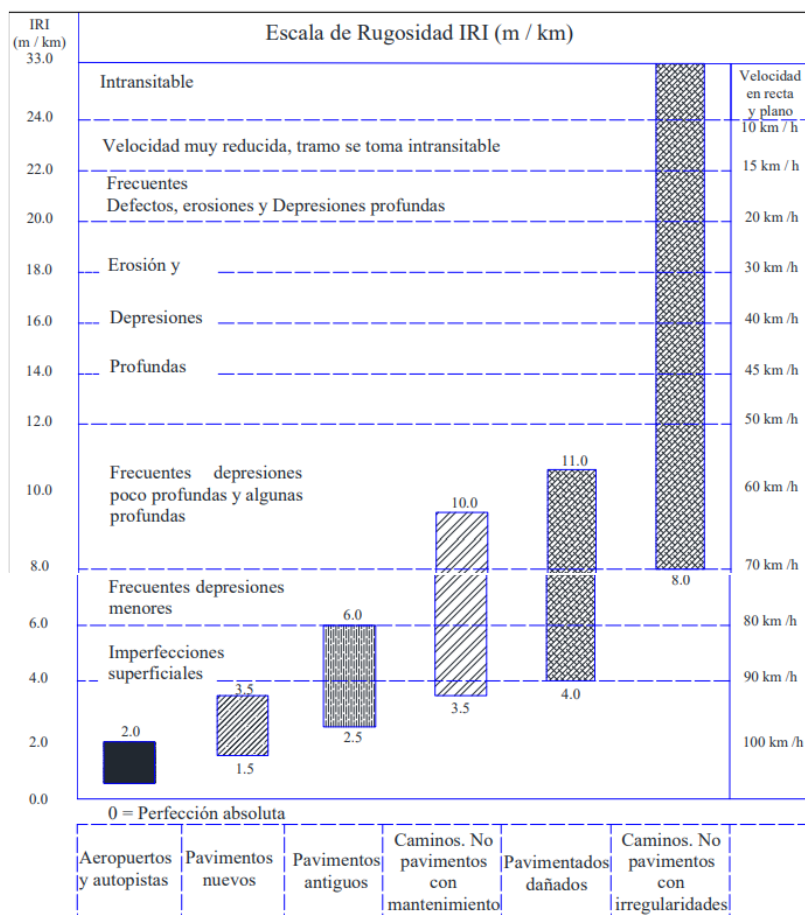
Muy malo	$5 < \text{IRI}$	$10 \leq \text{IRI}$
----------	------------------	----------------------

Nota. Parámetros del IRI según los valores obtenidos de una evaluación en campo y su condición correspondiente. Adaptado del *Aspectos Conceptuales de la Conservación de Carreteras* (MTC, 2007)

En la Figura 39, basada en las “Directrices para llevar a cabo y calibrar mediciones de rugosidad de carreteras” de Sayers M.W., Gillespie T.D. y Paterson W.D.; Documento técnico del Banco Mundial N° 46, 1986, se muestran los índices de rugosidad del pavimento para diversas condiciones y tipos de pavimento.

Figura 39

Escala IRI de rugosidad de la calzada para distintos tipos de carretera (m/km)



Nota. Niveles de regularidad para distintas categorías de las vías. Adaptado del *manual de carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2013)

El apartado 12.4.5 del Manual “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, que aborda la aptitud para el servicio, presenta la Tabla 11 para medir la calidad en relación con el Índice de Serviciabilidad. Este manual forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento de Gestión de la Infraestructura Vial Nacional, aprobado mediante el D.S. N° 034-2008-MTC.

Tabla 11

Escala del índice de calidad y servicio

Índice de Serviciabilidad	Calidad
5	
4	Muy Buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota. Valores del PSI de una carretera en servicio, y su condición de serviciabilidad. Adaptado de la *Guía AASHTO* (1993).

Las características detalladas en los manuales de Conservación Vial de MTC (2013), incluyen las normativas de servicio presentadas en el apéndice 3.b del capítulo 3 para las carreteras de mortero asfáltico, tales como los Parámetros de aceptabilidad global basados en los grados de servicio de la Figura 40:

Figura 40

Parámetros de aceptabilidad global basados en los niveles de servicio

Parámetro		Nivel de Servicio					
		Tipo de Vía					
		Autopista 1ª clase	Autopista 2ª clase	Carretera 1ª clase	Segunda Clase	Tercera Clase	Bajo Volumen de Tránsito Pavimentado
Medida	IMD >6000 (*)	6000<IMD<4001 (*)	4000<IMD<2001 (*)	2000<IMD<401 (*)	400<IMD< 201 (*)	IMD ≤ 200	
Piel de Cocodrilo	Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo	-	-	-	-	-	0%
Fisuras Longitudinales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	-	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	-	-	-	-	-	5%
Deformación por deficiencia estructural	Porcentaje máximo de área con hundimientos mayores que 25 mm.	-	-	-	-	-	0%
Ahuellamiento	Porcentaje máximo de área con ahuellamiento mayor que 12 mm.	-	-	-	-	-	5%
Reparaciones o parchados	Porcentaje máximo de parches en mal estado	-	-	-	-	-	0%
Peladura y Desprendimiento	Porcentaje máximo de áreas con peladuras	-	-	-	-	-	5%
	Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento	-	-	-	-	-	0%
Baches (Huecos)	Porcentaje máximo de área con Baches (huecos)	-	-	-	-	-	0%
Fisuras Transversales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	-	-	-	-	-	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	-	-	-	-	-	5%
Exudación	Porcentaje máximo de área con exudación	-	-	-	-	-	5%
Desprendimiento de bordes	Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes	-	-	-	-	-	5%
Rugosidad Obra Nueva	Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo)	-	-	-	-	-	3.0 IRL (1)
Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica	Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica)	-	-	-	-	-	3.5 IRL (1)
Rugosidad Periodo de Servicio	Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio)	-	-	-	-	-	4.3 IRL (1)
Fricción Superficial	Coefficiente de fricción medido en pavimento mojado	-	-	-	-	-	No menor de 0.50

(*) De acuerdo al Manual de Suelos y Pavimentos del MTC las superficies de rodadura con Tratamiento Superficial se aplican en caminos con $IMD \leq 200$ no obstante en caso de presentarse Tratamientos Superficiales en Caminos con $IMD > 200$ vehiculos, los niveles de servicio serán los que determine la Entidad encargada de la Conservación Vial.

(1) IRL_c característico (IRL_c), a la confiabilidad de 70%

$$IRL_c = IRL_p + 0.524 \times ds$$

$$IRL_p = \text{IRL promedio}$$

$$ds = \text{desviación estándar}$$

Fuente: Elaboración Propia, en base a Contratos de Concesión Vial, Contratos por Niveles de Servicio, Tabla de parámetros globales del HDM4, Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

Nota. Rangos generales de los niveles de servicio que puede presentar una vía intervenido con tratamiento superficial. Adaptado del *manual de carreteras: Conservación Vial* (MTC, 2013)

3.3. Definición de términos

Ahuellamiento: Fenómeno causado por el desplazamiento lateral o la consolidación de los áridos debido al tráfico, lo que resulta en surcos o huellas en la superficie de las vías pavimentadas o sin pavimentar (Ministerio del Transporte y Comunicaciones, 2018).

Asentamiento: Movimiento vertical o hundimiento de un elemento del camino (MTC, 2018).

Asfalto modificado: Pavimento modificado mediante la adición de polímeros u otras modificaciones para mejorar sus características físicas y geológicas, como su resistencia al calor y la humedad (MTC, 2018).

Asfalto: Sustancia de color marrón oscuro a negro, derivada del betún de origen natural o refinado del petróleo, que constituye la mayor parte del material cementante utilizado en la pavimentación (MTC, 2018).

Bache: Depresión en la superficie de la carretera como resultado de la desintegración localizada y el desgaste causado por la actividad vehicular (MTC, 2018).

Base granular: Capa de material seleccionado que forma parte de la estructura del pavimento, ubicada entre el subsuelo y la superficie de rodadura (MTC, 2018).

Capa asfáltica nivelante: Capa compuesta por una combinación de asfalto y árido de diferentes grosores, utilizada para nivelar las imperfecciones de la superficie existente antes del tratamiento o la construcción (MTC, 2018).

Carretera: Vía utilizada para el tránsito de vehículos de motor con al menos dos ejes, que debe cumplir con los requisitos técnicos establecidos por el MTC en términos de geometría, pendiente, sección transversal y otros componentes (MTC, 2018).

Corredor vial: Conjunto de dos o más vías adoptadas para alcanzar un objetivo específico (MTC, 2018).

Deflexiones: La deflexión de un pavimento se define como el valor que representa la respuesta estructural ante la aplicación de una carga vertical externa. También se define como el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente, la carga es producida por el tránsito vehicular (Fernández, 2021).

Deflectómetro de impacto liviano (LWD): El deflectómetro liviano es un aparato manual, que aplica una carga impulso, y que permite medir las deflexiones en la superficie de una capa de pavimento (Dynatest, 2022).

Filler: Material utilizado en la producción de mezclas asfálticas en caliente para rellenar huecos, espesar la mezcla o actuar como adhesivo, generalmente obtenido a partir de piedra caliza triturada, cemento Portland, roca, cal hidratada y otros materiales (MTC, 2018).

Grieta en bloque: Fractura que afecta a varios bloques o mallas de diferentes tamaños y propiedades, con un ancho mayor a 3 mm (MTC, 2018).

Índice de Rugosidad Internacional: El Índice de Regularidad Internacional (IRI) resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico, producto de la simulación del modelo matemático del cuarto de carro (Golder Car) para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h (Cruz, 2022).

Imprimación asfáltica: Capa aplicada antes de la mezcla asfáltica para tapar y asegurar las partículas pétreas, utilizando una sustancia bituminosa de baja viscosidad (MTC, 2018).

Mantenimiento o Conservación periódica: Conjunto de tareas realizadas de manera programada para restablecer las condiciones de servicio de una carretera, que pueden incluir la sustitución de capas de rodadura, reciclaje del pavimento, repavimentación, aplicación de capas de nivelación, tratamientos superficiales y sellados, así como la conservación de otros componentes de la infraestructura vial (MTC, 2018).

Mantenimiento o Conservación rutinaria: Conjunto de tareas periódicas destinadas a mantener los estándares de servicio de una carretera, que incluyen limpieza, parcheo, perfilado de plataformas, limpieza de cunetas, limpieza del alcantarillado, conservación de las señales y otros que componen a seguridad vial, así como la erradicación de pequeñas deformaciones y el mantenimiento del drenaje en viaductos (MTC, 2018).

Mantenimiento vial: Conjunto de acciones técnicas destinadas a mantener de manera coherente y sostenible el buen estado de las infraestructuras viarias, con el objetivo de proporcionar al usuario la mejor experiencia posible, pudiendo ser de carácter rutinario o periódico (MTC, 2018).

Mezcla asfáltica en frío: Combinación fría de material bituminoso, áridos gruesos y finos, y aditivos si fuera necesario, procesada en planta o por otros medios de acuerdo con el diseño y los requisitos técnicos, utilizada como capa de rodadura y componente estructural del pavimento (MTC, 2018).

Micropavimento: Carpeta asfáltica uniforme e impermeable que se utiliza para el mantenimiento de cualquier tipo de carretera, creada mediante la combinación de emulsión

asfáltica de rotura modificada con polímeros, minerales finos y agua, adiciones y árido triturado en medidas y condiciones adecuadas (Bituper, 2022).

Mortero asfáltico: Una mezcla de polvo mineral, agua, emulsión asfáltica, áridos y, en ocasiones, aditivos, que se aplica a la superficie de una carretera de acuerdo con determinadas especificaciones (MTC, 2018).

Niveles de servicio: Hitos que especifican y cualificar la idoneidad de una carretera, utilizados para establecer límites permitidos en términos de calidad del pavimento, funcionalidad, estructura y seguridad vial, los cuales se adaptan según consideraciones tecnológicas y financieras dentro de un marco de satisfacción de los usuarios en aspectos como comodidad, puntualidad, seguridad y economía (MTC, 2018).

Pavimento flexible: Tipo de pavimento que incluye ligantes, áridos y, si es necesario, aditivos de materiales bituminosos (MTC, 2018).

Pavimento: Construido sobre la subrasante de una carretera para soportar y distribuir las presiones ejercidas por los vehículos, mejorando así la seguridad y el confort del tráfico, compuesta típicamente por subbase, base y capa de rodadura (MTC, 2018).

Transitabilidad: Nivel de servicio de una infraestructura de carreteras que garantiza condiciones adecuadas para el flujo regular de vehículos durante un período determinado (MTC, 2018).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

De acuerdo con Valderrama (2010), el tipo de investigación se enmarca en aplicada, también conocida como práctica, empírica, activa o dinámica, está estrechamente relacionada con la investigación básica, pues se apoya en sus hallazgos y contribuciones teóricas para producir bienestar y beneficios a la sociedad. Se basa en la investigación teórica, su objetivo particular es utilizar las teorías existentes para elaborar normas y procedimientos tecnológicos con el fin de situaciones o procesos regulares de la realidad, situaciones o procesos de la realidad.

En este caso, a partir de la aplicación de teorías de los indicadores de calidad, se descubrieron estrategias que permiten controlar diversas situaciones de la realidad en favor del bienestar social. La investigación se orientó hacia la aplicación práctica y se recopiló datos de manera prospectiva.

4.1.2. Nivel de investigación

Según Hernández y Mendoza (2018), el estudio se caracteriza por su alcance de nivel descriptivo, debido a que el estudio evalúa o recolecta datos que son objeto de análisis y reporte de la información acerca de varios conceptos, variables, elementos o partes del fenómeno o problema en estudio.

En el caso de la presente investigación, se recolectaron datos en campo y posteriormente se realizó un análisis del estado de conservación del micropavimento, considerando la incidencia de los indicadores de calidad.

4.1.3. *Diseño de la investigación*

La investigación es de diseño no experimental de corte transversal. Según Silvestre y Huamán (2019) indica que no se alteran las variables independientes, no hay conjuntos de control ni experimentales y los sujetos que forman parte del estudio no son asignados al azar. Lo que hace el investigador es examinar y estudiar los sucesos y fenómenos que se presentan en la realidad.

En el caso de la presente investigación, no se manipularon los datos de la variable independiente, ya que los datos recolectados en campo fueron tomados in situ. Posteriormente, se aplicó un método de análisis con el fin de obtener resultados que reflejaron la realidad observada.

4.2. *Ámbito temporal y espacial*

4.2.1. *Temporal*

La delimitación temporal se circunscribe en el año 2024.

4.2.2. *Espacial*

El trabajo de tesis se desarrolló en el tramo de la ruta AP-107 (Huancabamba – Dv. Tintay) desde el tramo del km. 6+000 al 16+000.

4.3. *Población y muestra*

4.3.1. *Población*

Según Silvestre y Huamán (2019), el término “universo” o “población” se refiere al conjunto completo de componentes que son objeto de estudio, también conocidos como unidades de análisis, que pueden ser personas, objetos, organizaciones, eventos, comunidades, circunstancias, entre otros.

En el contexto de nuestra investigación, la población en estudio correspondió al tramo de la ruta AP-107, ubicada en las provincias de Andahuaylas y Aymaraes, con una extensión total de 63.381 kilómetros, excluyendo las estructuras de obras de arte existentes.

4.3.2. Muestra

Según Hernández y Mendoza (2018) indica que una muestra no probabilística es aquella en la que el investigador selecciona las unidades de acuerdo a factores asociados con el contexto de la investigación, las características y su criterio o decisiones, en vez de basarse en la probabilidad.

En nuestro estudio, la muestra no probabilística abarcó desde el kilómetro 06+000 hasta el 16+000, con una longitud total de 10.000 kilómetros, ya que estos sectores de la carretera tenían una altitud de más de 4.000 msnm y presentaban una problemática asociada a malas condiciones de transitabilidad, con presencia de baches, piel de cocodrilo, entre otros deterioros, lo que incrementaba los costos y afectaba la seguridad y comodidad de los usuarios.

4.4. Instrumentos

La estrategia de recolección de información implica el empleo de múltiples dispositivos de medición para recopilar los datos relevantes sobre la versatilidad del tema (Hernández & Mendoza, 2018).

La recolección de datos se realizó mediante fichas y/o formatos empleados durante el trabajo de campo, los cuales se elaboraron siguiendo las directrices de los manuales del usuario Evalpav, Merliner y Dynatest. Para mayor detalle de estos instrumentos o formatos para la recolección de datos se presentó en el Anexo 06.

4.5. Procedimientos

Según Silvestre y Huamán (2019), es un recurso tangible que el investigador emplea para documentar información sobre las variables, con el fin de asegurar la calidad de los datos y que estos aparatos sean confiables.

La recopilación de datos y la evaluación del estado superficial, funcional y estructural se realizaron en dos etapas para mi estudio: La primera fase se refirió al trabajo in situ (trabajo de campo) y la segunda a la fase de gabinete donde prácticamente la información recopilada de campo se basó en los manuales del usuario para su posterior análisis.

4.5.1. Trabajo en campo

Dentro de las labores de campo, se realizó el muestreo de acuerdo a los manuales adaptados a las normativas internacionales como el manual del usuario del Evalpav adaptado a la norma ASTM D 6433 (PCI), la Manual de usuario Merlinier (IRI) y Manual del usuario Dynatest (Deflexiones) como se muestra en la Figura 41.

Figura 41

Recopilación de información in situ





Nota. Trabajo in situ de cada objetivo para este trabajo de investigación.

4.5.2. Trabajo en gabinete

Dentro de las labores de gabinete, se realizó el procesamiento de datos de campo mediante los siguientes programas, con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

- Microsoft Excel (adaptado al manual del usuario Merlinier)
- LWDmod Software (adaptado del manual Dynatest)
- EvalPav (Adaptado al manual de la norma ASTM D 6433).

4.6. Análisis de datos

Según Atoccca (2023) el análisis de información es descriptivo, cuyo objetivo es sintetizar y detallar las propiedades fundamentales de los apuntes obtenidos de campo.

En el marco de mi tesis, se midió, clasificó y examinó el estado de conservación del micropavimento según estándar es técnicos establecidos en las normativas. Así mismo, se compararon los valores adquiridos con los rangos normativos para determinar si las condiciones observadas correspondían a un buen o mal estado de conservación, cumpliendo así los objetivos planteados.

4.7. Consideraciones éticas

Según Trujillo (2024) todo el material recopilado para este estudio cumplirá con todos los requisitos de investigación y no será manipulado de ninguna manera, incluidos los datos de campo y su posterior análisis.

Para la presente investigación se llevó a cabo éticamente y con total transparencia, tanto en la recolección de información como en el análisis imparcial de cada uno de los objetivos.

V. Resultados y discusión

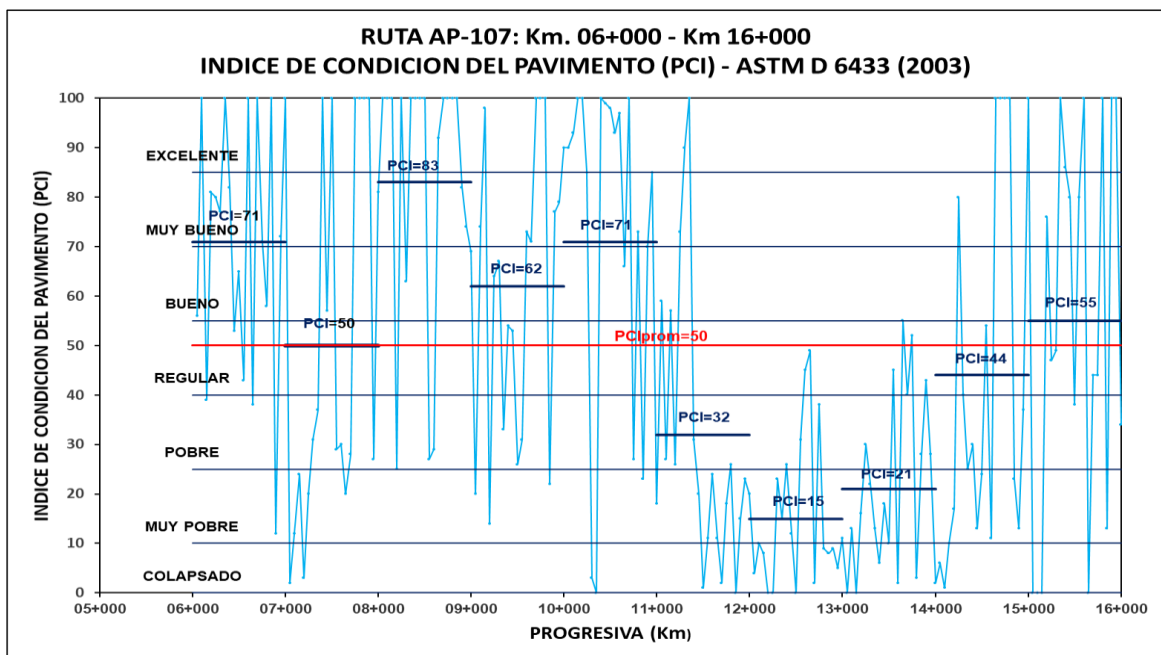
5.1. Resultados

5.1.1. Resultados del índice de condición del pavimento (PCI)

Dentro de las labores de campo, se realizó el análisis de datos de las 200 unidades de muestreo desde el km. 6+000 al 16+000, donde se determinó el estado superficial del micropavimento, los formatos con todos los datos de campo y el procesamiento del análisis se presenta a mayor detalle en el Anexo 03. También en la figura 42 se muestra un resumen total del índice de condición del pavimento.

Figura 42

Índice de Condición del Pavimento - PCI



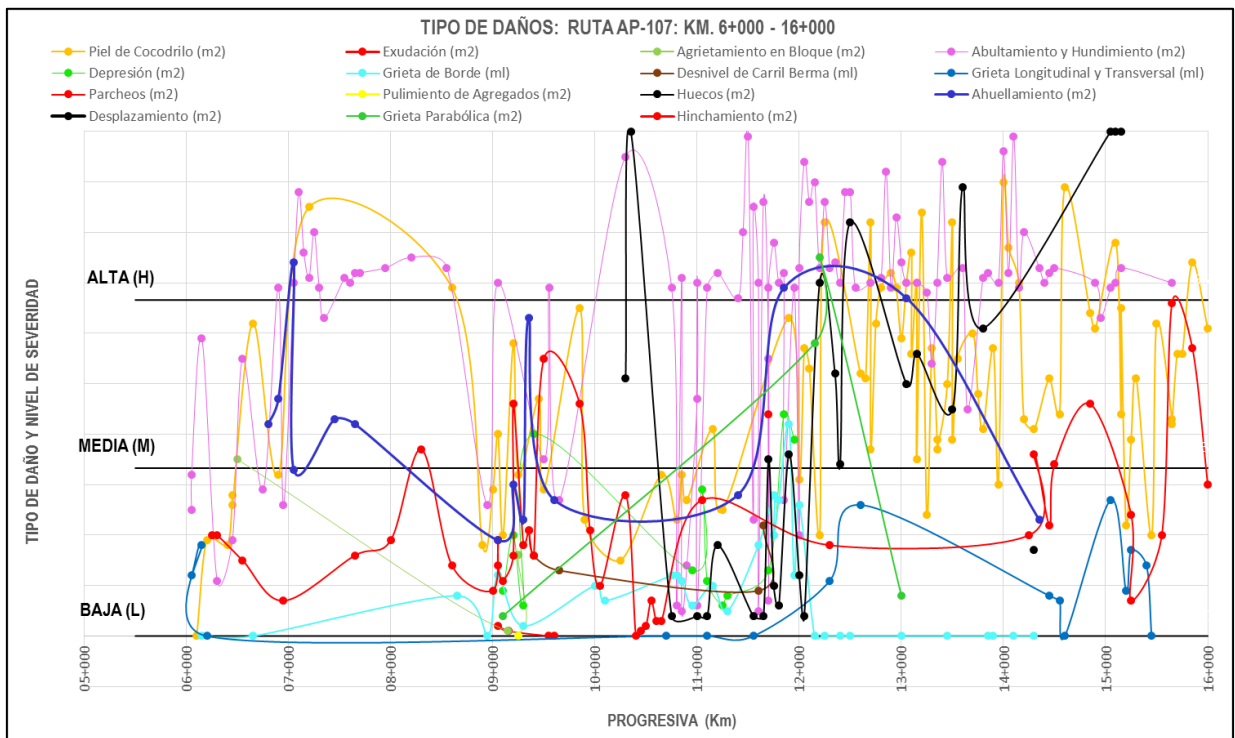
Nota. PCI promedio de las 200 unidades de muestra que resulta un valor de 50 (mayor a 40) calificando al pavimento con una calidad de “Regular”.

También se muestra que desde el km. 8+000 al km. 9+000 el PCI promedio máximo es 83 (mayor a 70) calificando al pavimento en “Muy bueno” y desde el km. 12+000 al km.

13+000 el PCI promedio mínimo es 15 (mayor a 10) calificando al pavimento en un estado de “Muy pobre”. Así mismo indicándonos que la mayoría de daños y mayor severidad se presenta en la vía del kilómetro 12 al 13.

Figura 43

Fallas en la superficie asfáltica



Nota. Total de las fallas evaluadas desde el km. 6+000 al 16+000, encontrándose 15 fallas con niveles de severidad variables como se puede visualizar.

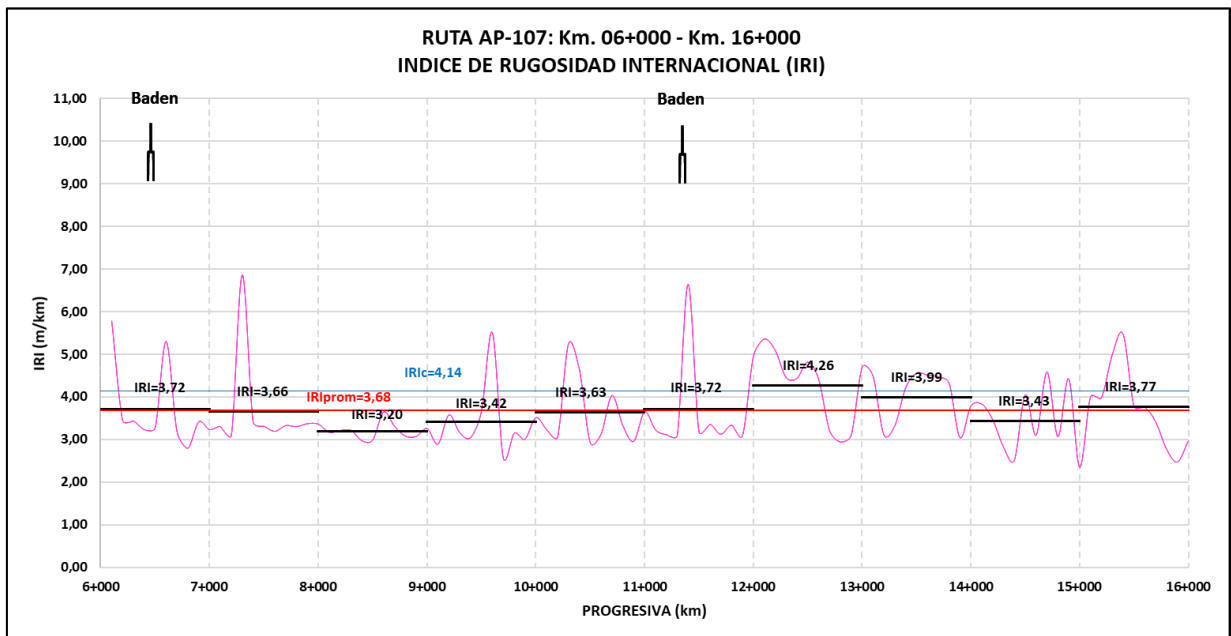
Así mismo analizaremos en comparación con la figura 43 del km.12+000 al 13+000 que resulto un PCI promedio igual a 15, donde existe las fallas con niveles de severidades altas como: el piel de cocodrilo, abultamiento y hundimiento, las grieta longitudinal y transversal, los parcheos y los huecos; reflejando así el resultado obtenido. También del km. 8+000 al km. 9+000 el PCI promedio máximo es 83, también identificando las fallas con niveles de severidades bajas como: la piel de cocodrilo, abultamiento y hundimiento, las grietas de borde y los parcheos reflejando el resultado alcanzado.

5.1.2. Resultados del índice de regularidad internacional (IRI)

Se realizó el análisis de la regularidad superficial del micropavimento, el estado funcional evaluado mediante el equipo Merlin por cada 400 metros de las 200 lecturas obtenidas de campo y el promedio de ambas huellas se presenta en la figura 45. La información de campo y su análisis a mayor detalle se muestra en el anexo 04.

Figura 44

Índice de Regularidad Internacional IRI



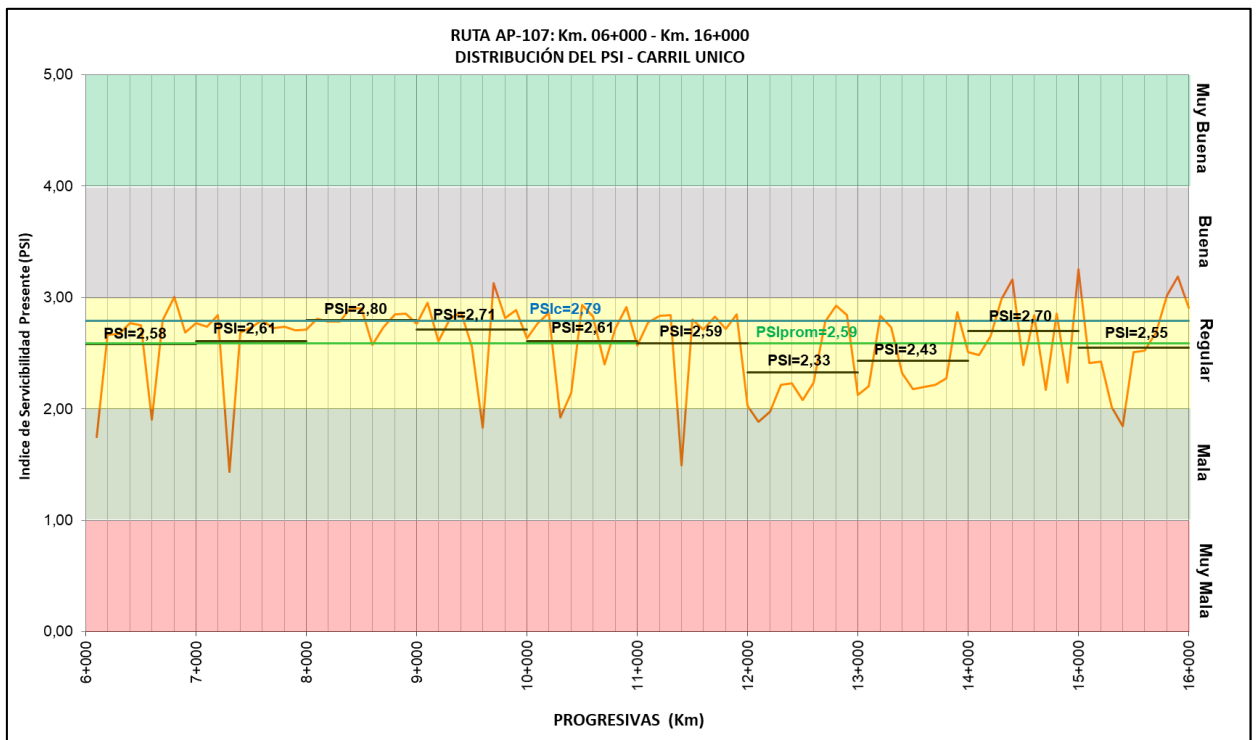
Nota. IRIc media de ambas huellas fue de 4.14 m/km, lo que es inferior al IRIc requerido para este tipo de contratos con altas rugosidades y durante el periodo de recopilación de datos.

También se muestra que el IRI fue 3.20 m/km en el km. 8+000 al 9+000 teniendo menores imperfecciones superficiales en ambas huellas de la calzada. Así mismo en el km. 12+000 al 13+000 se consiguió un IRI de 4.26 m/km donde existen zonas con mayores depresiones y elevaciones dificultando el nivel de confort hacia los usuarios.

También según la normativa de la ASTM E 867, indica que hay una correlación en medio del índice de serviabilidad presente (PSI) con el índice de regularidad internacional (IRI) como se muestra a continuación en la siguiente figura 45:

Figura 45

Índice de serviabilidad presente PSI



Nota. PSI desde el km. 6+000 al 16+000 tiene un valor de 2.79, indicando que la apreciación visual de la superficie del pavimento está en un estado “Regular”, también podemos decir que la vía de estudio tiene una seguridad, confort y comodidad aceptable. Sin embargo, hay tramos en la cual si no garantiza las mismas.

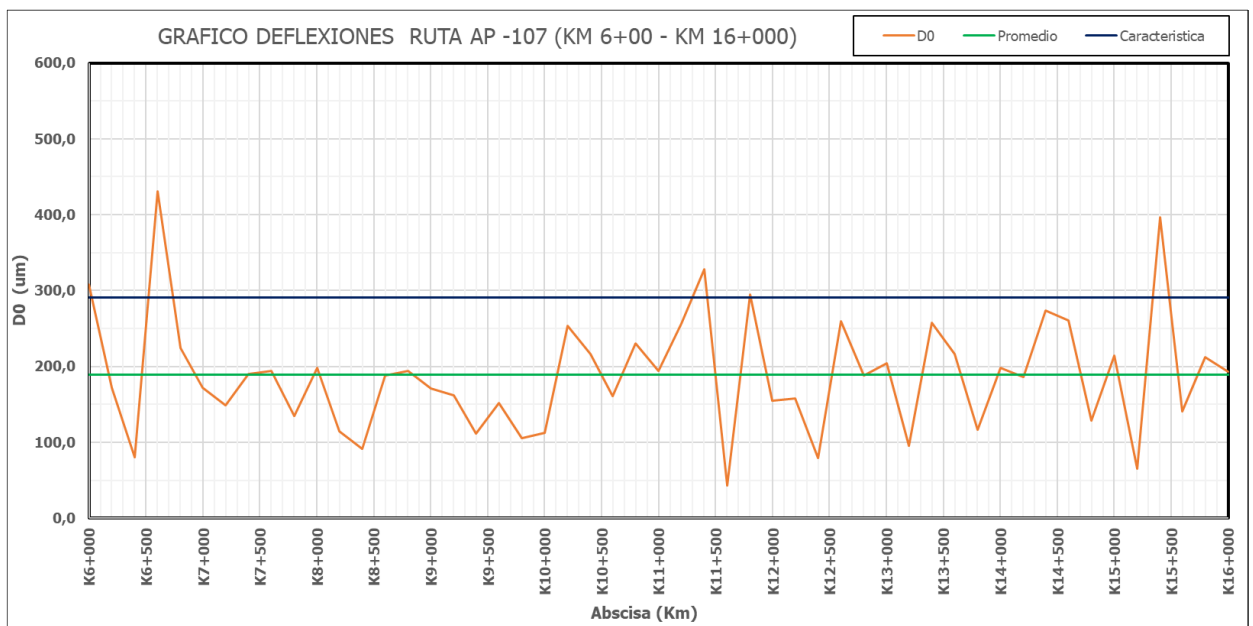
5.1.3. Resultados del índice de deflexiones

Las deflexiones normalizadas obtenidas, lo presentamos de manera gráfica en el siguiente deflectograma y, estas se mostraron de manera referencial; ya que fueron originadas por carga liviana no estándar con el fin de obtener la caracterización de los

materiales (Modulo Elástico) del pavimento, como indica en la figura 46 y para mayor detalle de los resultados del retrocálculo de medición de deflexiones con el deflectómetro de impacto ligero (LWD) se aprecia en el anexo 05.

Figura 46

Gráfico de deflexiones



Nota. Deflexiones logradas en campo vs la distancia analizada, donde las deflexiones altas obtenidas en el gráfico indicativo de que la capacidad estructural de la capa evaluada es deficiente.

Los resúmenes estadísticos obtenidos de las deflexiones medidas con el equipo LWD Dynatest sobre la superficie existente, se presentan a continuación en la tabla 12, así como también en el anexo 05:

Tabla 12

Resumen Estadístico de las Deflexiones Obtenidas

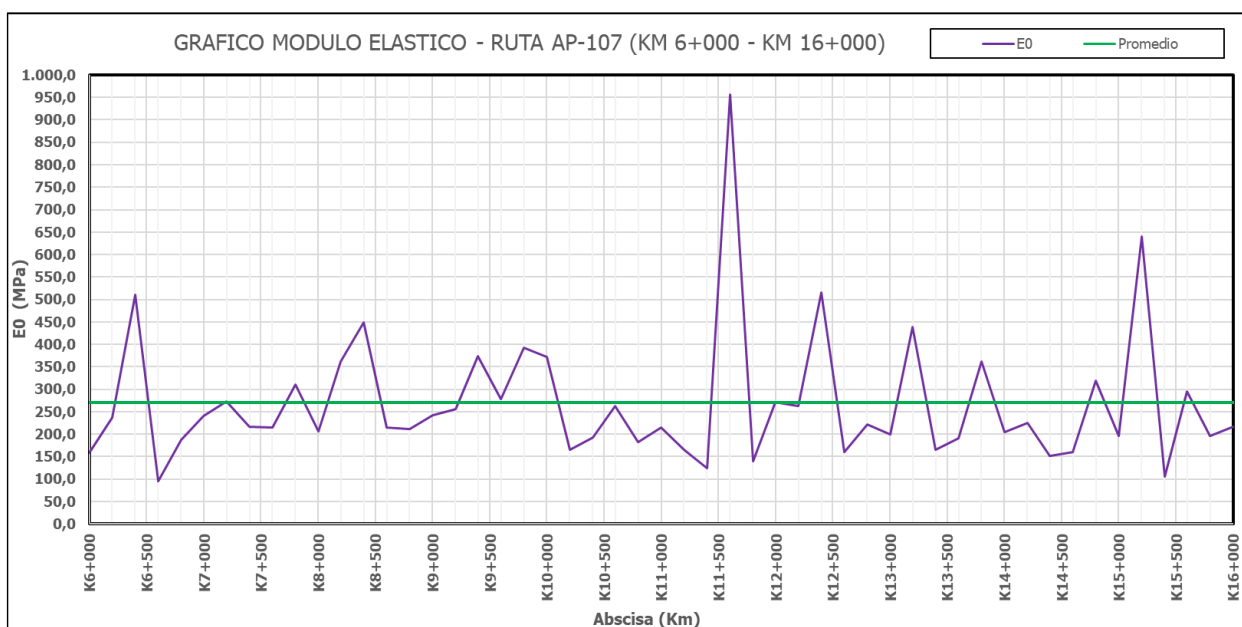
ruta ap-107 progresiva	superficie existente pavimento	deflexión (um)				
		prom. obtenido	máx. obtenido	min. obtenido	desv. estándar	deflexión característica
km. 6+000 - km. 16+000	micropavimento	188.76	161.28	152.79	79.27	290.4

Nota. Resumen y promedios de todos los valores obtenidos de las deflexiones de campo.

También se puede observar que en el sector del km. 6+000 al 16+000 tiene una deflexión promedio de D0 igual a 188.76 um, lo que indica mayor deflexión en todo ese sector evaluado, así mismo se obtuvo una deflexión característica Dc (um) igual a 290.4.

Figura 47

Modulo Elástico Retro analizado



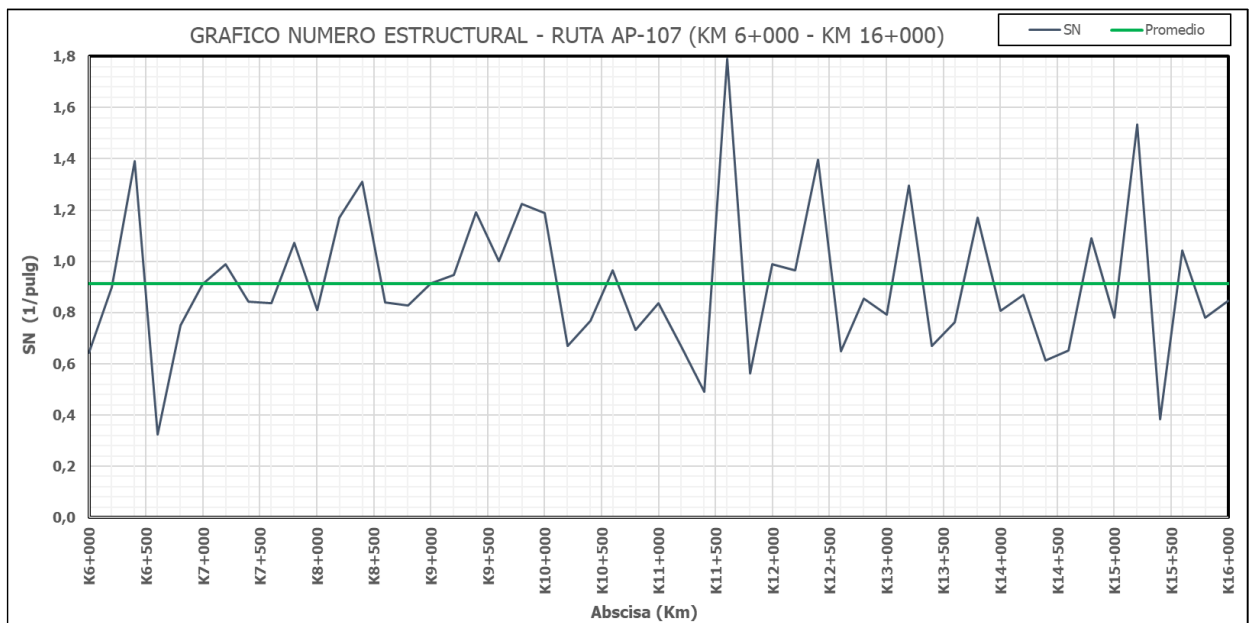
Nota. Módulo elástico retro analizado de la rigidez de las características del material bajo una carga aplicada conocida. También se puede observar que los picos altos son indicios de

que el material de la base del pavimento está en malas condiciones. Así mismo, se obtuvo que el sector desde el km. 6+000 al km 16+000 tiene un valor de 269.50, también a mayor de talle se puede mostrar en el anexo 05.

Así mismo, el número estructural efectivo (SNc) obtenido, lo representamos en la figura 48, el cual fueron elaborados se la siguiente manera y, según superficie de rodadura existente:

Figura 48

Número Estructural Efectivo SNc



Nota. Tramo desde el km. 6+000 al km 16+000 con un numero estructural efectivo (SNc) es igual a 0.91 que es un valor de su resistencia estructural total de la base estabilizada de la carretera.

5.1.3.1. Cálculo de la deflexión admisible (Da). Para el presente trabajo de investigación, en particular con la evaluación deflectométrica con el equipo LWD, verificamos la condición estructural de la vía existente con la siguiente formula.

Ecuación 31

Deflexión admisible

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (30)$$

Donde:

Da: Deflexión admisible (Según Conrevial)

N: ESAL de diseño (En millones de ejes equivalentes)

La deflexión admisible (Da) obtenido, también lo representamos en la tabla 13, el cual fue calculado de la siguiente manera y, según superficie de rodadura existente:

Tabla 13*Cálculo de Deflexión admisible*

Sector	Esal(x10 ⁶ ejes equiv.)	Da x 10-2um	
km. 06+000 - km. 16+000	0.72288	112.31	A nivel de base estabilizado

Nota. Cálculo del Esal de diseño fue obtenido del estudio de Plan de Gestión Vial del proyecto (PGV) igual a 7,23E+05. Obtenido del Consorcio Tintay.

A continuación, se muestra en la tabla 14 la deflexión total promedio, para verificar la condición estructural del pavimento básico existente a nivel de base estabilizada.

Tabla 14*Condición estructural del pavimento*

Condición estructural de la base estabilizada						
Tramo	progresiva inicial	progresiva final	promedio (D0)	deflexión característica	deflexión admisible	condición del tramo
1	06+000	16+000	188.76	290.40	112.31	deficiente

Nota. Deflexiones obtenidas entre el km. 6+000 al km 16+000 muestran una calidad estructural ($D_c > D_a$) deficiente, lo cual nos indica problemas en el micropavimento a nivel de la base estabilizada.

5.2. Discusión

Los hallazgos de la investigación actual se discutieron y compararon con los resultados previos sobre el tema de estudio.

5.2.1. Discusión de los resultados del objetivo específico 01

Se consideró usar el índice de condición del pavimento (PCI) para establecer la calidad de conservación del micropavimento del corredor vial N°03 Apurímac, de la ruta AP-107. De los resultados obtenidos en la tesis mencionada en la Figura 42, se observa que el PCI promedio nos dio un valor de 50 (mayor a 40) calificando al pavimento con una condición de “regular”. Estos resultados son respaldados por Baque (2020), Sánchez (2022), donde el estado de calzada del objeto de estudio obtuvo un promedio de una calificación de 49 y 50 respectivamente ubicándose en la categoría de “regular”. También para Ramos y Ramos (2023) obtuvo un PCI de 58.25 calificando la condición superficial de “bueno”.

Así mismo para Flores y Mogrovejo (2023), Mamani y Paredes (2024), Aguilar y Santa Cruz (2021) obtuvo un PCI de 70, 77.61 y 73 respectivamente calificando en “muy bueno”, que existe menor densidad de daños superficiales en los tramos evaluados por los tesisistas mencionados. Y por último según Ferrer y Reyes (2025), concluyó que el PCI obtenido fue de 34.86 indicándonos la condición superficial es “mala” debido a que hay muchos sectores críticos con cantidad y severidad de daños altas en la vía estudiada.

5.2.2. Discusión de los resultados del objetivo específico 02

Con respecto al segundo objetivo, se consideró emplear el índice de rugosidad internacional (IRI) para determinar la calidad de conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac de la ruta AP-107. De los resultados obtenidos en la presente investigación registrados en la Figura 44 se muestra que el IRI nos dio un valor de 4.14 m/km, y así mismo, se consiguió un índice de serviciabilidad presente (PSI) igual a 2.79, clasificando la serviciabilidad de la vía de estudio como “regular” como indica en la ilustración 45. Estos resultados son respaldados por Flores y Mogrovejo (2023), Mamani y Pilco (2021) y Sánchez (2022), que obtuvieron un valor de IRI igual a 4 m/km, 4.14 m/km y 3.33 m/km respectivamente indicándonos que el camino a nivel funcionalidad es existe zonas con irregularidades en la calzada. Así mismo de estos autores mencionados se obtuvieron un PSI de 2 para Flores y Mogrovejo (2023) y un PSI de 2.73 para Sánchez (2022) indicativo que el camino cumple con los requisitos para un servicio “regular”. De igual manera para Mamani y Paredes (2024) obtuvo un IRI promedio de 1.97 m/km y un PSI con un valor de 3.50 mostrándonos que la serviciabilidad de la vía de estudio es “buena”.

Así mismo como indica Huanca (2023), que adquirió un IRI 4.52 m/km y consiguió un PSI de 1.55 en toda la vía de estudio indicativo que la condición funcional y de serviciabilidad es “mala”, esto quiere decir que la muestra estudiada tiene una deficiencia en grado de comodidad y seguridad vial al usuario.

5.2.3. Discusión de los resultados del objetivo específico 03

Y finalmente para el tercer objetivo, se consideró utilizar el índice de deflexión del pavimento y determinar la condición de la conservación del micropavimento del corredor vial N° 03 Apurímac de la ruta AP-107. De los resultados obtenidos en la investigación registrados en la Figura 46 se muestra una deflexión característica D_c igual a 290.39 μm ; así

mismo, en la Tabla 13 se obtiene el cálculo de la deflexión admisible D_a igual a 112.31 μm , indicándonos que $D_c > D_a$, lo que significa que el pavimento de su condición estructural es “deficiente” ósea a nivel de base estabilizado ha fallado la estructura de la base pavimento. Sin embargo, para Farfan (2022) obtuvo una deflexión característica D_c igual a 26.55×10^{-2} mm y la deflexión admisible D_a igual a 102.86×10^{-2} mm, indicándonos que $D_c < D_a$, lo que significa que el pavimento tiene una condición estructural “aceptable”.

VI. Conclusiones

Con respecto al objetivo general: Se determinó el estado de conservación del micropavimento del corredor vial N° Apurímac, ruta AP-107, en base a los indicadores técnicos de calidad. Los resultados evidenciaron que gran parte del corredor presentaba condiciones de servicio regulares, con zonas específicas en estado deficiente que requerían intervención superficial, funcional y/o estructural.

Con respecto al objetivo específico 01: El análisis superficial del micropavimento evidenció que varios tramos presentaban deterioros como piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales, baches, parches, etc; obteniéndose calificaciones que se ubicaron en rangos entre “muy pobre” y “muy bueno”, según la escala del PCI.

Con respecto al objetivo específico 02: Los valores obtenidos del IRI reflejaron la calidad funcional del micropavimento desde la perspectiva del usuario. Algunos tramos superaron el umbral de 4 m/km, indicando zonas con deficiente nivel de confort y seguridad.

Con respecto al objetivo específico 03: Las mediciones de deflexión permitieron identificar zonas con capacidad estructural reducida. En algunos sectores, las deflexiones fueron elevadas, lo que sugirió una disminución en la capacidad portante de la estructura del pavimento. Así mismo, dichos valores nos sirvieron para identificar sectores críticos, materiales no aptos para los suelos, lo que permitió generar alternativas de solución en los proyectos que presentaban deficiencias en su capacidad estructural, ayudando a detectar posibles fallas no solo en el proceso constructivo sino también en la etapa de estudio.

VII. Recomendaciones

Con respecto al objetivo general: Se recomienda establecer un sistema integral de evaluación y monitoreo vial, aplicando periódicamente los indicadores PCI, IRI y deflexiones, como herramienta técnica para la toma de decisiones sobre mantenimiento vial. Esto permitirá una planificación eficiente de las intervenciones viales y garantizará una adecuada conservación del corredor. También se recomienda que estos tipos de estudios sean como guía para futuras investigaciones.

Con respecto al objetivo específico 01: Se recomienda efectuar un mantenimiento superficial correctivo en los tramos con valores bajos de PCI, principalmente donde se identificaron fallas como piel de cocodrilo, ahuellamiento, huecos, abultamientos y hundimiento, etc. Estas acciones permitirán restablecer la superficie de rodadura y evitar la propagación de daños más severos.

Con respecto al objetivo específico 02: Se sugiere implementar tratamientos funcionales (como repapeos, tratamientos superficiales) en los tramos donde el IRI indica altos niveles de rugosidad. Esto mejorará la comodidad de los usuarios, reducirá el desgaste vehicular y aumentará la seguridad vial.

Con respecto al objetivo específico 03: Se recomienda efectuar intervenciones estructurales en los tramos que registraron deflexiones elevadas, ya que estos indican pérdida de capacidad portante. Las soluciones deben incluir refuerzo del paquete estructural, corrección de la base o subrasante, y mejora del drenaje, para prolongar la vida útil del micropavimento.

VIII. Referencias

- AASHTO (1993). *AASHTO Guide for design of pavement structures*. American association of state highway and transportation officials.
- Aguilar, G., y Santa Cruz, M. (2021). *Evaluación y conservación de pavimentos flexibles mediante los índices de desempeño “PCI” y “VIZIR” en la carretera Huanchaco entre el tramo km 11+ 200 hasta el km 13+ 100, Trujillo 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27887>
- Andrade, A. (2019). *Mejora de la gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos en la ciudad de Valencia a través de la predicción de su deterioro* [Tesis de maestría, Universitat Politecnica de Valencia]. Repositorio institucional de la Universitat Politecnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/115994>
- Araníbar, M., y Saavedra, K. (2019). *Determinación del estado actual del pavimento mediante la medición del índice de condición del pavimento (pci) y el índice de rugosidad internacional (Iri) en la vía principal Izcuchaca-Huarocondo* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio digital de la Universidad Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3151>
- Arriaga, M., Garnica, P., y Rico, A. (1998). *Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México*. Publicación técnica No 108. <http://www.cjf.intertek-cb.salud.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- ASTM D 6433. (2003). *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index (PCI) surveys*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6433-03>

- ASTM E 950. (2018). *Standard test method for measuring the longitudinal profile of traveled surfaces with an accelerometer-established inertial profiling*. ASTM International. https://store.astm.org/e0950_e0950m-09r18.html
- Badilla, G. (2011). *Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo de índice de regularidad internacional (Iri): aspectos y consideraciones importantes*. Instituto brasileiro de petróleo, gás e biocombustíveis https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/517/IBP2277_11%20Determinacion%20de%20Regularidad%20Superficial%20con%20IRI%20VF%2010102011.pdf?sequence=1
- Badilla, G., Elizondo, F., y Barrantes, R. (2009). *Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del Iri*. Informe final, unidad de investigación (UI) <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1463>
- Baque, B. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (tramo II), Manta. provincia de Manabí. *Dominio de las ciencias*, Vol. 6(2), pág. 203-228. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>
- Barrantes, R. (2011). Equipos de evaluación de alto desempeño de redes viales. *infraestructura vial*, Vol. 13(4), páginas 31-39. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr//index.php/vial/article/view/1981>.
- Bituper S.A.C. (2022). *Emulsiones asfálticas y asfaltos modificados*. <https://www.bituper.com/>.

- Cantisani, G., y Loprencipe, G. (2010). Road roughness and whole-body vibration: evaluation tools and comfort limits. *Journal of transportation engineering*, Vol. 136, núm. 9, pág. 818–826. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000143](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000143)
- Carhuapoma, J. (2019). *Evaluación del nivel de servicio mediante el índice de rugosidad internacional (Iri) utilizando el rugosímetro Merlin en el pavimento flexible de la carretera cerro de Pasco–Yanahuanca–2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1823>
- Carrasco, S., y Vizñay, C. (2019). *Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Repositorio institucional de la Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33520>
- Castro, B., Zambrano, S., y Santos, E. (2020). *Propuesta de empleo de diferentes tecnologías de capa de rodadura para pavimento flexible y en reforzamiento con diferentes tipos de sellado usando el equipo de riego con slurry seal y micropavimento de la prefectura del Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional de la Universidad Superior Politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51690>
- Chen, S., Lin, C., Tang, C., Chu, L., y Cheng, C. (2020). Research on the international roughness index threshold of road rehabilitation in metropolitan areas: A case study in Taipei city. *Sustainability*, Vol. 12(10), núm. 10536. <https://doi.org/10.3390/su122410536>

- Chong, D., y Wang, Y. (2017). Impacts of flexible pavement design and management decisions on life cycle energy consumption and carbon footprint international. *Journal of life cycle assessment*, Vol. 22, páginas 952–971. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1202-x>
- CNN Español (28 de septiembre de 2018). *¿Qué países de américa latina tienen las mejores vías?*. CNN Latinoamérica. <https://cnnespanol.cnn.com/2018/09/28/que-paises-de-america-latina-tienen-las-mejores-vias>
- Corros, M., Urbaéz, E., y Corredor, G. (2009). *Manual de herramientas para la evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles*. Instituto Venezolano del asfalto (INVEAS). <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-de-evaluacion1.pdf>
- Cruz, J. (2022). *Cálculo del índice de regularidad internacional (Iri) a través de imágenes obtenidas de un vehículo aéreo no tripulado* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional de la Universidad de Costa Rica. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/6646>
- Cundill, M. (1991). *The Merlin low-cost road roughness measuring machine*. Transportation and road research laboratory, research report 301, 1991. https://transport-links.com/wp-content/uploads/2019/11/1_270_RR301_MERLIN-low-cost-road-roughness-measuring-device.pdf
- De La Cruz, S., Ibañez, C., y Coaquira, D. (2022). Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *infraestructura vial*, Vol. 24(43), Pág. 94-102. <http://dx.doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>

De Solminihac, H., Echaveguren, T., y Chamorro, A. (2018). *Gestión de infraestructura vial (Tercera ed)*. Ediciones UC.

Del Águila, P. (1999). *Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad de más de 3000 km de pavimentos en el Perú y otros países* [Sesión de conferencia]. Ponencia presentada al X congreso Ibero latinoamericano del asfalto, Sevilla, España.

Dynatest. (2022). *Equipos dynatest para evaluación estructural de pavimentos LWD*. Dynatest latam y Caribe. <https://www.dynatestlatam.com/equipment-structural/deflectometro-de-impacto-liviano-2/>

Elbheiry, M., Kandil, K., y Kotb, A. (2011). Investigation of factors affecting pavement roughness. *Engineering research journal*, Vol. 132, Pág. C1 – C13.

Farfan, R. (2022). *Deflectómetro de impacto liviano y viga Benkelman para el análisis de deflexiones en pavimentos básicos con slurry seal, carretera Pischa – Pacaycasa 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/9153>

Fernandez, C. (2021). *Correlación del estado de conservación funcional y estructural del pavimento flexible de la Av. metropolitana, tramo (ida y vuelta): Av. Universitaria - Av. Gregorio Apaza, en el distrito de Comas, ciudad de Lima, en el año 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/26381>

Ferrer, J., y Reyes, B. (2025). *Evaluación del estado del pavimento flexible en la avenida Juan Velasco Alvarado – sector porvenir, distrito de Pativilca, 2022*. [Tesis de

pregrado, Universidad Nacional de Barranca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Barranca. <https://hdl.handle.net/20.500.12935/389>

Flores, S., y Mogrovejo, D. (2023). Evaluación funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador. *Revista científica multidisciplinaria arbitrada yachasun* - ISSN: 2697-3456, Vol. 7(13), Pag. 212–235. <http://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/404>

Gillespie, T., Sayers, M., y Segel, L. (1998). *Report 228: calibration of response-type road roughness measuring systems*. TRB, National research council, Washington, D.C.

Haas, R., y Hudson, R. (2015). *Pavement asset management*. John Wiley & Sons.

Hernández, R., y Mendoza C. (2018). *Metodología de la investigación las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta*. McGraw-hill interamericana editores, S.A.

Huanca, B. (2024). *Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de pavimento flexible en la Avenida las Malvinas mediante el análisis funcional aplicando el rugosímetro de Merlin – Abancay, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Micaela Bastidas de Apurímac. <https://hdl.handle.net/20.500.14195/226>

Idecvial Tv. (13 de mayo 2021). *Evaluación estructural, funcional y del deterioro superficial de pavimentos* [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2NkbegmCz-Y>

Ingenieros MTV Perú. (2022). *Servicio de consultoría para el relevamiento de información en los tramos de la red vial nacional no concesionada – bloque 1 Sur (Ítem N° 03)*. Contrato. N° 008-2022-MTC/20.2, Plan de trabajo.

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-san-ignacio-de-loyola/pavimentos/deflectometria-vargas/24823915>

Islam, S., y Buttlar, G. (2012). Effect of pavement roughness on user costs. *Transportation Research Record*, Vol. 2285(1), Pág. 47–55. <https://doi.org/10.3141/2285-06>

Leguía, B., y Pacheco, F. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau, Huacho – Lima* [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio académico de la Universidad de San Martín de Porres. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/2311>

Loría, L., Elizondo, F., Sequeira, W., Aguiar, J., Barrantes, R., Arriola, R., y Jiménez, D. (2014). *Estudios técnicos realizados para la aplicación del índice de regularidad internacional (Iri) en Costa Rica* (Informe N° LM-PI-C1). Programa de infraestructura del transporte <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1369>

Mamani, I., y Paredes, G. (2024). *Evaluación superficial y serviciabilidad del pavimento flexible de la carretera costanera tramo (km 3+000 – km 8+000), distrito de Tacna, provincia Tacna – 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio de la Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3383>

Mamani, S., y Pilco, W. (2021). *Evaluación estructural por deflectometría e Iri para determinar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación-Puno, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital

institucional de la Universidad César Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72352>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2007). *Aspectos conceptuales de la conservación de carreteras*. R. D. MTC/14 N° 051-2007.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). *Aprueban reglamento nacional de gestión de infraestructura vial*. D.S. N° 034-2008-MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Dirección general de caminos y ferrocarriles – Manual de carreteras - conservación Vial*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Dirección general de caminos y ferrocarriles – Manual de carreteras - suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. RD N °02-2018 MTC/14.

Montoya, J. (2014). *Análisis del Iri para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú* [Tesis de maestría, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/1967>

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., y Romero, H. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa, cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U.

Nel, L. (2010). *Metodología de la investigación estadística aplicada en la investigación científica*. Empresa editora macro EIRL

Patarroyo, H. (2019). *Evaluación de patologías método vizir en pavimentos flexibles y posibles técnicas de rehabilitación del tramo comprendido entre el km 8+ 500 hasta*

- el km 9+ 000 de la vía Ibagué-Rovira, departamento del Tolima* [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Cooperativa de Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/14577>
- Pradena, M. (2006). Análisis de regularidad superficial en caminos pavimentados. *Revista de la construcción*, vol. 5(2), pág. 16-22. <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380002.pdf>
- Proregión (2024). *Provias descentralizado*. <https://www.gob.pe/36800-programa-proregion>
- Ramos, E., y Ramos, L. (2023). *Evaluación del pavimento flexible mediante el método PCI y propuestas de mejora de la Av. Pedro Sayán – Barranca, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Barranca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Barranca. <https://hdl.handle.net/20.500.12935/207>
- Sachún, J. (2016). *Estudio del índice de rugosidad internacional de la panamericana norte-zona Trujillo, para su mantenimiento* [Tesis de maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio institucional de investigación de la Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2548>
- Sánchez, I., y De Solminihac, H. (1989). El Iri un indicador de la regularidad superficial. *Revista ingeniería de construcción*, vol. (6), pág. 1-17. <https://tallerdeletras.letras.uc.cl/index.php/ric/article/view/30179>
- Sánchez, R. (2022). *Evaluación funcional del micropavimento para determinar el tipo de intervención vial del tramo Paucará–Patoccocha, Acobamba–Huancavelica 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4281>

- Salgado, E., y Sotomayor, J. (2024). *Evaluación del estado estructural y funcional del pavimento flexible en la avenida Del Ejército y Collasuyo, Cusco 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/9298>
- Sayers, M. (1995). On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile. *Transportation research record*, Vol. (1501), Pág. 1-12.
- Sayers, M., y Karamihas, S. (1998). *The little book of profiling*. The regent of the university of Michigan. <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/21605/90151.pdf?sequence=1>
- Sayers, M., Gillespie, T., y Paterson, W. (1986b). *World bank technical paper number 46: guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*. The world bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/851131468160775725/pdf/multi-page.pdf>
- Sayers, M., Gillespie, T., y Queiroz, C. (1986a). *World bank technical paper number 45: the international road roughness experiment, establishing correlation and a calibration standard for measurements*. The world bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/326081468740204115/pdf/multi-page.pdf>
- Silvestre, I., y Huamán, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria*. Editorial San Marcos

- Sotil, A. (2014). Estado del arte de la ingeniería de pavimentos. *Saber y hacer*, vol. 1(1), pág. 77-83. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/28>
- Trujillo, J. (2023). *Análisis del desgaste superficial del pavimento rígido $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en las cuadras cinco al siete de la avenida Víctor Acosta segunda etapa - Abancay - 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/972>
- Valderrama, S. (2010). *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica*. Editorial San Marcos.
- Valverde, C., y Barrantes, R. (2019). Rangos del índice de regularidad internacional y su impacto en las ventanas de operación. *Boletín técnico PITRA-Lanamme UCR vol. 10*, pág. 10. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1422>
- Varma, T., Jagapathi, M., y Reddy, C. (2016). Functional evaluation of canal bank roads using Merlin. *International journal of research in engineering and science (IJRES)*, vol. 4, pág. 10. <https://www.ijres.org/papers/Volume%204/v4-i10/Version-3/B41030812.pdf>
- Vásquez, L. (2002). *Pavement condition index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Ingepav ingeniería de pavimentos. <https://snavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Ventura, J. (2005). *Determinación del índice de regularidad internacional (IRI)*. Unidad de investigación y desarrollo vial. <https://www.mop.gob.sv/wp-content/uploads/2010/03/IRI.pdf>

Vilca, J., y Cuba, B. (2020). *Evaluación superficial en pavimentos flexibles aplicando la metodología PCI, IRI y deflectometría en las Avs. Floral y El Sol de la ciudad de Puno 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16428>

WebinarTDM (2020). *Micropavimentos - Diseño y aplicación en obra* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oEWJQ0AVa-o>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional de la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes