



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRATAMIENTO OTTA SEAL
MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS EN EL
MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL PE-3SQ TRAMO
LAMPA - PALCA, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

ALEX PIERO SALGADO GARCIA

NELSON RICARDO SALGADO GARCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRATAMIENTO OTTA SEAL MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS EN EL MEJORAMIENTO

AUTOR

**ALEX PIERO SALGADO GARCIA NELSON
RICARDO SALGADO GARCIA**

RECuento DE PALABRAS

26659 Words

RECuento DE CARACTERES

150056 Characters

RECuento DE PÁGINAS

156 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.7MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 11, 2023 8:16 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 11, 2023 8:18 PM GMT-5

● **12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 11% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Ing. Emilio Castillo Araya
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA Nº 120514



Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA Nº 2170515

Resumen



DEDICATORIA

Deseo iniciar esta dedicatoria agradeciendo a Dios, quien ha sido mi fuente de inspiración, fortaleza y sabiduría en todo momento.

También quiero agradecer sinceramente a mis padres cuyo apoyo y sacrificio fueron fundamentales en este viaje académico. Por su amor incondicional y su apoyo constante.

Esta tesis es un testimonio de su dedicación y un homenaje a su confianza en mí.

Alex Piero Salgado Garcia



DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y guía en mi camino académico. Le dedico esta tesis con gratitud, reconociendo que, sin su divina dirección, este logro no sería posible.

A mis padres Pedro Salgado y Francisca García quienes me dieron su apoyo inquebrantable, amor incondicional, sacrificio y para terminar exitosamente mi carrera profesional.

A mi hermana Irma, por su eterna confianza, quien me anima a superar todos los obstáculos. A través de las noches de estudio y los desafíos académicos, tu presencia y aliento han sido mi ancla.

Nelson Ricardo Salgado Garcia



AGRADECIMIENTOS

Durante el transcurso de esta travesía hay varias personas a las que deseamos expresar nuestra profunda gratitud.

Agradecemos a Dios por ser fuente inagotable de fortaleza, a la Universidad Nacional del Altiplano por darnos la congruencia de adquirir conocimientos, crecer y desarrollarnos profesionalmente, a la excelencia académica y la calidad de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes han sido una fuente de gran inspiración.

Agradecer a nuestros jurados de tesis M.C. Gino Frank Laque Cordova, Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani y al Ing. Nestor Eloy Gonzales Sucasaire, por su compromiso y dedicación en la revisión y evaluación de este trabajo de investigación.

Agradecemos a nuestra asesora de tesis Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa, cuya orientación, experiencia y apoyo incansable han sido cruciales en la culminación de este proyecto.

Agradecer también a los ingenieros Cristhian Alarcon, Luis Mendo, Cristian Vilela y Roberto Trujillano porque compartieron sus conocimientos y experiencias, sus lecciones y enseñanzas han sido invaluable.

Finalmente, a nuestros compañeros y amigos de la Universidad quienes por su apoyo incondicional, risas, y compañía en cada paso del camino.

Alex Piero Salgado Garcia

Nelson Ricardo Salgado Garcia



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1. Problema general	23
1.1.2. Problemas específicos.....	23
1.2. JUSTIFICACIÓN	23
1.2.1. Justificación social	23
1.2.2. Justificación técnica.....	24
1.2.3. Justificación económica.....	24
1.2.4. Justificación ambiental	25
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.3.1. Objetivo General.....	25
1.3.2. Objetivos Específicos	25
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	26



1.4.1. Hipótesis General.....	26
1.4.2. Hipótesis Especifica.....	26
1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	26

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	28
2.1.1. Antecedentes Internacionales	28
2.1.2. Antecedentes Nacionales	31
2.1.3. Antecedentes Locales	34
2.2. MARCO TEORICO	36
2.2.1. Pavimento	36
2.2.2. Tipos de Pavimentos	37
2.2.3. Caminos con pavimentos económicos (Soluciones básicas)	39
2.2.4. Tratamientos Superficiales	40
2.2.5. Otta Seal.....	42
2.2.6. Contratos por niveles de servicio.....	46
2.2.7. Mantenimiento y conservación de pavimentos asfálticos.....	48
2.2.8. Evaluación de Pavimentos	50
2.2.9. Índice de Condición del Pavimento (PCI)	64
2.2.10. Índice de Regularidad Internacional (IRI)	79
2.2.11. Deflectometría de pavimento	84
2.3. MARCO CONCEPTUAL	88

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	90
---	-----------



3.1.1. Tipo de investigación	90
3.1.2. Nivel investigativo	90
3.1.3. Diseño de investigación	90
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	90
3.2.1. Población	90
3.2.2. Muestra	92
3.2.3. Criterios para la elección de la muestra	92
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA VÍA	95
3.3.1. Información de la carretera Lampa – Palca	95
3.3.2. Ubicación	95
3.3.3. Altitud	96
3.3.4. Topografía.....	96
3.3.5. Diseño geométrico	97
3.3.6. Estudio del Tránsito vehicular	99
3.3.7. Estructura del pavimento	100
3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	101
3.4.1. Normatividad técnica	101
3.4.2. Fichas de evaluación	101
3.5. EVALUACIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL MÉTODO PCI.....	105
3.5.1. Equipos y materiales	105
3.5.2. Procedimiento de medición en campo	105
3.5.3. Determinación del Índice De Condición De Pavimento (PCI).....	108
3.6. EVALUACIÓN FUNCIONAL MEDIANTE EL EQUIPO MERLÍN.....	113
3.6.1. Equipos y materiales	113



3.6.2. Procedimiento de medición en campo	114
3.6.3. Determinación del Índice De Rugosidad Internacional (IRI).....	118
3.7. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE VIGA BENKELMAN ..	122
3.7.1. Equipos y materiales	122
3.7.2. Procedimiento de medición en campo	122
3.7.3. Determinación de las deflexiones	126

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE PCI.....	132
4.1.1. Datos Recolectados Para la Obtención del PCI.....	132
4.1.2. Resumen de los Resultados del Índice de Condición del Pavimento PCI	132
4.2. RESULTADOS DE IRI.....	138
4.2.1. Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).....	140
4.3. RESULTADOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL	142
4.3.1. Datos Recolectados con la Viga Benkelman	142
4.3.2. Resumen de los Resultados de la Viga Benkelman	142
4.4. RESUMEN GENERAL DE EVALUACIÓN.....	146
V. CONCLUSIONES.....	148
VI. RECOMENDACIONES	150
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
ANEXOS.....	156

Área: Transportes

Tema: Pavimentos flexibles, nuevas tendencias

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21/12/2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Capas de pavimento	37
Figura 2 Distribución de un pavimento flexible	38
Figura 3 Estructura de un pavimento rígido	38
Figura 4 Tipos de tratamientos superficiales	42
Figura 5 Curva de gradación del Otta Seal	44
Figura 6 Situaciones de degradación del pavimento	49
Figura 7 Fases en el desarrollo de vida de un pavimento	50
Figura 8 Auscultación visual de fallas	53
Figura 9 Equipo LCMS	53
Figura 10 Equipo GERPHO (unidad filmadora)	53
Figura 11 Perfilógrafo Láser de alto rendimiento.....	55
Figura 12 Perfilógrafo.....	56
Figura 13 Perfiladores de peso ligero	56
Figura 14 Nivel y mira.....	57
Figura 15 Rugosímetro Merlín	57
Figura 16 Equipo tipo respuesta para medición de IRI	58
Figura 17 Equipo para extracción de núcleos de capas asfálticas	59
Figura 18 Calicatas	60
Figura 19 Viga Benkelman	61
Figura 20 Deflectógrafo Lacroix	62
Figura 21 Dynaflect	63
Figura 22 Curviámetro.....	63
Figura 23 Deflectómetro de impacto FWD	64



Figura 24 Falla piel de cocodrilo	67
Figura 25 Falla exudación	68
Figura 26 Falla agrietamiento en bloque	69
Figura 27 Falla abultamientos y hundimientos.....	70
Figura 28 Falla corrugaciones	70
Figura 29 Falla depresión	71
Figura 30 Fallas grieta en borde	71
Figura 31 Falla desnivel carril / berma	72
Figura 32 Falla grietas longitudinales y transversales	73
Figura 33 Falla parcheo	74
Figura 34 Falla agregados pulidos	74
Figura 35 Falla baches	75
Figura 36 Falla cruce de vía férrea	75
Figura 37 Falla ahuellamiento	76
Figura 38 Falla desplazamiento	76
Figura 39 Falla grietas parabólicas	77
Figura 40 Falla hinchamiento	78
Figura 41 Falla meteorización o desprendimiento de agregados.....	79
Figura 42 Escala de clasificación del IRI adaptado del Banco Mundial	80
Figura 43 Rugosímetro Merlin	81
Figura 44 Escala de dispersión de desviaciones	82
Figura 45 Curva de comportamiento de pavimento	84
Figura 46 Deflexiones en el pavimento	85
Figura 47 Medición de deflexión usando Viga Benkelman	86
Figura 48 Viga Benkelman	87



Figura 49 Mapa de ubicación de la carretera Lampa – Palca	96
Figura 50 Sección típica de la carretera PE-3SQ.....	99
Figura 51 Análisis de Composición de tráfico	100
Figura 52 Estructura del pavimento Otta Seal	101
Figura 53 Ficha de evaluación superficial PCI.....	102
Figura 54 Ficha de evaluación funcional IRI	103
Figura 55 Ficha de evaluación estructural Viga Benkelman	104
Figura 56 Medición de PCI tramo de estudio	106
Figura 57 Medición del ancho de la vía.....	106
Figura 58 Auscultación de muestras de PCI.....	107
Figura 59 Medición de la exudación de la carretera Lampa – Palca	107
Figura 60 Cálculo del Valor Deducido en ábaco de Parches.....	110
Figura 61 Cálculo del Valor Deducido Total	113
Figura 62 Medición de la pastilla de IRI	114
Figura 63 Ubicación del rugosímetro en el punto de medición.....	115
Figura 64 Medición del IRI con rugosímetro Merlín	116
Figura 65 Lectura y medición del IRI.....	117
Figura 66 Formato de cuadrícula para registro de lecturas.....	117
Figura 67 Histograma de frecuencias	119
Figura 68 Descarte de datos y rango “D”	120
Figura 69 Pesaje de camión volquete	123
Figura 70 Colocación del deflectómetro Viga Benkelman.....	124
Figura 71 Movimiento en el dial de lectura.....	125
Figura 72 Registro de los datos por punto de evaluación	126
Figura 73 Porcentaje de incidencia de fallas superficiales	137



Figura 74 Gráfico de evaluación del PCI	138
Figura 75 Gráfico de rugosidad IRI.....	140
Figura 76 Gráfico de Serviciabilidad PSI.....	142
Figura 77 Deflectograma de tramo Palca – Lampa (km 80+000 – 84+000).....	145
Figura 78 Esquema resumen de evaluación de pavimento Otta Seal	147



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	27
Tabla 2 Tratamientos superficiales	42
Tabla 3 Rango de clasificación PCI.....	65
Tabla 4 Tipos de fallas PCI.....	66
Tabla 5 Calificación según PSI.....	83
Tabla 6 Tramo de ruta PE-3SQ.....	91
Tabla 7 Muestra para cálculo de PCI.....	94
Tabla 8 Muestra para el cálculo de IRI.....	94
Tabla 9 Muestra para el cálculo de deflexiones.....	94
Tabla 10 Topografía carretera PE-3SQ.....	97
Tabla 11 Índice medio diario anual de la carretera Lampa – Palca.....	100
Tabla 12 Dimensionamiento de fallas.....	108
Tabla 13 Densidad porcentual individual	109
Tabla 14 Cálculo de Valores Deducidos.....	110
Tabla 15 Lista de valores deducidos (en forma decreciente).....	111
Tabla 16 Cálculo de Valores Deducidos Corregidos (CVD).....	112
Tabla 17 Datos de campo recopilados por Rugosímetro Merlín	118
Tabla 18 Cuadro de distancia de deflectometría al borde del pavimento	123
Tabla 19 Cálculo de la deflexión relativa	126
Tabla 20 Cálculo de deflexión corregida	128
Tabla 21 Definición de Deflexión Característica.....	130
Tabla 22 Resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	132
Tabla 23 PCI Tramo Palca – Lampa.....	135



Tabla 24 Resumen de metrados e incidencias de las fallas superficiales	136
Tabla 25 Resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	139
Tabla 26 Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	140
Tabla 27 Evaluación Funcional - IRI Tramo Lampa - Palca (Km 80+000 - 84+000)	141
Tabla 28 Resultado de deflexión con Viga Benkelman.....	143
Tabla 29 Resumen de evaluación estructural deflexiones	145



ACRÓNIMOS

OTTA SEAL:	Optimized Thin Two-layer Asphalt Seal
PE-3SQ:	Carretera PE-3SQ
ASTM:	American Society for Testing and Materials
PCI:	Índice de Condición del Pavimento
IRI:	Índice de Rugosidad Internacional
PSI:	Present Serviciability Index
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MEF:	Ministerio de Económica y Finanzas
SINAC:	Sistema Nacional de Carreteras
VD:	Valor Deducido
H :	ALTO
M:	MEDIO
L :	BAJO



RESUMEN

Las carreteras, esenciales para el desarrollo, deben ofrecer servicialidad y confort al usuario, reflejados en sus condiciones superficiales, estructurales y funcionales. Este estudio evaluó el tratamiento Otta Seal en el corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, utilizando métodos no destructivos. La metodología empleada fue no experimental y descriptiva, con enfoque aplicado. La población fue la carretera PE-3SQ y la zona de estudio el tramo Palca – Lampa (32.70 km). La muestra abarcó 4.00 km entre el km 80+000 al 84+000, con tratamiento Otta Seal. La evaluación superficial se basó en el Índice de Condición del Pavimento PCI (ASTM D 6433-3). La evaluación funcional utilizó el Índice de Regularidad Internacional (IRI), obteniéndose un IRI promedio de 3.55 m/km y un PSI correlacionado de 2.62, indicando una condición funcional "regular". La evaluación estructural empleó la Viga Benkelman para determinar la flexión característica (ASTM D-4695-03 y MTC - E 1002-2016). Los resultados demostraron un PCI de 89, clasificándolo como "Excelente". Las deflexiones con la Viga Benkelman revelaron una deflexión característica de 126.9 mm/100 y una deflexión admisible de 245 mm/100, indicando un comportamiento estructural favorable. En conclusión, el tratamiento Otta Seal en el corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca exhibe un comportamiento excelente en aspectos superficial, funcional y estructural. Se recomienda realizar trabajos de mantenimiento preventivo y rutinario para preservar las condiciones viales y prolongar la vida útil de la carretera.

Palabras clave: Condición de pavimento, Deflexión, Otta seal, Tratamientos superficiales, Regularidad.



ABSTRACT

Roads, essential for development, must offer service and comfort to the user, reflected in their surface, structural and functional conditions. This study evaluated the Otta Seal treatment in the PE-3SQ road corridor, Lampa - Palca section, using non-destructive methods. The methodology used was non-experimental and descriptive, with an applied approach. The population was the PE-3SQ highway and the study area was the Palca – Lampa section (32.70 km). The sample covered 4.00 km between km 80+000 to 84+000, with Otta Seal treatment. The surface evaluation was based on the PCI Pavement Condition Index (ASTM D 6433-3). The functional evaluation used the International Regularity Index (IRI), obtaining an average IRI of 3.55 m/km and a correlated PSI of 2.62, indicating a "regular" functional condition. The structural evaluation used the Benkelman Beam to determine the characteristic bending (ASTM D-4695-03 and MTC - E 1002-2016). The results showed a PCI of 89, classifying it as "Excellent." Deflections with the Benkelman Beam revealed a characteristic deflection of 126.9 mm/100 and an allowable deflection of 245 mm/100, indicating favorable structural behavior. In conclusion, the Otta Seal treatment in the PE-3SQ road corridor Lampa - Palca section exhibits excellent performance in surface, functional and structural aspects. It is recommended to carry out preventive and routine maintenance work to preserve road conditions and prolong the useful life of the road.

Keywords: Pavement condition, Deflection, Otta Seal, Surface treatments, Regularity.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El objetivo primordial de este estudio consistió en realizar un examen exhaustivo con el propósito de ejecutar un análisis metódico de la condición superficial del tratamiento Otta Seal, con el fin de conocer el desempeño de este tipo de pavimento económico, y así poder plantearlo como una buena alternativa en vías de bajo volumen de tránsito.

El tratamiento superficial Otta Seal es una destacada opción para carreteras con bajo flujo vehicular, constituye una excelente alternativa para vías de tránsito de baja densidad., al contar con las características adecuadas en términos técnicos y económicos.

La estructura de la investigación subsiguiente comprende VII capítulos, a saber:

CAPÍTULO I: “Introducción”, comprende el planteamiento del problema: el elevado costo de las Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC), sobre esto se propone la utilización del tratamiento superficial Otta Seal como principal alternativa; presentando así los objetivos e hipótesis.

CAPÍTULO II: “Revisión de la Literatura”, donde se desarrollan las referencias de la investigación, las bases literarias presentando los tratamientos superficiales, el tratamiento Otta Seal, los índices de condiciones del pavimento, asimismo, se ha desarrollado el entramado conceptual de los conceptos empleados en la investigación, basándose en fuentes bibliográficas fundamentadas.

CAPÍTULO III: “Materiales y Métodos”, engloba la metodología de la investigación, la identificación de la población y la selección de la muestra, estrategias para la adquisición de datos, como también la manera de procesar y analizar la



información. Al finalizar se presenta el procedimiento secuencial de las evaluaciones en el tratamiento superficial Otta Seal.

CAPÍTULO IV: “Resultados y Discusión”, exhibe los resultados derivados aplicando las evaluaciones funcionales, superficiales y estructurales, apoyándose con tablas y gráficos que permiten evaluar de mejor manera el tratamiento superficial Otta Seal. De la misma manera se analiza a detalle en el apartado de la discusión los resultados obtenidos.

CAPÍTULO V: “Conclusiones”, presenta las conclusiones a las que se llegó posterior a evaluación a la que se sometió al tratamiento superficial Otta Seal, atendiendo así a los objetivos trazados.

CAPÍTULO VI: “Recomendaciones”, se presentan las recomendaciones en referencia a las conclusiones llegando a proponer realizar estas evaluaciones periódicamente en el tratamiento superficial Otta Seal.

CAPÍTULO VII: “Referencias Bibliográficas” Finalmente se presentan las referencias utilizadas en la presente investigación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito internacional, el estado de infraestructuras viales despierta una preocupación constante dada la creciente exigencia en materia de movilidad y transporte, por lo que la gestión del mantenimiento vial se erige como temática crucial con el fin de salvaguardar la integridad y seguridad, abordando de manera meticulosa el mantenimiento de las carreteras y la eficiencia del transporte. Bajo esa premisa, la eficacia de los tratamientos superficiales en la mejora vías ha evolucionado hacia un asunto de relevancia crítica, asimismo la imperante demanda de concebir respuestas que sean tanto



sostenibles como eficientes en un marco técnico y creativo para mantener y mejorar las carreteras es un desafío global, considerando que las vías han experimentado una transformación que lo ha situado como una cuestión de importancia crítica del avance económico y desarrollo societal de las naciones.

En el contexto nacional peruano, la red vial desempeña un papel vital en la conectividad entre regiones, influyendo directamente en el progreso económico y bienestar de la población. Según el Plan Operativo Institucional 2023 del MTC, señala que la red vial nacional alcanza 27,114 Km, de ésta, se encuentra pavimentada (entre asfaltadas y con soluciones básicas) unos 22,675 Km (84%) en tanto que 4,439 Km (16%) está como no pavimentada, por otro lado, únicamente el 13.2% de la infraestructura vial a nivel departamental se encuentra revestida con pavimento, en tanto que la red vial local apenas alcanza el 1.7%. Evidenciándose que en el Perú el uso de las soluciones básicas como el Otta Seal viene siendo una opción para la pavimentación de la red vial al representar un 27% respecto a los 56% vías pavimentadas con asfalto. Asimismo, el Perú tiene una gran cantidad de carreteras que necesitan mantenimiento y el presupuesto para el mantenimiento de carreteras es limitado. La elección de técnicas de tratamiento superficial, como Otta Seal, para su mejora, plantea interrogantes cruciales sobre la idoneidad y la sostenibilidad de estas soluciones en el contexto específico de las condiciones geográficas y climáticas del país.

En la región de Puno, según señala el Anuario Estadístico 2022 del MTC la red vial del departamento de Puno al 2022 alcanzó 13,637 kilómetros, de los cuales 2,018 pertenecen a la red nacional, 2,349 a la departamental y 9,268 a la vecinal, distribuidos entre pavimentadas y no pavimentadas. La carretera PE-3SQ es un eje que conecta localidades y facilita el intercambio comercial. Sin embargo, las condiciones geográficas adversas y las variaciones climáticas pueden afectar significativamente la durabilidad de



las carreteras. Pacco (2023) señala que el deterioro de la red vial en la región altiplánica plantea la necesidad de evaluar críticamente la efectividad de los tratamientos superficiales, como el Otta Seal, para garantizar una movilidad segura y eficiente.

El minucioso análisis de la efectividad del tratamiento superficial Otta Seal en el corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023, es esencial con el fin de optimizar la capacidad de discernimiento en la fase de concepción y despliegue de iniciativas viales, buscamos perfeccionar la toma de decisiones en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura vial. La toma de decisiones en la concepción y desarrollo de proyectos viales implica un papel crucial. La obtención de datos sobre el PCI, IRI y las deflexiones contribuirá al conocimiento técnico y permitirá optimizar futuras intervenciones viales, garantizando la eficiencia, la durabilidad y la integridad estructural de las instalaciones de transporte en la zona. y por extensión, en el contexto nacional.

De acuerdo al creciente costo de los materiales derivados del petróleo como también las restricciones de las canteras (restricciones económicas y medio ambientales); esto reduce las posibilidades de acceder a los materiales básicos para poder realizar asfaltado mediante las Mezclas Asfáltica en Caliente; la cuales consumen grandes volúmenes de material para su ejecución, esto junto a lo costoso del procedimiento constructivo ponen una gran barrera para poder atender la necesidad que genera el incremento del tránsito que obliga a invertir en infraestructuras viales. Ante esta problemática surgen los tratamientos superficiales como excelentes soluciones para atender las vías de bajo volumen de tránsito por ser reconocido por su buena relación costo desempeño. (Kröger & Kröger, 2020)



1.1.1. Problema general

- ¿Cuál es la condición superficial del tratamiento Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023?
- ¿Cuál es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023?
- ¿Cuál es el estado de las deflexiones usando la viga Benkelman del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023?

1.2. JUSTIFICACIÓN

1.2.1. Justificación social

El mejorar las vías aplicando tratamientos superficiales optimizan la movilidad y bienestar de los usuarios al optimizar el entorno circunstancial de tránsito y confort. Además, que conlleva el incremento vehicular y de esta manera la conexión entre los pueblos mejore incentivando a posteriormente exigir rehabilitaciones, mantenimientos, mejoramientos y/o construcción de carreteras asfaltadas.



1.2.2. Justificación técnica

Cavieres (2008) afirma que los desenlaces derivados de las valoraciones del estado del pavimento. se pueden usar para comparar las condiciones del pavimento (IRI, PCI y Deflexión) y compararla con la de otros tratamientos superficiales, es importante mencionar que los pavimentos con tratamientos superficiales suelen contar con una base estabilizada a la que se coloca una carpeta de rodadura, por lo que su evaluación con otros tratamientos superficiales (Slurry Seal, Cheep Seal, Fog Seal, Micropavimento, etc) puede correlacionarse y/o compararse y determinar mejoras para su aplicación.

La presente investigación permitirá conocer y comprender el comportamiento funcional, superficial y estructural del revestimiento superficial denominado "Otta Seal" en la funcionalidad de la carretera que conecta Lampa con Palca, surgiendo como resultado un mejoramiento palpable en el confort al usuario conductor con su adecuada transitabilidad; además de ser una solución viable para vías de con un flujo vehicular reducido.

Asimismo, la evaluación permite identificar y sectorizar las condiciones de la vía para proponer una alternativa de tratamiento ante posibles fallas que pueda presentar el pavimento evitando así su deterioro progresivo.

1.2.3. Justificación económica

La principal característica de este tipo de tratamientos superficiales son los bajos costos que producen, por el proceso constructivo que conlleva ya que se hace con equipos convencionales y de materiales más accesibles en relación a un asfaltado.



1.2.4. Justificación ambiental

El tratamiento superficial es sostenible debido a que estos generan menos impactos ambientales a la zona durante el proceso de construcción, poniendo como ejemplo el trabajo con las emulsiones para trabajar con bajas temperaturas, se adapta a los materiales que abundan en las zonas para proyectar algún tipo de tratamiento superficial (Slurry Seal, Cheep Seal, Fog Seal, Micropavimento, etc).

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la condición superficial del tratamiento Otta Seal mediante métodos no destructivos en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023.
- Evaluar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023.
- Evaluar el estado de las deflexiones usando la viga Benkelman del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023



1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis General

- La evaluación de la condición superficial del tratamiento Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca presenta un eficiente desempeño del pavimento flexible y una buena alternativa de solución para vías de bajo volumen de tránsito.

1.4.2. Hipótesis Especifica

- El Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, presenta un estado de conservación del pavimento entre buena y excelente dentro de la escala de clasificación PCI.
- El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, presenta valores entre 3.00 m/km a 5.00 m/km comprendido dentro de las especificaciones de los corredores viales por niveles de servicio.
- El estado de las deflexiones usando la viga Benkelman del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, permite determinar el estado estructural, para el caso de tratamientos superficiales no tiene un aporte a la capacidad estructural del pavimento.

1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La Tabla 1 exhibe la concreción de las variables en cuestión.

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	UNIDAD	INDICADORES
Variable Independiente	Gradación de agregados	De acuerdo a la granulometría.	Gradación abierta Gradación media Gradación densa
Tratamiento Superficial Otta Seal	Vida Útil	Años	Periodo de Diseño Mantenimiento Periódico Mantenimiento Rutinario
Variable Dependiente	Índice de Condición de Pavimento (PCI)	Escala numérica de 0 al 100	Irregularidad Clase Severidad
Evaluación funcional, estructural y superficial	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	m/km	IRI Promedio IRI Característico
	Deflexiones	mm	Deflexiones Características Radio de Curvatura

Nota: Creado por el equipo de colaboradores



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Jibon et all. (2023) en su investigación señala que el Otta Seal ha despertado un gran interés entre los ingenieros de carreteras de Iowa en busca de una alternativa de superficie más económica para la construcción, conservación y rehabilitación de carreteras de bajo volumen. Esta tecnología no ha sido suficientemente estudiada en los EE. UU. y la única guía disponible para la construcción del sello Otta se basa en la experiencia de campo en Noruega. Los resultados mediante las pruebas de barrido determinaron que la variación del tipo de material no afectó significativamente la pérdida de agregados de las muestras de sello Otta y que la pérdida de agregados en las muestras disminuyó gradualmente a medida que se cambió la clasificación de densa a abierta.

Asimismo, Vaitkus et all. (2016) en su investigación realizada en Lituania, señala que el mantenimiento de estas carreteras requiere un gran presupuesto y su funcionamiento genera malestar social. Ante ello propone como solución el uso de Otta Seal. En su investigación se realizó mediciones de la rugosidad (IRI) y la condición del pavimento, determinando que el IRI cumple con los requisitos menores a 3.5 m/km, asimismo la condición de pavimento está en buenas condiciones después de 30 a 32 meses de funcionamiento de vía, las imperfecciones más prominentes identificadas consistieron principalmente en fisuras de orientación longitudinal, sin embargo el Otta Seal demostró capacidades



de autocurarse bajo altas temperaturas de pavimentos. Asimismo se señala que los defectos encontrados se deben a tres principales factores, la baja cantidad de aglutinante, poco mantenimiento de la vía y un procedimiento inadecuado de aplicación de Otta Seal.

Del mismo modo Ceylan (2018) en su investigación señala que el Otta Seal posee un excelente rendimiento como tratamiento de superficies bituminosas y tecnología de mitigación de polvo por su bajo costo para las vías de bajo volumen de tránsito, debido a que estas representan una proporción significativa de infraestructura de transporte en Iowa. Asimismo, menciona que los sellos Otta Seal a menudo se pueden construir utilizando agregados locales más económicos y equipos fácilmente disponibles. Los resultados determinaron que la gradación es la propiedad más crítica de los agregados, al permitir el Otta Seal un amplio rango, asimismo recomienda que el agregado se mantenga en condiciones secas, además, los resultados derivados de la implementación del Otta Seal determinaron que el color al inicio de la aplicación es un color claro y va oscureciendo con el tiempo, demostrando que el aglutinante aflora y envuelve el agregado, para el caso del IRI los valores cambiaron ligeramente y oscilaron entre 3 a 5 m/km.

Asimismo, Yang et al. (2022) en su investigación refiere que el Otta Seal es una aplicación de tratamiento superficial bituminoso fino con agregados graduados y aglutinante asfáltico emulsionado o reducido. En la investigación se realizó la evaluación del rendimiento del uso de escoria (material reciclado) con el fin de implementar el tratamiento Otta Seal en el condado de Louisa, se procedió a su aplicación con enfoque técnico y meticuloso, midiéndose el polvo generado por el tráfico, resistencia al deslizamiento y el índice de rugosidad internacional (IRI) antes y posterior a la implementación del tratamiento Otta Seal. Los



resultados demostraron que el Otta Seal redujo drásticamente el polvo en la superficie de la vía y mantuvo una resistencia al deslizamiento aceptable, sin embargo, presentó valores altos de IRI debido a la mala compactación y la inadecuada gradación de escoria. Además, la superficie recién construida exhibió una apariencia excelente por lo que la evaluación superficial determinó que no se encontraron daños después de ocho meses de servicio.

Del mismo modo Beltrán & Romo (2014) en su investigación, se destaca que la duración efectiva de los pavimentos en funcionamiento y las elecciones de conservación están intrínsecamente ligadas a la condición estructural observada durante su ciclo operativo. Los autores plantean la propuesta de tres sistemas fundamentados con el propósito de inferir la condición del pavimento y las estrategias de conservación y/o mantenimiento. El propósito es establecer una metodología que agilice la caracterización de pavimentos con la profundidad de detalle requerida. Con el propósito de este estudio, se recurrió a la evaluación no destructiva de un pavimento compuesto por tres y cuatro estratos, los cuales abarcaban tanto estructuras convencionales como invertidas, estas últimas caracterizadas por contar con una capa de subbase estabilizada. Se construyó una data que almacena información detallada sobre la magnitud como la gravedad de los deterioros estructurales y deflexiones. Los sistemas que se aplicaron posibilitaron la incorporación directa de conocimientos y criterios de expertos en el análisis estructural de las capas que componen la infraestructura vial, incorporando variables subjetivas y cualitativas comúnmente utilizadas para describir niveles de deterioro. Los resultados evidencian la idoneidad de los sistemas propuestos para realizar evaluaciones rápidas y facilitar la toma de decisiones en corredores viales.



Por otro lado, según Nahvi et all. (2019) en el marco de su estudio menciona realizaron un análisis económico para comparar el costo de mantener un camino de grava con el costo de mejorar un camino con un doble Otta Seal. Este análisis se realizó en tres niveles: análisis determinista del costo del periodo de existencia, un examen de naturaleza estocástica fundamentado en la implementación de simulaciones mediante el método de Monte Carlo y un análisis económico basado en el tráfico. Los resultados determinaron que la mejora de inversión hasta un 15% en el Otta Seal podría justificarse por los ahorros de mantenimiento, optimizar la integridad y resguardo de los transitantes en la infraestructura vial y también fomentar el desarrollo económico beneficioso para las áreas locales.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Según Huamán & Oscco (2021) presenta en su investigación la evaluación del tratamiento de la capa asfáltica mediante la implementación de la metodología Otta Seal mediante la aplicación de Fichas de Observación y Fichas de Ensayo con el fin de establecer la condición del firme vial antes de su intervención y se describió el proceso constructivo del Otta Seal. Los resultados demostraron que el Otta Seal carece de la aptitud para resistir cargas estructurales, sin embargo, se trata de un procedimiento de mantenimiento alternativo cuyo costo global resulta inferior al de otras modalidades de mantenimiento, ya que engloba la superficie, sella la plataforma de la vía y previene el desprendimiento de agregados. Además, exhibe costos operativos más eficientes para todos los beneficiarios de la vía, mejorando significativamente la serviciabilidad y ofreciendo la capacidad de reducir la generación de polvo. (p. 8)



Asimismo, Linares (2021) en su estudio, cuyo propósito es evaluar y realizar un diagnóstico de la condición de pavimento flexible a través de la implementación del enfoque del PCI junto con la prueba de la Viga Benkelman empleados como métodos metodológicos para medir deflexiones, con la meta de mejorar y rehabilitar la red vial, se obtuvieron resultados que revelan un índice de condición del pavimento (PCI) registrado en 26, acompañado por un índice de resistencia de soporte (CBR) del 10%, conforme a la categorización establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), estos valores sitúan al pavimento en la categoría de "regular". La autora concluye que, para realizar una mejora efectiva del pavimento, es imperativo comprender su condición tanto a nivel superficial como estructural. (p. 10).

Del mismo modo Chillitupa & Palma (2021) en su investigación, se ejecutó un escrutinio exhaustivo de las metodologías empleadas a nivel internacional con el fin de determinar el índice que caracteriza la condición de la superficie de rodadura, en tratamientos superficiales. Esta investigación evaluó siete metodologías, incluyendo las propuestas por el Instituto del Asfalto de Louisiana, MTO Ontario, STPP SPS3, ARA Canadiense, Nueva Zelanda y el PCI. Tras la aplicación de estas metodologías, se determinó que la más apropiada para pavimentos de este tipo es la propuesta por el Instituto del Asfalto, aunque destacó que la metodología PCI demuestra un método de selección de muestras más riguroso. La comparación se llevó a cabo considerando el conjunto y tipo de fallas abordadas por cada metodología, siendo más representativas aquellas relacionadas con las manifestaciones patológicas observadas abarcan el fenómeno de ahuellamiento, fisuración, configuración de tipo "piel de cocodrilo", exudación, formación de baches, aplicación de parches, pérdida de superficie, desagregación



de agregados y la presencia de surcos u ondulaciones en la estructura vial. Adicionalmente, los resultados obtenidos revelaron que la duración media de efectividad de un revestimiento superficial se sitúa en torno a los 10.5 años.

Por otro lado, Ramírez (2020) en su estudio, planteo el propósito principal de llevar a cabo una comparación técnica y económica entre los procedimientos superficiales Otta Seal y Slurry Seal, analizando sus respectivas eficacias y costos asociados, específicamente destinados para vías de bajo volumen de tránsito en el territorio de San Martín. Se dedujo que la eficacia de ambas intervenciones, ya sean Otta Seal o Slurry Seal, alcanzó niveles satisfactorios tras la evaluación, se sitúa en el rango de del índice PSI de 3.5, conforme a la gradación consagrada en el Manual de Diseño AASHTO del año 1993. Además, se observó que los efectos ambientales sobre ambos tratamientos son en general similares debido a su naturaleza termoplástica, lo que los hace susceptibles a fisuras, hundimientos y ahuellamientos. Los resultados obtenidos evidencian que el proceso de implementación del tratamiento superficial Otta Seal se distingue por su eficaz celeridad en la ejecución en comparación con el Slurry Seal.

Por otro lado, Balarezo (2017) en el marco de su estudio, que busca introducir la evaluación estructural con Viga Benkelman como inicio de un plan de evaluación de mantenimiento para los gobiernos locales, el autor realizó la investigación en un pavimento flexible de la Universidad de Piura. Las conclusiones derivadas a través del empleo de la Viga Benkelman y su correlación con el CBR a través de monogramas revelan un CBR promedio del 20.52%, catalogado como altamente satisfactorio. Además, se concluye que resulta crucial emplear ambas metodologías, tanto la numérica como los nomogramas, en el procesamiento de datos relacionados con las deflexiones. (p. 4)



2.1.3. Antecedentes Locales

Según, Vilca & Cuba (2020) en su estudio, cuyo propósito fue la evaluación de la superficie del pavimento flexible en las Avenidas Floral y El Sol de la ciudad de Puno se centra en factores clave, tales como el PCI, la regularidad (IRI) y deflexiones características, utilizando la Viga Benkelman como herramienta para la medición de esta última. Los resultados revelan que los valores del IRI calculados exceden el umbral recomendado de 3.5 m/km. Además, se observa que las deflexiones características superan los valores permisibles establecidos para cada calzada. En consecuencia, concluye que la estructura vial presenta un estado poco favorable en el pavimento, requiriendo intervenciones de rehabilitación para restablecer su integridad y funcionalidad. Este dictamen se respalda en el hecho de que los resultados de cada metodología se encuentran en un rango inferior a los estándares preconizados por las directrices establecidas en las normativas ASTM-D6433-03 y MTC-2013.

Del mismo modo, Pacco (2023) en su investigación realizada en la carretera Arapa – Azángaro, tuvo como objetivo aplicar la metodología Otta Seal se implementó con el propósito de optimizar la accesibilidad en la vía PE-34R, abarcando desde el punto kilométrico 04+086 hasta el punto kilométrico 34+500, concluyendo que mediante la aplicación del Otta Seal de 12 mm de espesor se mejoró la transitabilidad de la vía en los aspectos de disminución del IRI y el aumento de velocidad de viaje mejorando el IRI de desde 4.295 hasta 2.765 m/km, asimismo se demostró que se redujo el tiempo de viaje a menos de una hora, después de la aplicación del Otta Seal.



Asimismo, Ramos (2017) en su estudio, orientada al análisis exhaustivo de la condición pavimentaria en la vía Puno – Vilque – Mañazo, especialmente en los 4 kilómetros críticos, se emplearon la Deflectometría y la medición de la rugosidad. Para este propósito, haciendo uso de la Viga Benkelman para evaluar las deflexiones características y el Rugosímetro tipo Merlín para calcular IRI. Los resultados indicaron que, en promedio, la condición del pavimento (PCI) se clasifica como "Mala". Se evidenció que la deflexión característica en el carril derecho registró un valor de 69.22 mm/100, mientras que en el carril izquierdo fue de 65.53 mm/100, ambas mediciones son inferiores a la deflexión admisible de 127.5 mm/100. En relación al Índice de Regularidad Internacional (IRI), se obtuvieron lecturas de 4.78 m/km y 4.63 m/km para para el carril derecho e izquierdo respectivamente. Estos resultados conducen a la deducción de que el pavimento objeto de evaluación no satisface los parámetros definidos en el Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos".

Asimismo, Bonifacio (2022) en su investigación, cuya finalidad se centra en la valoración de la aptitud estructural del pavimento flexible en una vía carretera, mediante el análisis deflectométrico conforme a la normativa peruana (MTC E 1002). Los resultados derivados de la evaluación estructural a través el uso de la Viga Benkelman, mediante el método CONREVIAl, revelaron un valor de 49.38 mm/100 de deflexión característica, la es inferior a la deflexión admisible establecida en 104.75 mm/100. Esta investigación concluye que el desempeño tanto de la subrasante como del pavimento es positivo, lo que se traduce en una capacidad estructural del pavimento catalogada como "buena".

Por otro lado, Chipana & Sanca (2022) en el marco de su investigación, la cual tiene como la finalidad de este estudio consistió en cuantificar la influencia

de la implementación del tratamiento superficial Otta Seal en la optimización de la serviciabilidad en la vía Arapa – Chupa, se empleó una metodología que implica la evaluación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) y del Índice de Condición de Pavimento (PCI) en ambas instancias, tanto previas como posteriores a la ejecución del tratamiento superficial Otta Seal. Los resultados revelaron que, tras la aplicación de Otta Seal, los valores de PSI y PCI experimentaron un incremento significativo, situándose en una categoría que refleja una condición de buena a excelente.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Pavimento

Según el MEF (2015), el pavimento constituye una infraestructura instalada por encima de la subrasante de la carretera con el propósito de resistir y distribuir las cargas generadas por los vehículos, con el propósito de incrementar los estándares de seguridad vial y optimizar la experiencia de conducción en términos de confort. Generalmente, está conformado por estratos que incluyen carpeta de rodadura, base y subbase como se muestra en la figura 1. (p. 13)

Asimismo, Sánchez (1984) señala que el término hace referencia a estratos o conjunto estratificado de materiales particulares ubicados entre la superficie de rodadura o nivel de la carretera y la subrasante. Su finalidad radica en ofrecer una zona superficial de rodaje homogénea, capaz de resistir los efectos del clima y el tráfico, y de gestionar de manera eficaz la transferencia de las cargas vehiculares hacia la subrasante. (p. 4).

Del mismo modo PROAS (2011), señala que el pavimento debe soportar y transmitir las cargas del tráfico a la explanada de manera suficientemente

amortiguada para que la explanada pueda soportar y proporcionar siempre una superficie idónea y confortable que garantiza una adecuada rodadura vehicular.

(p. 18)

Figura 1

Capas de pavimento



Nota: Adaptado por Kroger & Kroger (2020)

2.2.2. Tipos de Pavimentos

2.2.2.1. Pavimento Flexible

Según el MEF (2015) Se trata de un sistema conformado por estratos de material granular, que comprenden una base y una subbase, complementado con una capa de rodadura conformada por elementos asfálticos. Estos últimos comprenden ligantes, agregados y, en situaciones específicas, pueden incorporarse aditivos según sea necesario, ver figura 2.

Entre las capas de rodadura asfáltica se incluyen principalmente el mortero asfáltico, tratamientos superficiales de dos capas, micropavimentos, mezclas

asfálticas en frío (MAF) y mezclas asfálticas en caliente (MAC). (MEF, 2015, p. 14)

Figura 2

Distribución de un pavimento flexible



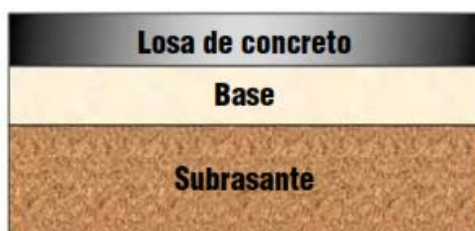
Nota: Adaptado del MEF (2015).

2.2.2.2. Pavimento Rígido

Se trata de una configuración que consta de una base conformada por material granular, la cual puede ser granular o recibir estabilización mediante cemento, asfalto o cal. Sobre esta se coloca un estrato de rodadura compuesto por losa de concreto, en la que el aglutinante principal es el cemento hidráulico, acompañado de agregados y, en determinadas instancias, aditivos como se ve en la figura 3. (MEF, 2015, p. 15)

Figura 3

Estructura de un pavimento rígido



Nota: Adaptado del MEF (2015).



2.2.3. Caminos con pavimentos económicos (Soluciones básicas)

Según el MEF (2015) señala que la regulación vigente no establece de manera explícita los términos "solución básica" o "pavimento económico"; sin embargo, Se refiere a metodologías técnicas, consideraciones económicas y aspectos ambientales que se centran primordialmente en la implementación de estabilizadores de suelos, revestimientos asfálticos y otras estrategias afines. Este enfoque posibilita una mayor durabilidad y una mejora en el rendimiento de las carpetas de rodadura en carreteras no pavimentadas. (p. 16)

En este contexto de soluciones, es factible encontrar las siguientes situaciones:

- **Caminos afirmados estabilizados sin recubrimiento**

Son vías con una base estabilizada mediante la aplicación de agentes químicos sin una carpeta de rodadura.

- **Caminos afirmados estabilizados con recubrimiento**

Vías con una protección bituminosa en la carpeta de rodadura, teniendo firmes compuestos de terraplenes o suelos estabilizados mediante la aplicación de agentes químicos.

- **Caminos con soluciones básicas pavimentadas**

Mediante una superficie de rodadura asfáltica de aplicación en frío, los caminos con pavimento compuesto por estratos granulares como una base estabilizada, Poseen un pavimento asfáltico de rodadura en condiciones frías. Estos tipos de pavimento incluyen tratamiento superficial monocapa, lechada o mortero asfáltico, micropavimento en frío, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc. (MEF, 2015, p. 16-17)

2.2.4. Tratamientos Superficiales

De acuerdo al MTC (2013) define como la aplicación de una o más capas de riego asfáltico. Conformada por aditivos y agregados con características dadas por las especificaciones técnicas. Normalmente son de 1, 2 y 3 capas (monocapa y bicapa). (p. 48)

Por otra parte, Bañon & Bevíá (2000) indican que el proceso de tratamiento superficial engloba la aplicación de un riego de asfalto sobre la plataforma, seguida de una dispersión homogénea de agregado pétreo sobre dicha capa. Del mismo modo, Kraemer et al. (2004) señala que los tratamientos superficiales son técnicas de pavimentación que dan al pavimento características superficiales específicas, como textura, impermeabilidad, etc., sin mejorar significativamente la capacidad portante ni la regularidad superficial. Esta es una capa de película delgada que oscila entre 1 cm a 4 cm. (p. 299)

Kröger & Kröger (2020) indican que la función del tratamiento superficial es proporcionar una superficie resistente al agua, daño de los neumáticos y los agentes climáticos, y proporcionar una macrotextura que brinde resistencia al deslizamiento, y así los usuarios transiten con seguridad. (p. 55)

2.2.4.1. Objetivos de los tratamientos superficiales

Según lo describe Kroger & Kroger (2020) los principales objetivos de los tratamientos superficiales son:

- Salvaguardar la estructura del pavimento y la capa subyacente de posibles deterioros asociados a condiciones climáticas adversas
- Garantizar la impermeabilidad del pavimento.



- Suministrar una capa superficial que resista eficazmente la abrasión generada por los neumáticos de los vehículos.
- Ofrecer una superficie de circulación que sea uniforme, segura y confortable para el usuario.

2.2.4.2. Clasificación de los tratamientos superficiales

Según Bañon & Bevía (2000, cap. 23 p. 2) se pueden clasificar tres modalidades de tratamientos superficiales con base en su composición:

Riegos sin gravilla. Por lo general, son procesos auxiliares y/o complementarias durante la construcción de la vía o la conservación y/o mantenimiento del pavimento. Se distinguen por su composición única de emulsiones de asfalto.

Riegos con gravilla. Los tratamientos superficiales se destacan como altamente eficaces, ya que consisten en una combinación de gravilla y ligante hidrocarbonado. Estos pueden emplearse tanto para potenciar las características superficiales del pavimento como para desempeñar el papel de capa de rodadura en caminos rurales o con un flujo vehicular limitado.

Lechadas bituminosas. Este tipo de compuestos se producen mediante la amalgama de una suspensión asfáltica con agregados de textura meticulosa, lo que da como resultado un mortero con propiedades superficiales excepcionales. Su trabajo se está volviendo de uso muy común y se conocen como slurrys.

La tabla 2 describe los principales tratamientos superficiales.

Tabla 2

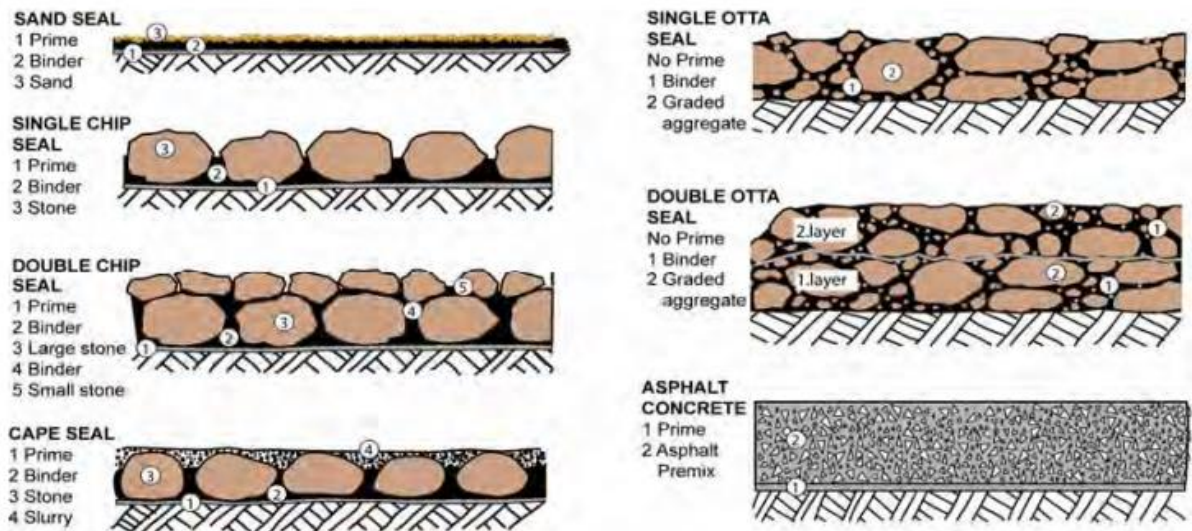
Tratamientos superficiales

Tipo	Clase
Riegos (Riegos sin gravilla)	Riegos de imprimación Riegos de curado Foag Seal (riegos de niebla)
Tratamientos superficiales (Riegos con gravilla)	Tratamientos superficiales simples Tratamientos superficiales dobles Otta Seal Sand Seal Cape Seal
Slurrys (Lechadas bituminosas)	Slurry Seal Micropavimento

Nota: Bañon & Bevia (2000,Cap 23, p. 2)

Figura 4

Tipos de tratamientos superficiales



Nota: Adaptado de Overby (2008).

2.2.5. Otta Seal

Según los describe Overby (1999) el Otta Seal es un ejemplo de tratamiento superficial de pavimento procedente en Noruega y se utiliza para



aumentar la resistencia y la durabilidad de las carreteras y caminos. Este método implica aplicar una mezcla de grava gruesa o agregados naturales con un ligante bituminoso, generalmente asfalto, sobre la superficie del pavimento actual. Otta Seal es particularmente adecuado para carreteras secundarias, caminos rurales y carreteras con poco tránsito.

Pacco (2023) indica que el procedimiento de aplicación de Otta Seal implica la aplicación de un asfalto de consistencia suave, previamente calentado, seguido por la incorporación de un agregado que se fusiona y compacta en la capa asfáltica mediante el uso de un rodillo o un vehículo especializado. La estructura bituminosa se compone de una o dos capas, con un espesor específico de 16 mm o 32 mm. En caso de emplear grava triturada o incrustada, la apariencia de la superficie experimentará modificaciones. (p. 32)

Existe varios tipos de Otta Seal, sin embargo, los más importantes son:

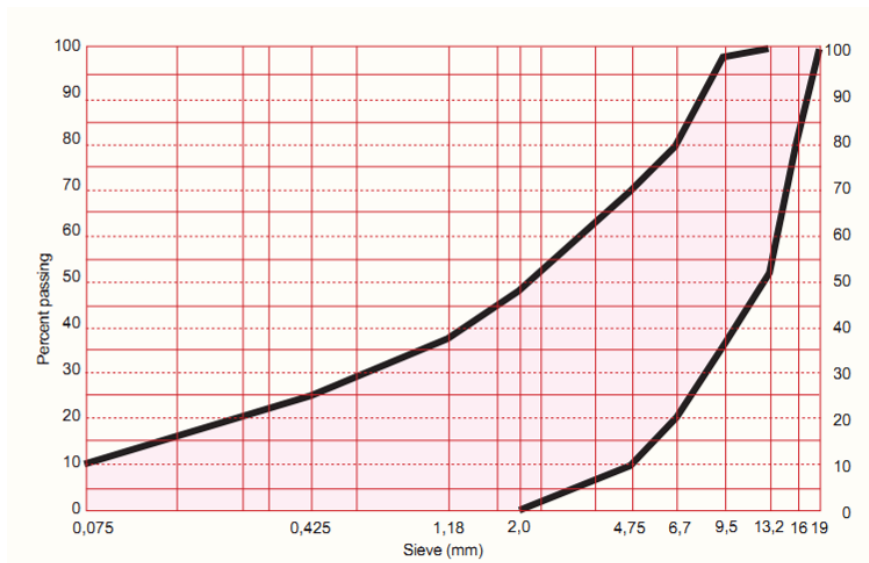
- Otta Seal Simple
- Otta Seal Doble

Ambos pueden tener una gradación de agregados abierto, medio y denso.

Overby (1999) indica que la configuración del Otta Seal posibilita una diversidad de opciones en cuanto a la graduación de los agregados, siempre y cuando la curva de gradación se encuentre dentro de los límites predefinidos en la asignación de la gradación general.

Figura 5

Curva de gradación del Otta Seal



Nota: Adaptado por Overby (1999, p. 18).

Las características principales del Otta Seal incluyen:

1. Grava gruesa: La mezcla de grava utilizada en el Otta Seal suele ser de tamaño relativamente grande, lo que proporciona una superficie áspera y resistente al desgaste. Esto es especialmente útil en áreas con tráfico moderado o ligero.

2. Ligante bituminoso: El asfalto o el ligante bituminoso se utilizan para unir la grava y proporcionar una capa protectora que mejora la durabilidad de la superficie.

3. Efecto sellador: El Otta Seal forma una superficie sellada que protege la carretera contra la infiltración de agua y reduce la erosión.

4. Costo efectivo: El Otta Seal es una opción relativamente económica en comparación con otros tratamientos superficiales más complejos, lo que lo hace adecuado para áreas con presupuestos limitados.

5. Mantenimiento sencillo: La reparación y el mantenimiento del Otta Seal suelen ser relativamente sencillos y no requieren equipos especializados.

El Otta Seal es particularmente útil en áreas con climas difíciles porque ayuda a prevenir la generación de baches y la erosión de la capa superficial y proporciona una capa protectora resistente a la humedad. Además, su superficie rugosa mejora la adherencia y la seguridad del tráfico, especialmente en condiciones húmedas o con nieve y hielo. (Ceylan, 2018)

2.2.5.1. Ventajas y desventajas del uso del Otta Seal

Ventajas

Pacco (2023) indica que la aplicación de Otta Seal conlleva diversos beneficios, destacándose su capacidad para implementar carreteras en ubicaciones remotas donde la instalación de maquinaria resultaría prohibitivamente costosa. Asimismo, se destaca la economía en los costos de mantenimiento asociados a Otta Seal. Además, esta solución demuestra ser adaptable y resistente, siendo compatible con diversos tipos de pavimentos y demandando una capacidad de rodadura mínima. (p.34)

Asimismo, Nahvi et al. (2019) menciona que el Otta Seal se puede construir utilizando agregados locales más baratos y equipos accesibles en comparación con otros tratamientos de superficie bituminosos para carreteras de bajo volumen que requieren materiales de alta calidad y experiencia especializada. Ramírez (2020) indica que el tratamiento superficial Otta Seal se caracteriza por su celeridad, en comparación con la implementación del Slurry Seal, destacando así su eficiencia en términos de tiempos de ejecución.



Desventajas

Pacco (2023) menciona que al emplear el enfoque de Otta Seal, se presentan ciertos inconvenientes que requieren consideración. Uno de estos desafíos se relaciona con la visibilidad de inconsistencias y un posible exceso de emulsión en áreas específicas de la carretera durante los primeros seis meses después de la aplicación del método. Asimismo, el color al inicio de la aplicación del Otta Seal es un color claro y va oscureciendo con el tiempo, demostrando que la emulsión aflora y envuelve el agregado. (Ceylan, 2018)

Esta situación podría generar la impresión de que Otta Seal posee una calidad inferior en comparación con procesos convencionales de tratamientos superficiales. Sin embargo, es esencial destacar que, tras un período de 8 a 12 semanas, la superficie se estabiliza y se vuelve más homogénea, alcanzando niveles de excelencia comparables a otros tratamientos superficiales de alta calidad. (Pacco, 2023. p. 34)

2.2.6. Contratos por niveles de servicio

Romero (2019) indica que, en Perú, el Estado ha firmado y sigue firmando varios contratos a través del MTC con entidades de sector privadas, en estricto cumplimiento de las disposiciones legales vigentes y en consonancia con el Plan Nacional de Infraestructura, se busca encomendar la confianza de gestionar íntegramente de específicas arterias viales a estas compañías. Este encargo abarcará desde la fase constructiva hasta la operativa y el mantenimiento, siguiendo las pautas establecidas para la contratación y con el objetivo de optimizar la eficiencia y calidad de dichas infraestructuras.

De acuerdo a esto contamos con estos contratos:



- Concesiones bajo las concesiones viales
- Los contratos por “niveles de servicio”

Los contratos más recientes definen criterios específicos, también conocidos como niveles de servicio, con el propósito de examinar y vigilar la ejecución del contratista o concesionario. Cada acuerdo de concesión o conservación ha buscado consistentemente delinear un conjunto normativo que clarifique las responsabilidades y prerrogativas de la empresa ejecutora durante la medición de los niveles de servicio. Esto disminuirá el sesgo de la subjetividad que pueda tener la supervisión. (Romero, 2019)

Se menciona esta modalidad de contratación debido a que la carretera PE-3SQ se ejecutó bajo esta modalidad. Además, según Cabello & Limonchi (2015) menciona que esta modalidad de contratos por niveles de servicio presenta ciertas características como la de trabajar sobre la vía existente sin realizar modificación en el diseño geométrico. Asimismo, señala que estos contratos tienen la característica de solicitar evaluaciones continuas por parte de la empresa ejecutora respecto al estado de la carretera, abarcando la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y la Deflectometría. (p.30-31)

Asimismo, señala que nuestro país la ausencia de diseños geométricos en carreteras de bajo volumen, pueden estar influenciadas por varias razones:

- Limitaciones de recursos
- Focos de prioridades, en algunos casos se prioriza la Serviciabilidad de la vía.
- Enfoque de mantenimiento y mejoramiento de carreteras.



- Características locales como topografías planas y condiciones geotécnicas favorables.

2.2.7. Mantenimiento y conservación de pavimentos asfálticos

Según PROAS (2011), El tráfico vehicular y la influencia de factores atmosféricos provocan la disminución de la capacidad estructural y afecta en la excelencia operativa de prestación en los pavimentos asfálticos. En caso de que las condiciones del pavimento no cumplan con los niveles de servicio y prestaciones previstos, las operaciones de mantenimiento y conservación tienen como objetivo reparar los defectos estructurales o funcionales menores o rehabilitar y mejorar su estado. Las operaciones de conservación se determinarán en función del estado del pavimento, los niveles de servicio y las prestaciones esperadas después de la rehabilitación porque el deterioro del pavimento puede ser funcional o estructural. (p. 126)

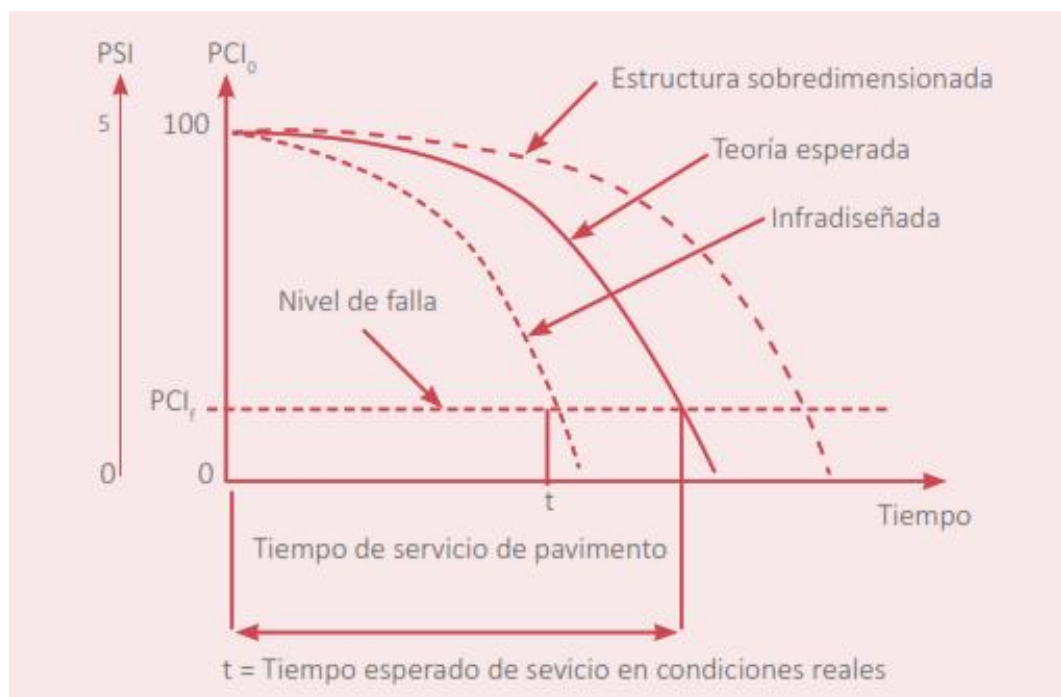
De igual forma Bañon & Bevía (2000) sostiene que las acciones destinadas a preservar el estado del pavimento se orientan hacia tres metas fundamentales en el ámbito del mantenimiento:

- El pavimento debe tener una resistencia al deslizamiento adecuada con el fin de garantizar la seguridad de los vehículos que transitan.
- Una regularidad en concordancia al diseño de la carretera y las velocidades típicas de desplazamiento, favoreciendo así un recorrido fluido y eficiente.
- La carretera debe tener una resistencia estructural suficiente para soportar el tráfico.

Así como lo describe Gutiérrez (2016) el enfoque para los trabajos de mantenimiento y rehabilitación se fundamenta en los indicadores de Índice de Condición de Pavimento (PCI) o Índice de Servicio del Pavimento (PSI). Esto se realiza mediante mediciones periódicas que posibilitan la elaboración de gráficas. (p. 44).

Figura 6

Situaciones de degradación del pavimento



Nota: Adaptado de Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte (p. 44), por Gutiérrez (2016).

La figura 7 muestra una estrategia de preservación con una de rehabilitación en un período de 50 años, adaptado por Kroger & Kroger (2020), en el que se evidencia que, con una estrategia de mantenimiento, se mantiene un adecuado nivel de calidad.

Figura 7

Fases en el desarrollo de vida de un pavimento



Nota: Adaptado de Tratamientos superficiales de alto desempeño (p. 183), por Kroger & Kroger (2020).

2.2.8. Evaluación de Pavimentos

Según Menéndez (2009) es esencial que la entidad responsable del diseño, construcción, conservación y operación de pavimentos posea un profundo entendimiento de las condiciones y evolución temporal de dichas estructuras. No obstante, tanto los usuarios de pavimentos urbanos como los de carreteras y aeropuertos demuestran un elevado interés en estos aspectos, dado que afectan la seguridad y economía de los sistemas de transporte.

Esta evaluación, aparte de suministrar datos sobre su condición en el momento de ejecutarse, esta evaluación no solo ofrece información valiosa para construir el conocimiento del organismo, sino que también contribuye de manera significativa al continuo perfeccionamiento en las áreas de desarrollo y edificación de pavimentos novedosos o la intervención en aquellos sometidos a procedimientos de restauración y mejoramiento estructural. Asimismo, aporta en la eficacia técnica-económica de estas intervenciones, fomentando mejoras continuas en el desarrollo y mantenimiento de las infraestructuras viales. (p. 72)



Según Kroger & Kroger (2020), las imperfecciones en los tratamientos superficiales surgen eventualmente como consecuencia de deficiencias en la calidad de la base subyacente, por lo cual es imperativo ejercer la máxima precaución en esta fase. (p.155).

Se definen 3 niveles de evaluación de pavimento, evaluaciones destinadas a fundamentar de manera precisa la toma de adecuadas decisiones.

- Evaluación superficial
- Evaluación funcional
- Evaluación estructural

2.2.8.1. Evaluación Superficial

Montejo (2002) la conceptualiza como una condición superficial de la vía, englobando tanto la superficie del pavimento como su entorno, este último abarcando diversos elementos relacionados con la superficie de rodadura, ya sea de manera directa o indirecta, aspectos fundamentales en este ámbito incluyen la conveniencia y la protección del usuario, destacándose como elementos esenciales en esta consideración. (p. 508)

Asimismo, Menéndez (2009) enfatiza la relevancia en la funcionalidad de los pavimentos de las cualidades superficiales, dada su repercusión directa, consolidándose como atributos distintivos que acaparan la atención de los usuarios, ya que estas características son cruciales para las condiciones de seguridad, confort y eficacia económica.

Como resultado de esta evaluación es importante adquirir una valiosa serie de información enfocados en la conservación:



- Detectar el origen de potenciales fallas y discernir sus orígenes.
- Definir la zonificación del área para la preservación.
- Evaluar la integridad estructural del pavimento como parte integral del proceso de conservación.
- Sugerir indicadores de evaluación que posibiliten la validación o ajuste de los criterios de diseño actualmente empleados. (Montejo, 2002, p. 508)

Según señala Menéndez (2009, p.73) al explorar las cualidades y atributos relevantes, es esencial incluir en el análisis las siguientes características y propiedades:

- Condición del pavimento
- Textura
- Permeabilidad
- Drenabilidad
- Propiedades de reflexión, color

De estas, propiedades Chillitupa & Palma (2021) señala que el método más idóneo para la determinación de la condición superficial del pavimento es PCI.

2.2.8.1.1. Equipos para medición de la condición superficial

Las modalidades primordiales para llevar a cabo esta evaluación son:

- Auscultación visual
- Equipo Laser Crack Measumenter System (LCMS)
- Equipo GERPHO (unidad filmadora)
- Drones equipados con cámara y sensores.

Figura 8

Auscultación visual de fallas



Nota: Adaptado de Corros et all. (2009)

Figura 9

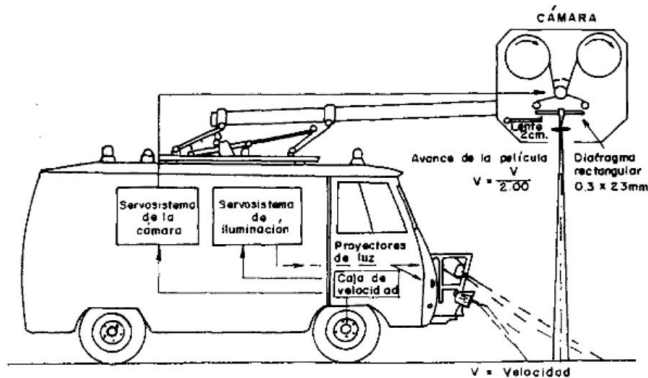
Equipo LCMS



Nota: Adaptado de web <https://www.pavemetrics.com/applications/road-inspection/lcms2-en/>

Figura 10

Equipo GERPHO (unidad filmadora)



Nota: Adaptado de Montejo (2007, p. 518)



2.2.8.2. Evaluación Funcional

El Ministerio de Transportes República de Colombia (2008) define la regularidad superficial como una métrica que evalúa el desempeño funcional de un pavimento, que comúnmente es lo que el usuario percibe durante el uso, esto basándose en mayor o menor comodidad en la circulación. (p. 73)

Por otro lado, Gutiérrez (2016) señala que esta evaluación proporciona información muy importante como el estado actual de la vía en estudio, como también las causas que puedan generar esos problemas como sus soluciones potenciales. (p. 101)

Corros et all. (2009) destacan que las cualidades funcionales de las superficies pavimentadas inciden directamente en los usuarios de la vía, dado que durante el tránsito, ejercen influencia sobre aspectos fundamentales como la seguridad, la comodidad y la eficiencia económica. Asimismo, la acción de rodadura conlleva una repercusión ambiental derivada del ruido resultante del contacto entre los neumáticos y el pavimento, fenómeno que incide tanto en los usuarios como en los residentes circundantes. En consecuencia, las destacadas propiedades del pavimento se orientan hacia la regulación de los aspectos que se detallan a continuación:

- Seguridad, se habla sobre la resistencia al deslizamiento
- En términos de comodidad se tendría la regularidad superficial
- En términos económicos se tendría el costo usuario
- Como también la parte del impacto ambiental

2.2.8.2.1. Equipos para medición del IRI

De acuerdo a AMIVTAC (2017) disponemos de una amplia gama de instrumentación especializada destinada a la evaluación de la regularidad de las superficies pavimentadas, divididos en 5 grupos (p. 5):

- a) **Perfiladores de inercia de alta velocidad:** Son equipos que trabajan con sensores laser, recogiendo información a altas velocidades.

Figura 11

Perfilógrafo Láser de alto rendimiento



Nota: Adaptado de Corros et all. (2009)

- b) **Perfilógrafos:** Es un sistema de vigas o un marco rígido con apoyos en cada extremo y una rueda central. Este equipo registra las deformaciones que percibe la rueda. Bañon & Bevía (2000) indican que en la actualidad, los perfilógrafos se consideran obsoletos debido a su rendimiento considerablemente bajo, siendo utilizados principalmente para la medición de deformaciones perpendiculares al eje de la vía.

Figura 12

Perfilógrafo



Nota: Adaptado de web <https://www.smoothroad.com/espanol/>

- c) **Perfiladores de peso ligero:** Este tipo de perfiladores se acoplan a un vehículo ligero.

Figura 13

Perfiladores de peso ligero



Nota: Adaptado de web <https://ceina.com.bo/sectores/equipos-ingenieria/auscultacion-carreteras/>

- d) **Dispositivos manuales:** Dispositivo empleado para verificar los resultados tomados por los perfiladores de alta velocidad. Este equipo tiene la precisión más alta con respecto al resto. Dentro de estos se encuentran equipos como:

- La mira y el nivel
- Rugosímetro merlín

Figura 14

Nivel y mira



Nota: Adaptado de web <https://www.geoequipos.cl/categoria-producto/topografia/miras/>

Figura 15

Rugosímetro Merlín

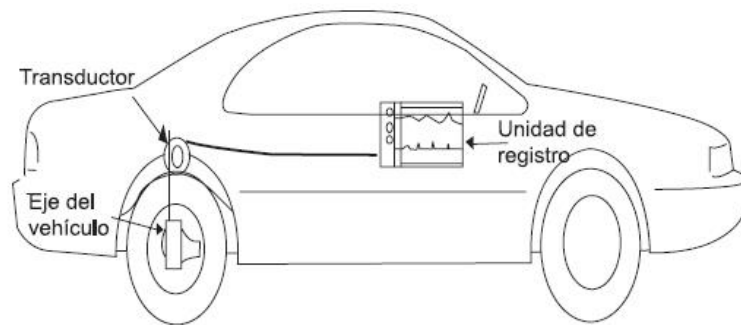


Nota: Adaptado de web <https://www.pinzuar.com.co/product/241>

- e) **Los equipos tipo respuesta:** Los equipos tipo respuesta evalúan las respuestas dinámicas de la suspensión mediante un sensor acoplado a un vehículo o remolque, esta información registrada por el sensor se visualiza y almacena en un monitor.

Figura 16

Equipo tipo respuesta para medición de IRI



Nota: Adaptado de Almanza (2014)

2.2.8.3. Evaluación Estructural

Según Rondón & Reyes (2015) Se trata de una fase de análisis cuyo propósito radica en establecer la aptitud estructural o de carga que tiene el pavimento en cualquier fase de su vida útil. Principalmente, la evaluación se desarrolla a fin de detectar y determinar la urgencia de implementar mantenimiento o rehabilitación en la carretera. (p. 301)

Asimismo, Menéndez (2009, p.73) se destaca que los procedimientos utilizados para la evaluación estructural pueden clasificarse en destructivos o no destructivos, según la magnitud de la alteración física generada en los materiales durante el desarrollo del proceso de evaluación. (p.83)

Según señala Rondón & Reyes (2015) la evaluación estructural ayuda a:

- Evaluar la resistencia estructural del pavimento.
- Estimar un indicador sobre la duración restante del pavimento.
- Adquirir datos esenciales para la planificación de intervenciones de mantenimiento y rehabilitación.

2.2.8.3.1. Evaluación Estructural Destructiva

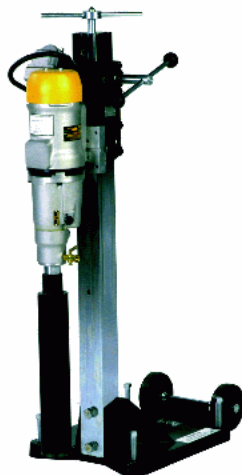
Esta expresión se emplea por la modificación en la configuración primigenia del pavimento, esto por ejecutar los ensayos sobre este. Estas técnicas exhiben variedad en relación a la información que se pretende extraer de la muestra haciendo uso de perforaciones o excavaciones en el pavimento (Menéndez, 2009, p. 83)

Las pruebas destructivas mas frecuentes realizadas son la siguientes:

- Realización de ensayos de placa mediante la aplicación de cargas hasta alcanzar la ruptura de la losa, con el propósito de investigar las condiciones asociadas a la carga última.
- Extracción de núcleos de la carpeta asfáltica para su análisis detallado
- Calicatas.
- El CBR en los estratos de respaldo del pavimento

Figura 17

Equipo para extracción de núcleos de capas asfálticas



Nota: Adaptado de Corros et all. (2009, p. 189)

Figura 18

Calicatas



Nota: Adaptado de Instituto Nacional de Vías Colombia (2008, p. 190)

2.2.8.3.2. Evaluación Estructural No Destructiva

Técnica aplicada para obtener la capacidad estructural mediante las deflexiones producidas por una carga aplicada en el pavimento in situ. Esta técnica se puede clasificar de acuerdo al tipo de cargas aplicadas en la superficie del pavimento. (Menéndez, 2009, p. 84)

Comúnmente, la capacidad de carga de un pavimento flexible se define o relaciona a través de mediciones de las deflexiones elásticas. Al aplicarse una carga, todas las capas experimentan deflexiones, dando lugar al desarrollo de esfuerzos y deformaciones en cada estrato de la estructura pavimentada. (Rondón & Reyes, 2015, p. 321)

Según Gutiérrez (2016) señala que una incorrecta determinación de los parámetros de diseño indica una estructura subdimensionada, lo que conlleva la necesidad de realizar labores de mantenimiento poco después de la entrada en servicio o, por el contrario, una sobreestimación de la estructura que resulta en

una obra antieconómica. No obstante, es imperativo tener en cuenta que las evaluaciones deflectométricas ofrecen un beneficio sustancial al proyectista, ya que posibilitan la segmentación de la vía mediante un deflectograma. Este enfoque permite la adopción de soluciones específicas para cada sector identificado. (p. 125)

2.2.8.3.3. Equipos para medición estructural

Para medir las deflexiones en pavimentos generalmente se emplean equipos basadas en metodologías no destructivas, se cuenta con:

- a) Métodos de aplicación bajo carga estática o aplicada a baja velocidad.

Corresponden a la primera generación de dispositivos para evaluación estructural, la deflexión en un punto bajo una carga estática o en movimiento lento se encuentra influenciada por los dispositivos empleados para la medición, siendo estos determinantes en el proceso. (Menéndez, 2009, p. 84)

- Viga Benkelman
- Deflectógrafo Lacroix

Figura 19

Viga Benkelman



Nota: Adaptado de Instituto Nacional de Vías Colombia (2008, p. 140)

Figura 20

Deflectógrafo Lacroix



Nota: Adaptado de Instituto Nacional de Vías Colombia (2008, p. 141)

Las deflexiones medidas generalmente son las máximas producidas bajo la carga o bien producidas al pasar el eje en movimiento lento.

Entre las ventajas primordiales, destaca su amplia aplicación a escala global, respaldada por una considerable experiencia y diversos métodos analíticos disponibles, así como su sencillez y costos reducidos en el caso de dispositivos convencionales. Contrariamente, presenta la desventaja de una ejecución lenta de las mediciones, una labor intensiva, la ausencia de la cuenca de deflexiones, la falta de realismo en el tiempo de aplicación de carga y la variabilidad de las mediciones dependiendo del método utilizado. (Menéndez, 2009, p. 84)

b) Métodos de medición bajo carga vibratoria dinámica

Pertencientes a la categoría de dispositivos de evaluación estructural de última generación, estos equipos generan de manera ininterrumpida y constante vibraciones en la superficie del pavimento mediante un innovador generador de fuerza dinámica. (Menéndez, 2009, p. 84)

Entre esos dispositivos se encuentran los

- Dynaflect y Road Rater (Figura 21)
- Curviámetro

Figura 21

Dynalect



Nota: Adaptado de Instituto Nacional de Vías Colombia (2008, p. 142)

Figura 22

Curviámetro



Nota: Adaptado de Rondón & Reyes (2015, p. 304)

c) Método de medición bajo impactos.

Con el propósito de perfeccionar la recreación de los impactos inducidos por las cargas sobre la superficie del pavimento, emergió una tercera generación de dispositivos destinados a medir deflexiones, denominados deflectómetros de impacto (FWD). Estos dispositivos posibilitan la aplicación, mediante un impacto, del efecto transitorio de una carga dinámica. El equipo se encuentra instalado en

un remolque que contiene un grupo de contrapesos con la capacidad de descender de manera libre sobre una superficie respaldada por el pavimento, cuya área representa de manera fiel la zona de interacción de los neumáticos de un vehículo. (Menéndez, 2009, p. 84)

Usualmente, se aconseja que la carga de 40 kN sea ejercida sobre el pavimento, con el fin de garantizar la exactitud de las estimaciones de los módulos de las capas del pavimento en la representación precisa de la respuesta del pavimento frente a las cargas generadas por el tráfico de vehículos pesados, se emprende este proceso. (Instituto Nacional de Vías Colombia, 2008, p. 143)

Figura 23

Deflectómetro de impacto FWD



Nota: Adaptado de Rondón & Reyes (2015, p. 303)

2.2.9. Índice de Condición del Pavimento (PCI)








En 1978, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. introdujo el Índice de Condición del Pavimento, conocido como PCI. Este índice presenta la ventaja de ser de fácil utilización, no requiere el uso de equipos especializados para la evaluación de carreteras, y su procedimiento es completamente visual. Asimismo, asegura una repetibilidad destacada y una confiabilidad estadística robusta en los resultados, suministrando datos precisos de manera consistente

sobre las deficiencias del pavimento, la intensidad de su gravedad y el alcance de la repercusión. En consecuencia, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) clasifica el estado de la superficie de rodadura mediante una escala que se extiende desde 0 (representando una condición altamente deficiente) hasta 100 (indicando un estado óptimo y perfecto). (Rondón & Reyes, 2015, p. 291)

Asimismo, Gutiérrez (2016) describe como un valor numérico que oscila desde 0, indicativo de pavimentos con deficiencias, hasta 100, representativo de pavimentos en estado óptimo. Este análisis se sustenta en los resultados derivados de una inspección visual que contempla el tipo de defecto presente, su nivel de gravedad y su extensión, proporcionando así una evaluación comprehensiva del estado de la superficie pavimentada.

Tabla 3

Rango de clasificación PCI

Rango PCI	Color	Clasificación	Tipo de intervención
100 – 86		Excelente	Mantenimiento Rutinario y Preventivo (Sello de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
85 – 71		Muy Bueno	
70 – 56		Bueno	Mantenimiento Correctivo (Recapeado)
55 – 41		Regular	
40 – 26		Malo	Rehabilitación Mayor (Reemplazo de carpeta asfáltica)
25 – 11		Muy Malo	Reconstrucción (Reemplazo de base granular y carpeta asfáltica)
10 – 0		Fallado	

Nota: Gutiérrez (2016, p. 99)

De acuerdo a Gutiérrez (2016) este método requiere un registro de fallas y el área afectada. Para mejorar los valores de medición, este índice está basado en 19 tipos de fallas diferentes. (p. 103)

2.2.9.1. Tipos de Fallas

La normativa ASTM D6433-03, clasifica como fallas estructurales aquellas que inciden en el funcionamiento, ya que generan deficiencias en la integridad del conjunto estructural provocan la afectación de la capacidad de respuesta frente a las cargas vehiculares. Por otro lado, en lo que respecta a las fallas funcionales, estas impactan directamente en la transitabilidad, la calidad del desplazamiento, la seguridad del usuario y los aspectos estéticos del pavimento.

Rondón & Reyes (2015) señala que se tiene que registrar en un inventario de daños superficiales, identificando el tipo, la extensión y la severidad de acuerdo a la metodología que establece el PCI.

Tabla 4

Tipos de fallas PCI

Falla N°	Falla	Und	Causa principal		
			Tráfico	Clima	Materiales
01	Piel de cocodrilo	M2	X		
02	Exudación	M2		X	X
03	Agrietamiento en bloque	M2		X	X
04	Abultamientos y hundimientos	M		X	X
05	Corrugación	M2		X	X
06	Depresión	M2		X	X
07	Grietan de borde	M		X	X
08	Grietas de reflexión de juntas	M		X	X
09	Desnivel carril / berma	M		X	X
10	Grietas longitudinales y transversales	M		X	X

Falla N°	Falla	Und	Causa principal		
			Tráfico	Clima	Materiales
11	Parqueo y acometidas de servicio público	M2	X		
12	Pulimento de agregados	M2	X		
13	Huecos	N°	X		
14	Cruce de vía férrea	M2			
15	Ahuellamiento	M2			
16	Desplazamiento	M2			
17	Grietas parabólicas	M2		X	X
18	Hinchamiento	M2			
19	Desprendimiento de agregados	M2			

Nota: Gutiérrez (2016, p. 111)

1. Piel de cocodrilo

De acuerdo a Vásquez (2002) se define como un grupo de grietas interconectadas. Este fenómeno se origina en la base estabilizada o en la carpeta asfáltica debido al nivel de esfuerzo y tensión incrementada por las cargas de una rueda.

Esta falla se limita únicamente en zonas expuestas a cargas concurrentes de tráfico como por ejemplo la huella de las llantas. Este fenómeno no podría manifestarse en la totalidad de la superficie. (p. 10)

Figura 24

Falla piel de cocodrilo



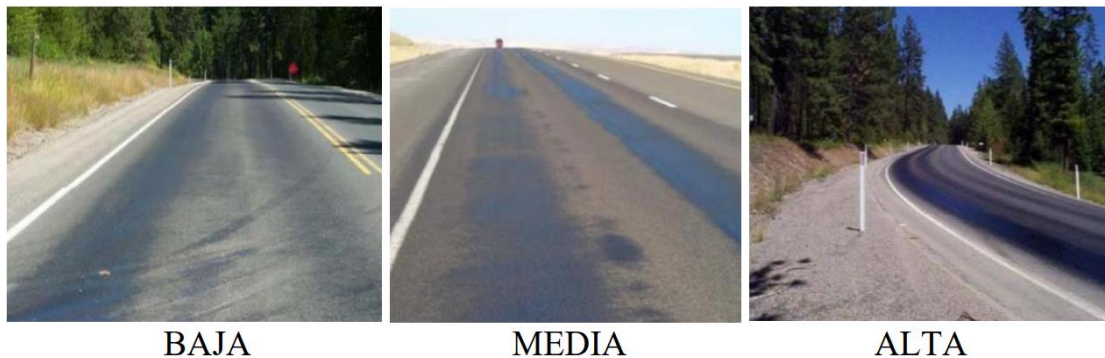
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

2. Exudación

La exudación se puede definir como bitumen que se adhiere a la carpeta de rodadura y genera la superficie cristalina, brillante, pegajosa y reflectante. Esta falla se surge a raíz de un exceso de asfalto en la composición. La aplicación desmesurada de sellante asfáltico o la ausencia de espacios de aire en el pavimento son otras causas. (Vásquez, 2002) (p. 12)

Figura 25

Falla exudación



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

3. Agrietamiento en Bloque

Estas fallas se caracterizan por la presencia de fisuras interconectadas que fragmentan la superficie pavimentada en bloques prácticamente rectangulares, con dimensiones que varían desde 0,3 m por 0,3 m hasta 3,0 m por 3,0 m. La génesis de estas grietas se atribuye principalmente a la contracción experimentada por el asfalto a lo largo del ciclo térmico. Estas grietas no son el resultado de la parte estructural del pavimento, sino del fuerte endurecimiento del asfalto.

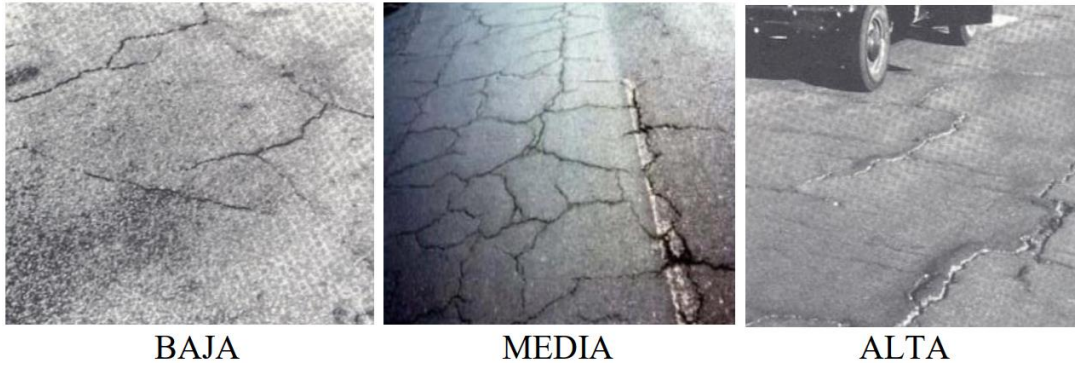
Al examinar la disparidad entre la fractura en bloque y la apariencia similar a la piel de cocodrilo, esta última se manifiesta mediante fragmentos diminutos distribuidos en múltiples direcciones y con ángulos agudos. Este fenómeno se

origina exclusivamente en zonas sometidas a cargas vehiculares. (Vásquez, 2002)

(p. 14)

Figura 26

Falla agrietamiento en bloque



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

4. Abultamientos y Hundimientos

Se refieren a las elevaciones leves superiores de un pavimento. La diferencia con un desplazamiento es que estos son producto de pavimentos inestables, mientras que los abultamientos se pueden presentar por ciertos factores como:

- Levantamiento o arqueado presentes en el pavimento rígido que tenga una capa asfáltica.
- Expansión debido a lentes de agua que se congelan produciendo hielo.

Las distorsiones presentadas en grandes áreas y de manera continua se denominan ondulaciones. (Vásquez, 2002) (p. 16)

Figura 27

Falla abultamientos y hundimientos



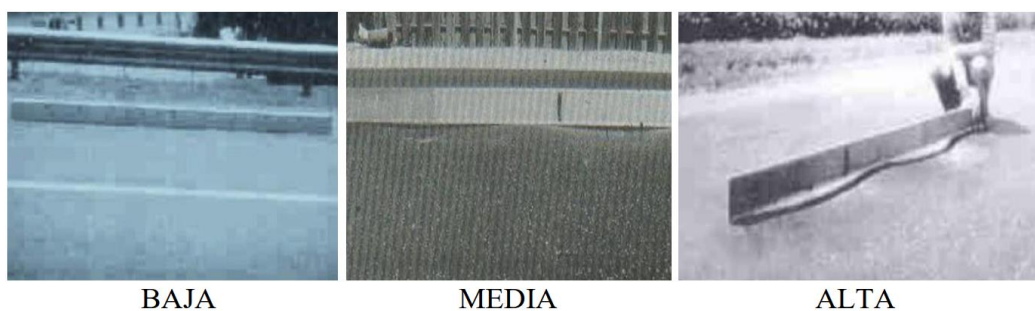
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

5. Corrugaciones

Esta falla es un conjunto de altibajos (cimas y depresiones) cercanos presentes de manera muy regular, por lo general a menos de 3 m. Este tipo de falla normalmente se produce por una mezcla de la influencia de cargas vehiculares y la inestabilidad de la base o carpeta. (Vásquez, 2002) (p. 18)

Figura 28

Falla corrugaciones



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

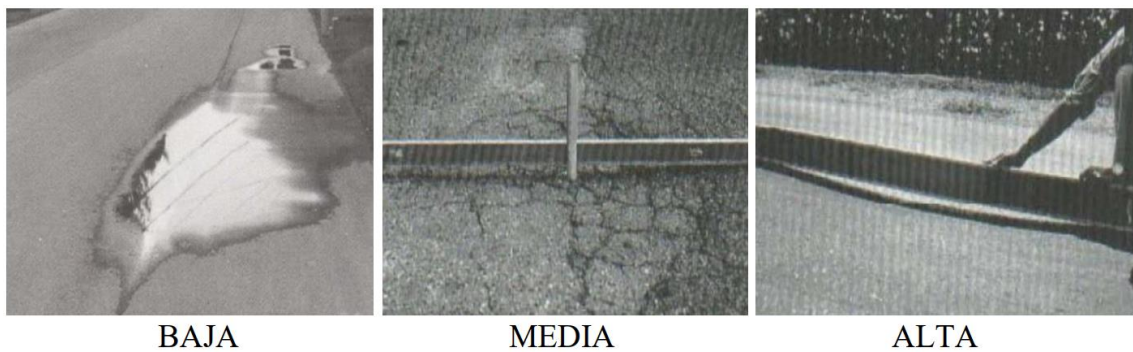
6. Depresión

Hacen alusión a áreas en la capa superficial del pavimento que exhiben una leve disminución en su altura con respecto al entorno circundante. En

determinadas situaciones, estas irregularidades solo son discernibles posterior a episodios de lluvia formándose pequeños charcos de agua. En el caso de los pavimentos secos estas depresiones pueden detectarse por las manchadas que haya dejado el agua empozada. (Vásquez, 2002) (p. 20)

Figura 29

Falla depresión



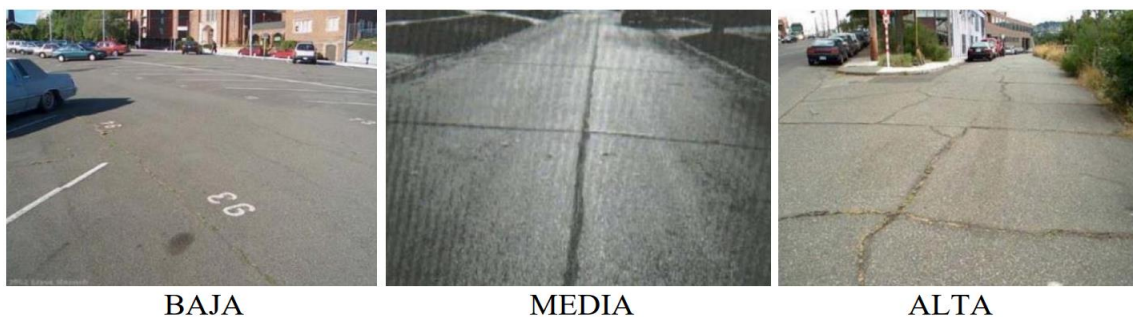
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

7. Grieta de Borde

Grietas de borde, paralelas al eje del pavimento y ubicadas a 0.30 m a 0.60 m del borde, surgen por debilitamiento de la base/subrasante cercana, influido por condiciones climáticas y agravado por cargas vehiculares. (Vásquez, 2002) (p. 22)

Figura 30

Fallas grieta en borde



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

8. Grieta de Reflexión de Junta

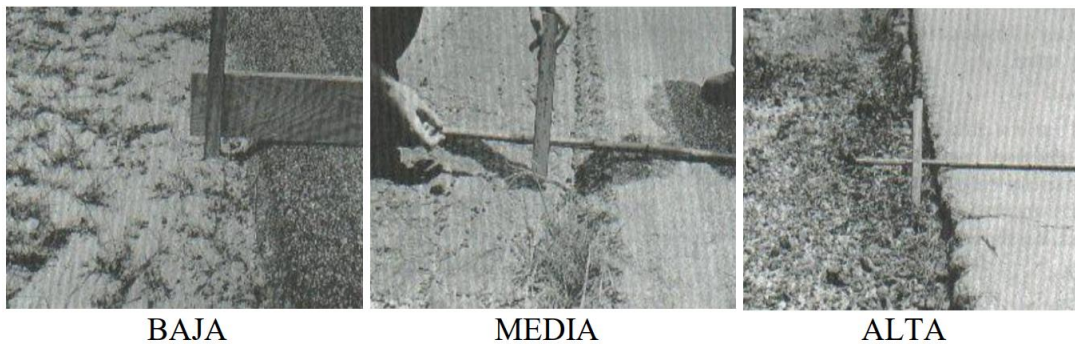
Se presenta en pavimentos asfálticos sobre un pavimento rígido. Estas grietas surgen principalmente debida junta del concreto y asfalto producto de la variación de temperaturas o la presencia de agua por debajo de en la carpeta asfáltica se desplaza. (p. 24)

9. Desnivel Carril / Berma

Como el nombre lo indica la falla se manifiesta como un desnivel de altura en relación al borde del carril y la berma, resultado de agentes como erosión o de mala aplicación de las capas de asfalto, provocando desequilibrios en la infraestructura vial. (p. 26)

Figura 31

Falla desnivel carril / berma



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

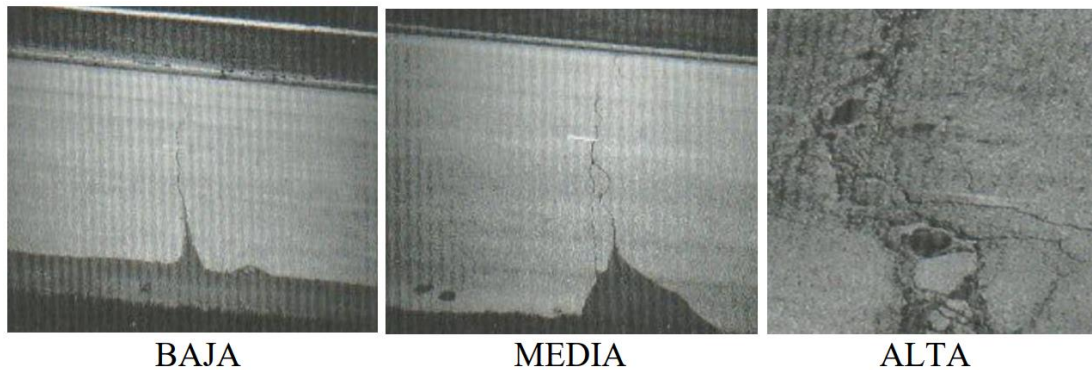
10. Grietas longitudinales y transversales

Estas imperfecciones se manifiestan como fisuras que discurren en sentido longitudinal, ya sea a lo largo del eje de un pavimento o en paralelo a la dirección de su construcción. Las raíces de estas interrupciones pueden derivarse de diversas causas.:

- Una pobre construcción en una junta con la vía férrea
- Puede atribuirse a oscilaciones térmicas, ya sea como resultado de la rigidez del asfalto o debido a las fluctuaciones diurnas de temperatura a las que se encuentra expuesto el pavimento.
- Agrietamiento en la base del pavimento incluida la carpeta de rodadura, mas no las juntas de las losas de concreto. (p. 28)

Figura 32

Falla grietas longitudinales y transversales



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

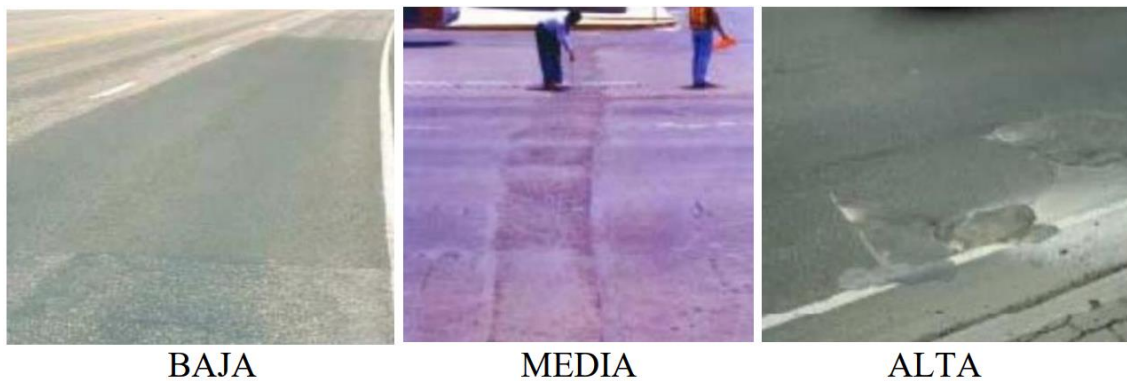
11. Parcheo y Acometidas de Servicios Públicos

Es un sector y/o área de la carpeta que fue retirada y sustituida con material específico. Sin importar cuan bien se comporte un parche, esta se considera como un defecto por tener distinto comportamiento al 'parea original (Vásquez, 2002, p. 30).

Asimismo, Rondón & Reyes (2015) Indican que la presencia de un parche, término comúnmente utilizado para describir esta medida correctiva. La acción constructiva de aplicar el parche se denomina "parcheo" cuando implica reemplazar una parte o toda la capa de rodadura, y "bacheo" cuando también involucra la intervención en parte de la carpeta de rodadura. (p. 279)

Figura 33

Falla parcheo



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

12. Agregados Pulidos

Esta falla se presenta al recurrentemente soportar cargas vehiculares. Cuando los agregados de la carpeta asfáltica llegan a ser lisas al tacto no se tiene buena adherencia entre la carpeta y las llantas del vehículo. Esta reducción de adherencia entre ambas superficies no contribuye demasiado a la reducción de velocidad del vehículo. (Vásquez, 2002, p. 32)

Figura 34

Falla agregados pulidos



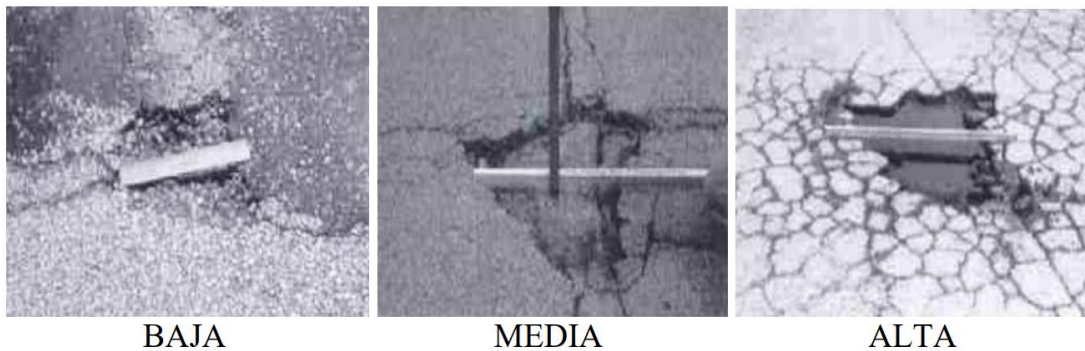
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

13. Baches

Esta falla presenta ligeros hundimientos en la carpeta asfáltica, presentando diámetros no mayores a 0.90 m y adoptando una forma cóncava. Estos baches surgen como resultado del desprendimiento de fragmentos minúsculos de la superficie del pavimento. ((Vásquez, 2002, p. 33)

Figura 35

Falla baches



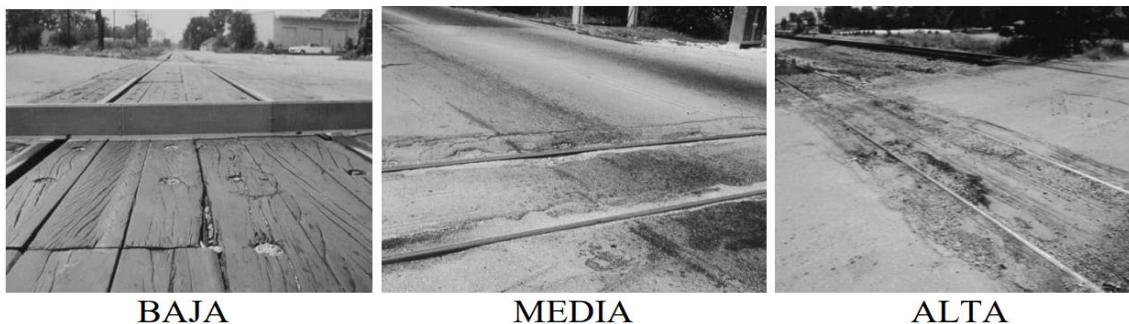
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

14. Cruce de Vía Férrea

Esta falla es considerar al abultamiento con presencia de hundimientos alrededor o entrierieles. (Vásquez, 2002, p. 35)

Figura 36

Falla cruce de vía férrea



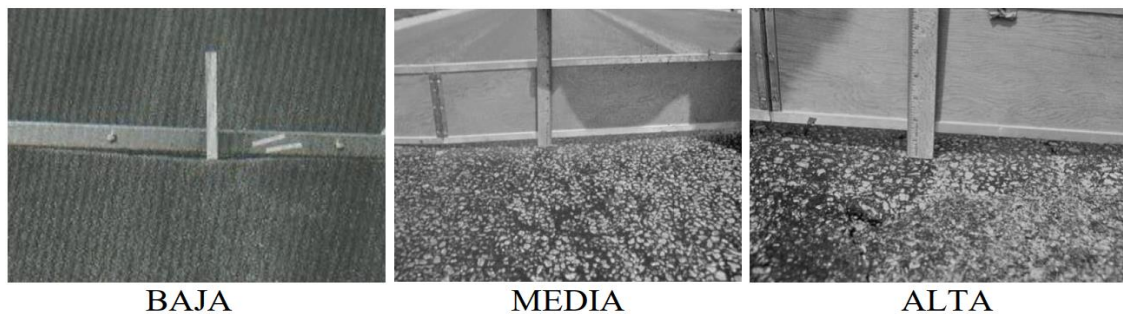
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

15. Ahuellamiento

Según (Vásquez, 2002) es un hundimiento por las ruedas en la carpeta de rodadura, pudiendo presentarse elevaciones en el pavimento al borde del ahuellamiento. Se produce en cualquier capa del pavimento. (p. 37)

Figura 37

Falla ahuellamiento



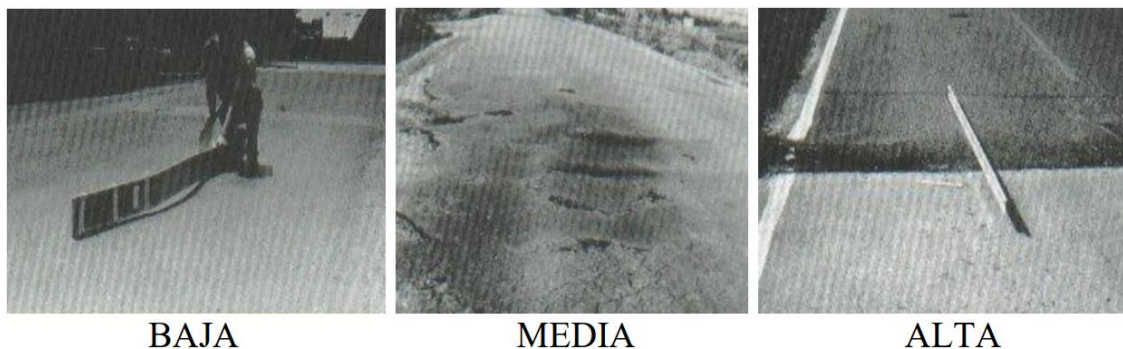
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

16. Desplazamiento

Los desplazamientos se presentan cuando el tránsito empuja en contra del pavimento generando una traslación longitudinal persistente en una región específica de la superficie del pavimento. (Vásquez, 2002) (p. 39)

Figura 38

Falla desplazamiento



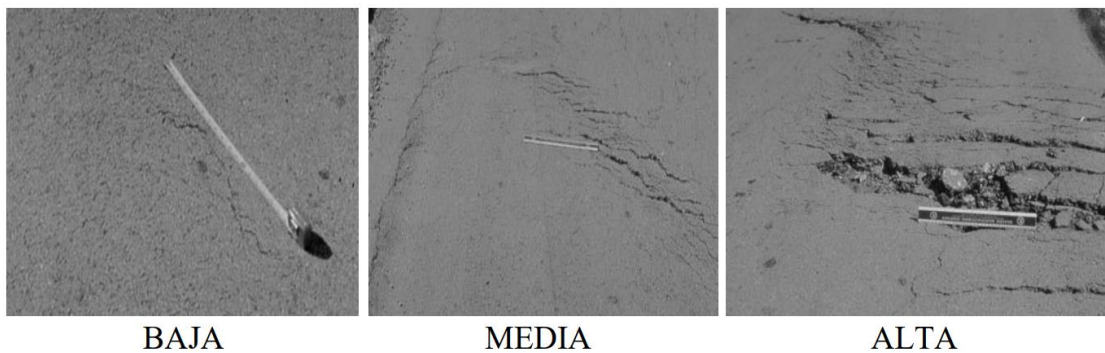
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

17. Grietas Parabólicas

De acuerdo a Vásquez (2002) Falla del pavimento (grietas en el pavimento con forma de media luna), a raíz del desplazamiento o distorsión en su superficie, conjuntamente con una composición asfáltica caracterizada por su escasa resistencia. (p. 41)

Figura 39

Falla grietas parabólicas



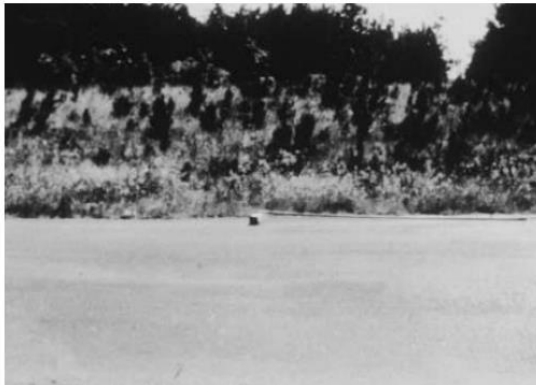
Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

18. Hinchamiento

Como o indica (Vásquez, 2002) Deformación ascendente sobre la capa del pavimento (con una onda de longitud superior a 3.00 metros) producido generalmente por congelamiento de la subrasante o suelos con potencial expansivo. (p. 43)

Figura 40

Falla hinchamiento



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

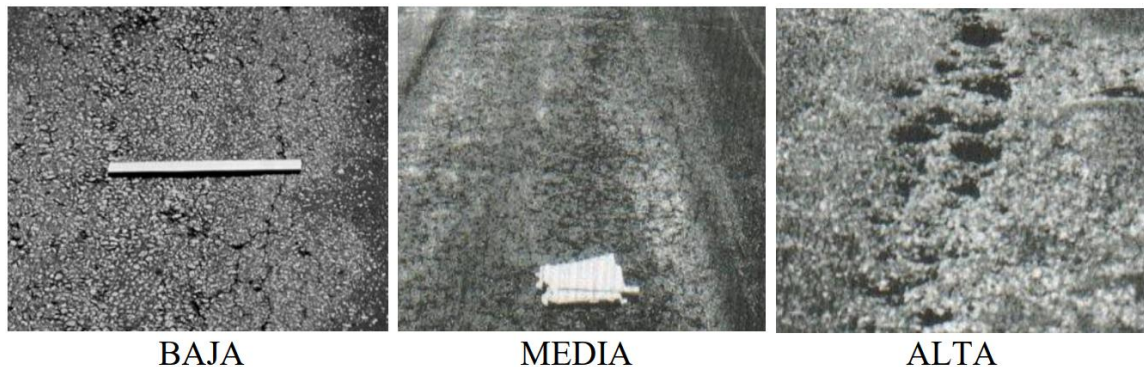
19. Meteorización o Desprendimiento de Agregados

Según Vásquez (2002) es la erosión de la carpeta de rodadura ocasionada por la disolución del aglutinante, así como el desprendimiento de partículas sueltas., las causas pueden ser:

- El ligante asfáltico experimentó una significativa ganancia en su resistencia.
- La composición exhibe deficiencias sustanciales en términos de calidad.
- Tránsito de vehículos oruga
- Derramamiento de aceite

Figura 41

Falla meteorización o desprendimiento de agregados



Nota: Adaptado de Vilca y Cuba (2020)

2.2.10. Índice de Regularidad Internacional (IRI)

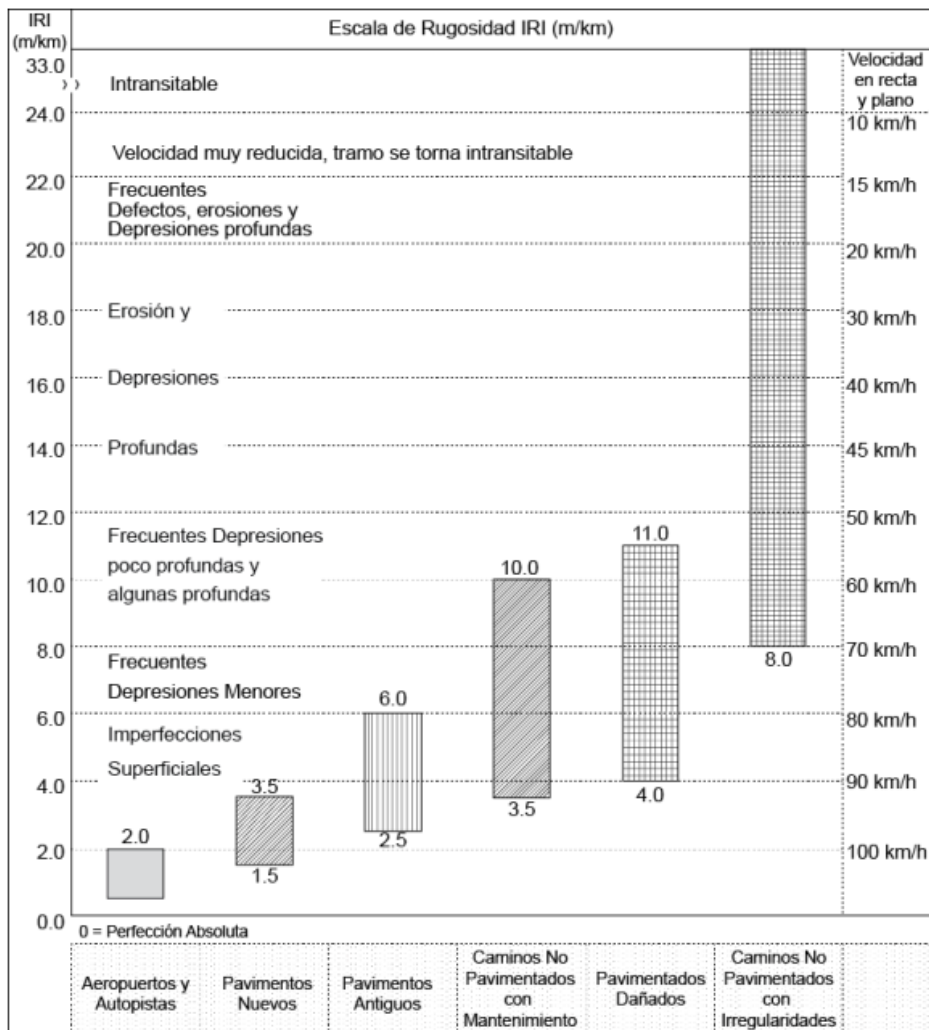
Según Ministerio de Transportes República de Colombia (2008) la regularidad superficial, también denominada rugosidad, se define como la discrepancia existente entre la superficie de cualquier cada de la carretera en relación a una superficie plana con dimensiones características en la dirección longitudinal. (p. 75)

Rondón & Reyes (2015) indican que las imperfecciones superficiales en un pavimento generan aceleraciones verticales en los vehículos en movimiento, dando lugar a una circulación incómoda, insegura y económicamente ineficiente. Asimismo, señalan que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) fue adoptado como el estándar de medición para la regularidad superficial de una vía por el Banco Mundial en el año 1986. (p. 292)

En la figura 42 se aprecia los niveles de rugosidad IRI en función a sus características.

Figura 42

Escala de clasificación del IRI adaptado del banco Mundial



Nota: Adaptado por MTC (2014, p. 158).

Según Almanza (2014) se destaca la presencia de diversos elementos que inciden en la uniformidad superficial. (p. 45):

- Periodo de servicio de la infraestructura pavimentada
- Intensidad de circulación vehicular
- Grosor de la estructura del pavimento
- Condiciones ambientales particulares
- Magnitud y gravedad de fallas

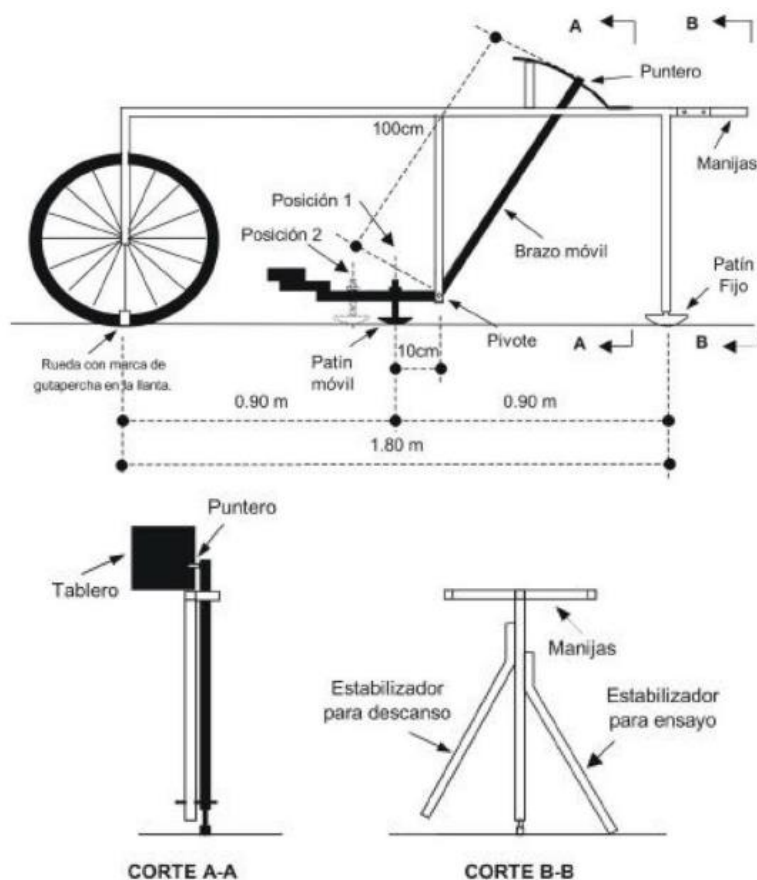
2.2.10.1. Rugosímetro Merlin

Según Cundill (1991) gracias a la variante del instrumento de medición de perfil estático se presenta el rugosímetro de Merlin, cuya denominación se origina a partir de las siglas que representan la expresión "Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation".

Este equipo es de tipo manual que se desplaza por la carretera midiendo las variaciones verticales de la superficie. La toma de lecturas es sencilla como también lo es su análisis, se puede considerar al rugosímetro Merlin como un equipo que no requiere de cálculos complejos. (p. 8).

Figura 43

Rugosímetro Merlin

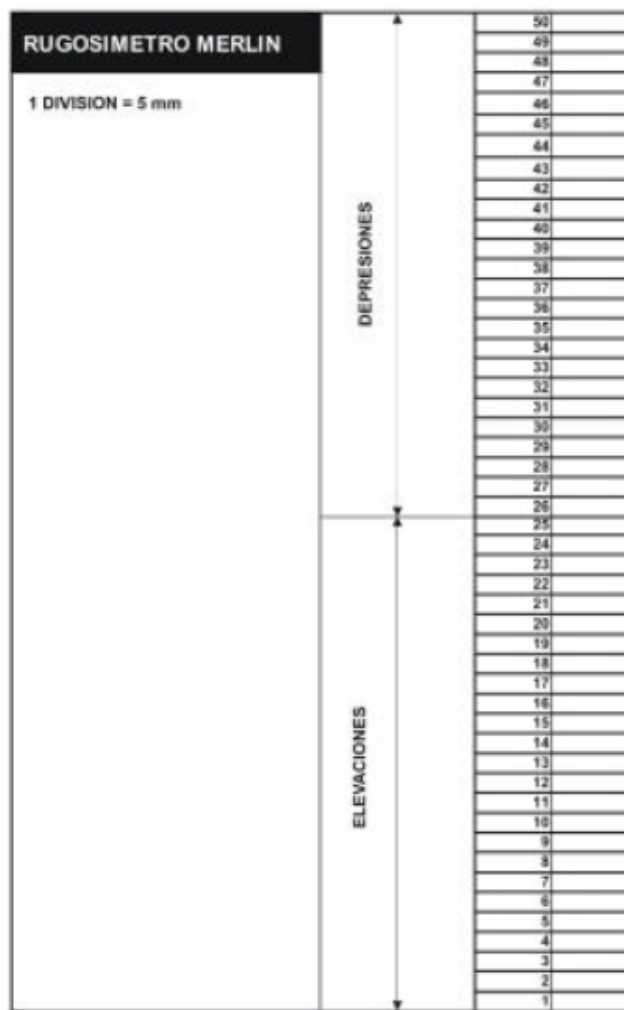


Nota: Adaptado de The MERLIN low-cost road roughness measuring machine (p. 3), por Cundill (1991)

Con el fin de capturar los desplazamientos del indicador, el rugosímetro Merlin emplea una escala gráfica que consta de 50 divisiones, cada una con un espesor de 5 mm. Esta escala se encuentra adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero, como ilustra la figura 44 (Del Águila, 1999, p. 6)

Figura 44

Escala de dispersión de desviaciones



Nota: Adaptado de Metodología para la determinación de rugosidad de pavimentos (p. 3), por Del Águila (1999)

2.2.10.2. Evaluación de la Serviciabilidad (PSI)

En el diseño de pavimentos, se emplea el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, acrónimo en inglés) como herramienta para considerar las

condiciones iniciales y finales de la capacidad funcional del pavimento. Aunque esta característica tiene componente subjetivo, su evaluación se realiza de manera cuantitativa mediante el uso de un rango de valores en una escala del 0 al 5. En este contexto, un índice de 0 denota una vía completamente intransitable, mientras que un índice de 5 refleja una superficie en estado óptimo, sin defectos apreciables. (Rondón & Reyes, 2015, p. 297).

Para la obtención del PSI se hace uso de los valores obtenidos del IRI. Este indicador refleja la percepción del usuario en cuanto al nivel de seguridad y conveniencia experimentadas durante su desplazamiento, constituyendo simultáneamente un factor determinante en términos de seguridad vial. La ecuación utilizada para dicho cálculo es la siguiente:

$$PSI = 5 * e^{(-0.18*IRI)}$$

Dónde: IRI en m/km.

La evaluación de la transitabilidad, expresada como la Serviciabilidad de la vía desde la perspectiva del usuario, se determina a través del Índice de Serviciabilidad Presente. Las categorías que delinear la evaluación de la funcionalidad del servicio se exhiben de manera detallada en la tabla 5.

Tabla 5

Calificación según PSI

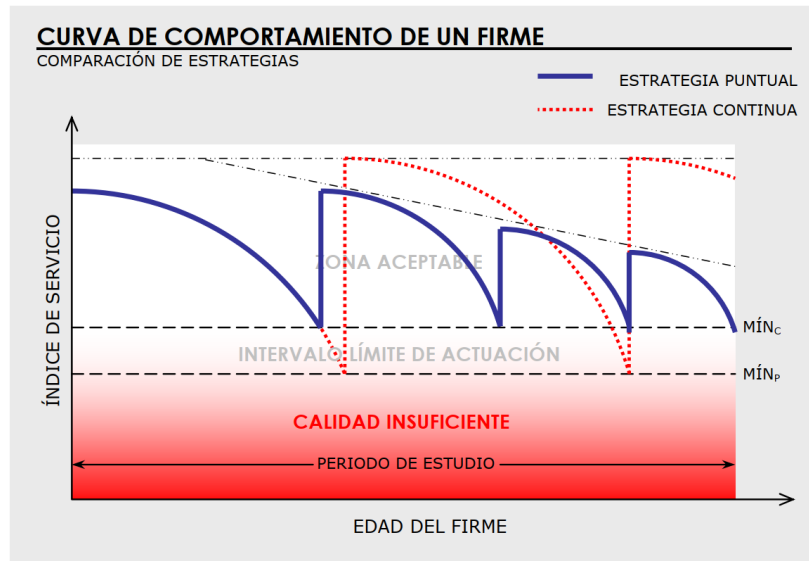
Valor	Clasificación PSI
4-5	Muy Buena
3-4	Buena
2-3	Regular
1-2	Mala
0 -1	Muy Mala

Nota: Rondón & Reyes (2015, p. 298)

Bañon & Bevía (2000) señalan que al desarrollar la variación del índice de servicio con el tiempo se va definiendo la dinámica de comportamiento una vía, como se muestra en la figura 45.

Figura 45

Curva de comportamiento de pavimento



Nota: Adaptado de Bañon & Bevía (2000)

2.2.11. Deflectometría de pavimento

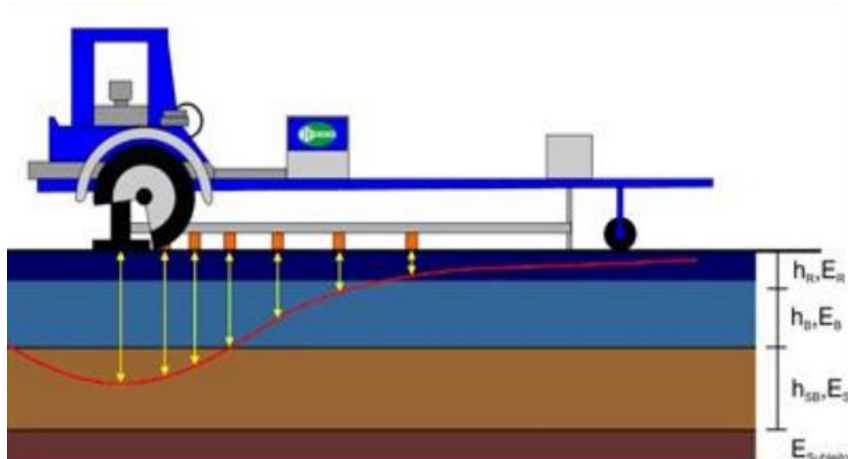
Según Montejo (2002) la define como una deformación elástica producida en el pavimento gracias a la acción de una carga y/o esfuerzo que soporta. Con esta deformación se puede evaluar algún debilitamiento gradual del pavimento con respecto a las cargas de tránsito a las que está expuesta. (p. 519)

Higuera (2007) indica que la deflexión de un pavimento se caracteriza como el parámetro que refleja la respuesta estructural frente a una carga vertical externa; asimismo, se define como la variación vertical del conjunto estructural pavimentado en reacción a una carga, comúnmente generada por el tráfico vehicular. Al ejercer una carga sobre la superficie, no solo se produce el

desplazamiento máximo en el punto de aplicación, sino que también se origina una desviación en una región circundante al eje de la carga, conocida como cuenco de flexión. (p. 186)

Figura 46

Deflexiones en el pavimento



Nota: Adaptado de Durant (2023)

Es evidente que, si esta capacidad supera el umbral crítico determinado por las deformaciones recuperables mediante elasticidad, se manifiestan deformaciones permanentes. La acumulación de estas alteraciones, a su vez, modifica de manera sustancial los perfiles de la calzada, desencadenando su eventual fallo. (Higuera, 2007, p. 186)

2.2.11.1. Viga Benkelman

De acuerdo a Menéndez (2009) la Viga Benkelman se considera como uno de los primeros dispositivos para medir la deflexión, teniendo inicios en los años 1952 donde su aplicación fue muy generalizado. (p. 84). Asimismo, Corros (2009), menciona que la Viga Benkelman es probablemente el más popular y económico equipo de medición de deflexiones superficiales del pavimento y el mismo permite medir el rebote de la deflexión estática de un pavimento asfáltico

bajo la aplicación de una carga. Opera basándose en el principio de palanca: los dos segmentos de la viga ejecutan rotaciones alrededor de un eje horizontal, de forma que cualquier desplazamiento en el extremo de la viga en contacto con la superficie, induce un desplazamiento proporcional en el extremo opuesto, el cual queda registrado mediante un dial extensómetro.

Este equipo mide la deflexión máxima en respuesta a una carga estática o una carga que tenga una aplicación muy lenta. El bajo costo que representa este equipo, como su facilidad de uso y la gran información con la que se respalda este equipo para su uso actualmente. (Rondón & Reyes, 2015, p. 305)

Figura 47

Medición de deflexión usando Viga Benkelman



Nota: Adaptado de Gutiérrez (2016, p. 128)

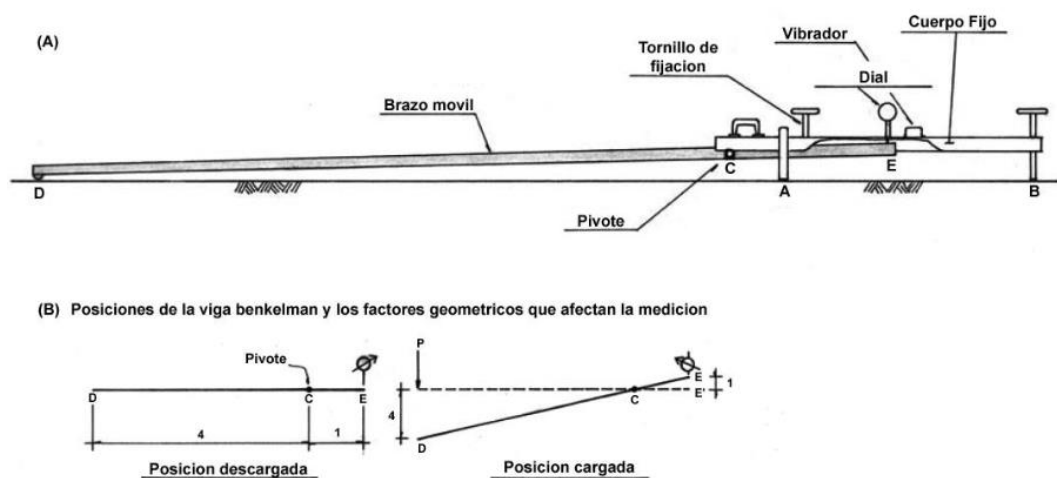
Por otro lado, Bañon & Bevíá (2000) afirman que la viga Benkelman se compone únicamente de un brazo de palanca, en donde su extremo final cuenta con un comparador ahí se realiza la medida de la deflexión producida en el extremo inicial. (cap. 26 p. 17)

Existen varios tipos de Vigas Benkelman. (Corros, 2009, p. 177). Los principales tipos de viga son:

- Viga Simple
- Viga Múltiple

Figura 48

Viga Benkelman



Nota: Adaptado de Manual de Ensayo de Materiales. Subsección MTC E 1002 (p. 846), por MTC (2016)

2.2.11.2. Uso de la viga Benkelman en el Perú

Gutiérrez (2016) señala que los ensayos no destructivos que emplean la Viga Benkelman se utilizan para evaluar las deformaciones en las carreteras en respuesta a las cargas generadas por un vehículo cargado. En 1983, en las primeras fases de rehabilitación de vías, la viga se consideraba desactualizado para la lecturas de deflexiones. Esto se debía a que los equipos más avanzados, como el Falling Weight Deflectometer (FWD), exigían un costo que superaba los 100,000 dólares, una inversión inalcanzable para el MTC en ese periodo. (p. 127)



2.3. MARCO CONCEPTUAL

Niveles de Servicio. Conjunto de parámetros que evalúan y dimensionan la idoneidad operativa de una vía, comúnmente empleados como umbrales admisibles que delimitan los límites a los cuales pueden llegar su condición funcional, superficial, estructural y de seguridad. (MTC 2013)

Corredor Vial. Conjunto de dos o más rutas continuas conformadas por un fin en específico. (MTC 2013)

Mantenimientos Rutinario. Operaciones realizadas de manera constante en las vías con el fin de conservar ininterrumpidamente los estándares de servicio. (MTC, 2013)

Regularidad Superficial. Se alude a la variabilidad o irregularidad que se evidencia en la superficie del recubrimiento vial en comparación con una superficie completamente plana. Esta variación tiene un impacto directo en la percepción de comodidad por parte del usuario al transitar por la vía. (Kraemer, 2004)

Serviciabilidad. La habilidad del pavimento para satisfacer, conforme a su diseño específico, diversas cargas que actúan sobre él, ya sean de naturaleza estática o dinámica. (Ramos, 2017)

Rugosidad. Parámetro distintivo que refleja la condición operativa de la superficie de rodadura de un pavimento, siendo indicativo fundamental de su funcionalidad. (Gutierrez, 2016)

Tratamiento superficial. Es la aplicación de una o más capas de riego asfáltico, pudiendo incluir aditivos y agregados con características determinadas por las especificaciones técnicas. (MTC, 2013). La finalidad que tiene es la de dotar características al pavimento (impermeabilidad, textura, etc.). (Kraemer, 2004)



Transitabilidad. Definido como la disponibilidad para el usuario sin cierres por emergencias. (Huaman, 2018)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La modalidad investigativa se configura como aplicada o tecnológica en la presente indagación porque pretende solucionar un problema de la realidad.

3.1.2. Nivel investigativo

El carácter descriptivo de la investigación se manifiesta al delimitarse minuciosamente el problema en consonancia con la planificación metodológica, empleando el proceso de recopilación y análisis de datos e información provenientes de las unidades de muestreo.

3.1.3. Diseño de investigación

El delineamiento investigativo adoptado es de naturaleza no experimental, ya que las variables en consideración son examinadas in situ, siendo objeto de observación en su entorno natural, con posterioridad a lo cual se procede a realizar un análisis exhaustivo de los mismos.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población de estudio para la presente investigación es la carretera del “Servicio de gestión, mejoramiento y conservación vial por niveles de servicio del corredor vial pro región Puno- paquete 03: PE-34R, PE-3SQ Y PE-3SR”, siendo

el tramo de estudio la Ruta PE-3SQ el tramo 5, la carretera Lampa - Palca del km 64+280 al km 96+311 que comprende una longitud de 32.70 Km, esta carretera cuenta con una solución básica comprendida de base estabilizada suelo-cemento y de carpeta de rodadura Otta Seal, el cual es un tratamiento superficial de pavimento.

El proyecto "Servicio de gestión, mejoramiento y conservación vial por niveles de servicio del corredor vial pro región Puno- paquete 03: PE-34R, PE-3SQ Y PE-3SR", fue aprobado por Resolución RD-000530-2018-MTC/20, el cual contempla la ejecución del servicio en 3 rutas, denominadas Ruta 09 (PE-34R), Ruta 15 (PE-3SQ) y Ruta 16 (PE-3SR). Para fines de interés del proyecto de investigación se pretende realizar la evaluación del corredor vial Ruta 15 (PE-3SQ), el cual se divide en 7 tramos, como se demuestra en la Tabla 6, extraído de su Plan de Gestión Vial (PGV) del proyecto en mención.

Tabla 6

Tramo de ruta PE-3SQ

N°	Tramo	Ruta	Tramo				Longitud (Km)
			Inicio	Km	Fin	Km	
1	Tramo 1	PE-3SQ	Emp. PE-3SG	0+000	Vilcamarca	30+100	30.10
2	Tramo 2	PE-3SQ	Vilcamarca	30+100	Vilavila	53+300	23.20
3	Tramo 3	PE-3SQ	Vilavila	53+300	Km 58+000	58+000	4.70
4	Tramo 4	PE-3SQ	Km 58+000	58+000	Palca	64+280	6.28
5	Tramo 5	PE-3SQ	Palca	64+280	Lampa	96+311	32.36
6	Tramo 6	PE-3SQ	Lampa	96+311	Juliaca	127+750	31.47
7	Tramo 7	PE-3SQ	Juliaca	127+750	Juliaca	128+876	1.13
						TOTAL	129.24

Nota: Plan de Conservación Vial CVSP (2019)



3.2.2. Muestra

De los 32.70 km del tramo Lampa - Palca se tomará como muestra 4.00 km del km 80+000 al km 84+000 ya que este sector es una muestra representativa de un mejoramiento con solución básica Otta Seal en un corredor vial.

El tipo de muestreo es discrecional perteneciendo al muestreo no probabilístico, ya que está determinado directamente por el criterio del investigador porque se infiere que estos 4 km representan una muestra representativa del tramo a evaluar.

3.2.3. Criterios para la elección de la muestra

Representatividad. Se considera representativa de la población muestral, ya que la carretera PE-3SQ, al carecer de conexión con otras vías, asegura un flujo de tráfico uniforme. Por consiguiente, esta característica permite extender la validez de la muestra a cualquier tramo de la vía, concediendo versatilidad en la selección del emplazamiento, se ofrece la posibilidad de elegir con flexibilidad la ubicación deseada.

Relevancia. la muestra seleccionada contiene dos curvas horizontales (Km 80+050 al km 80+350), asimismo presenta pendientes de hasta -4.25% en el km 82+060, etc. entre otras características detalladas en el Anexo G. Por ende, se puede afirmar que la muestra captura las condiciones representativas de la vía tras haber completado un recorrido completo del tramo Lampa - Palca. Además, según Sampieri (2014) este tipo de muestreo tiene un fin exploratorio, tratando de ser material para futuras investigaciones más precisas, también los resultados aportarán información y conocimiento sobre muestras con características similares para futura toma de decisiones o estrategias. (p. 176)



Accesibilidad. La muestra es accesible para el investigador tanto por la cercanía a la ciudad de Lampa (16 km) y a la vez debido a la seguridad que proporciona la muestra ya que al tener un ancho de vía promedio de 4.8 m y realizar los ensayos se tendría con solo 2.4 m de ancho de carril en promedio, esto representaría un peligro para el investigador debido al ancho y al tráfico presente en la vía durante la ejecución de los ensayos. Principalmente este factor se vuelve condicional al realizar el ensayo con la viga Benkelman, debido al uso del camión volquete, invadiendo una gran parte de la vía, limitando el normal tránsito.

Costo. Según Sampieri (2014) para poder abarcar la investigación en todas las características de la vía la investigación requeriría de mayor cantidad de ensayos lo que incrementaría el costo (alquiler de equipos, movilización, etc.) por lo que la muestra presente trata de abarcar todas las condiciones de la vía. (p. 176). Nuevamente volviéndose un importante criterio tomar en cuenta, principalmente en la ejecución del ensayo estructural, debido al costo del camión volquete y la mayor distancia que tendría que recorrer, reduciéndose el tiempo útil alquilado.

3.2.3.1. Muestra para el Cálculo de PCI

Para la determinación del PCI se determinó según lo contemplado por el método PCI y por la ASTM-D-6433, el cual recomienda una evaluación en un área de pavimento que oscile entre 90 m² hasta 225 m². Para la vía en estudio el ancho promedio es de 4.8 m por lo que se planteó la evaluación de cada 50.00 m el cual nos dio un área que cumple el rango de estudio, requerido para la ejecución por este método.



Tabla 7

Muestra para cálculo de PCI

Ensayo	Longitud	N° de carriles	Distancia de muestra	N° de muestras
PCI	4,000.00 m	1	50.00 m	80

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

3.2.3.2. Muestra para el cálculo de IRI

Para el IRI se evaluó en ambos carriles de la muestra (lado derecho e izquierdo), para obtener un IRI en cada carril de muestra y posterior un IRI promedio para cada muestra.

Tabla 8

Muestra para el cálculo de IRI

Ensayo	Longitud de la vía	N° de carriles	Distancia de muestra	N° de muestras
IRI	4,000.00 m	2	400.00 m	20

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

3.2.3.3. Muestra para el cálculo de deflexiones

Para el cálculo de las deflexiones, las muestras se describen en la tabla 9, según el criterio del MTC E 1002 y la ASMT D-4695-03.

Tabla 9

Muestra para el cálculo de deflexiones

Ensayo	Longitud de la vía	N° de carriles	Distancia de muestra	N° de muestras
Deflectometría	4,000.00 m	2	50.00 m	81

Nota: Creado por el equipo de colaboradores



3.3. DESCRIPCIÓN DE LA VÍA

3.3.1. Información de la carretera Lampa – Palca

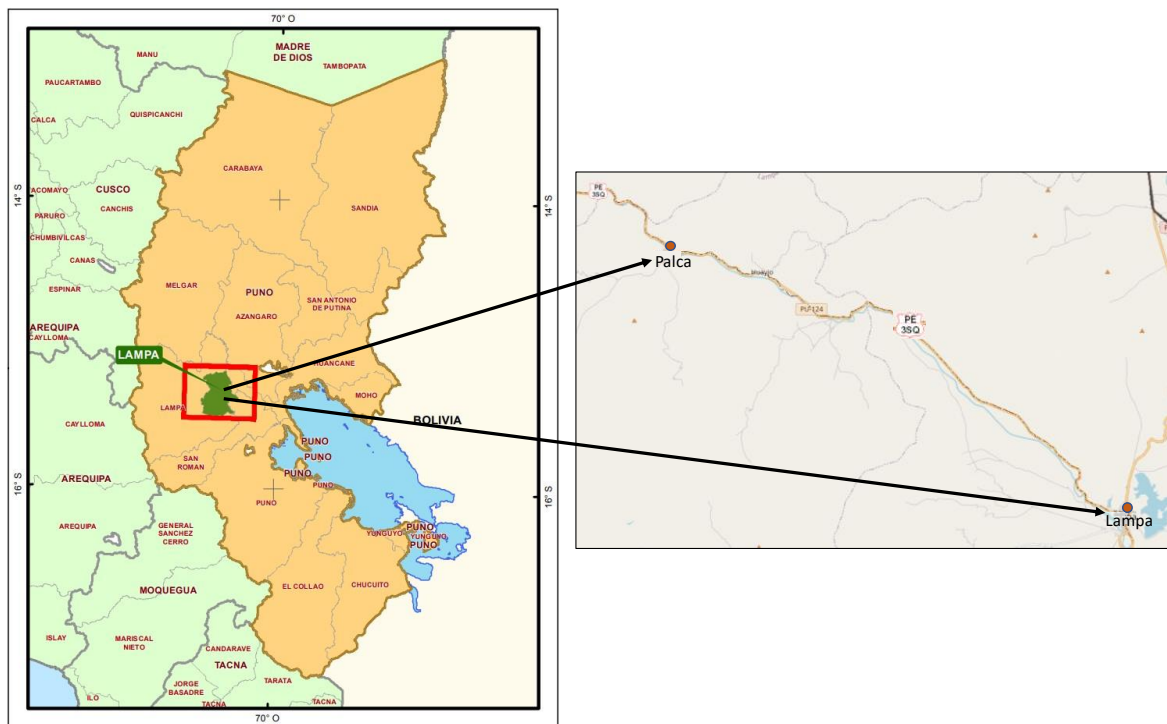
La carretera Lampa – Palca es parte de la ruta PE-3SQ pertenece a la carretera longitudinal de la sierra sur del Perú, tiene una longitud de 129.24 km. Anteriormente llamada ruta PU-124 siendo reclasificada en el año 2017 a una carretera nacional longitudinal por el SINAC. Fue construida con tratamiento Otta Seal en el año 2022 bajo una concesión a través de PROVIAS NACIONAL mediante la modalidad de contrato por niveles de servicio, con contrato N° 103-2018-MTC/20.2 (10-Set-18) con la empresa Consorcio Vial Sur Perú. CVSP, (2019) (p. 6)

3.3.2. Ubicación

La carretera Lampa – Palca pertenece a la carretera PE-3SQ ubicada en las provincias de Lampa y provincia de San Román, región Puno al sur del Perú; como lo indica la Figura 49.

Figura 49

Mapa de ubicación de la carretera Lampa - Palca



Nota: Inventario vial del SINAC

3.3.3. Altitud

La carretera Lampa – Palca se encuentra entre los 3,892 m.s.n.m. (Lampa) y 4,020 m.s.n.m. (Palca) Promediando una altura de 3,956 m.s.n.m.

3.3.4. Topografía

La carretera Lampa – Palca tiene una topografía regular, llana y poco ondulada, se anexa el levantamiento topográfico de la vía (Anexo G). La sección de estudio se encuentra en una zona ondulada y presenta curvas horizontales y verticales, como se describe en la tabla 10.

Tabla 10*Topografía carretera PE-3SQ*

Tramo	Inicio (km)	Fin (km)	Topografía	Orografía	Inclinación transversal
1	0+000	30+100	Ondulada	Tipo 2	Terreno montañoso: varía entre 11% y 50%
2	30+100	53+300	Accidentada	Tipo 3	Terreno montañoso: varía entre 51% y 100%
3	53+300	58+000	Accidentada	Tipo 3	Terreno montañoso: varía entre 51% y 100%
4	58+000	64+280	Ondulada	Tipo 2	Terreno montañoso: varía entre 11% y 50%
5	64+280	96+311	Ondulada	Tipo 2	Terreno montañoso: varía entre 11% y 50%
6	96+311	127+750	Plana	Tipo 1	Terrenos planos: varía hasta 10%
7	127+750	128+876	Plana	Tipo 1	Terrenos planos: varía hasta 10%

Nota: CVSP 2022

3.3.5. Diseño geométrico

De acuerdo a Cabello (2015) Las carreteras con modalidad de contrato por niveles de servicio en carreteras de bajo volumen de tránsito, no ejecutan ningún tipo de modificación en el diseño geométrico, restringiendo así la intervención en la sinuosidad, inclinación de taludes o ancho de vía. (p. 138) por lo que estas carreteras se ajustan al trazo existente de la vía. Sin embargo, es importante considerar que se cuentan con consideraciones establecidas de acuerdo al Manual para el Diseño de Carreteras (DG-2018).

Se detalla a continuación las principales características del diseño geométrico de acuerdo al diseño geométrico del CVSP que busca la operación ininterrumpida de los vehículos, conservando una misma velocidad directriz en la mayor longitud de la carretera que sea posible, para un determinado sector (CVSP, 2022).

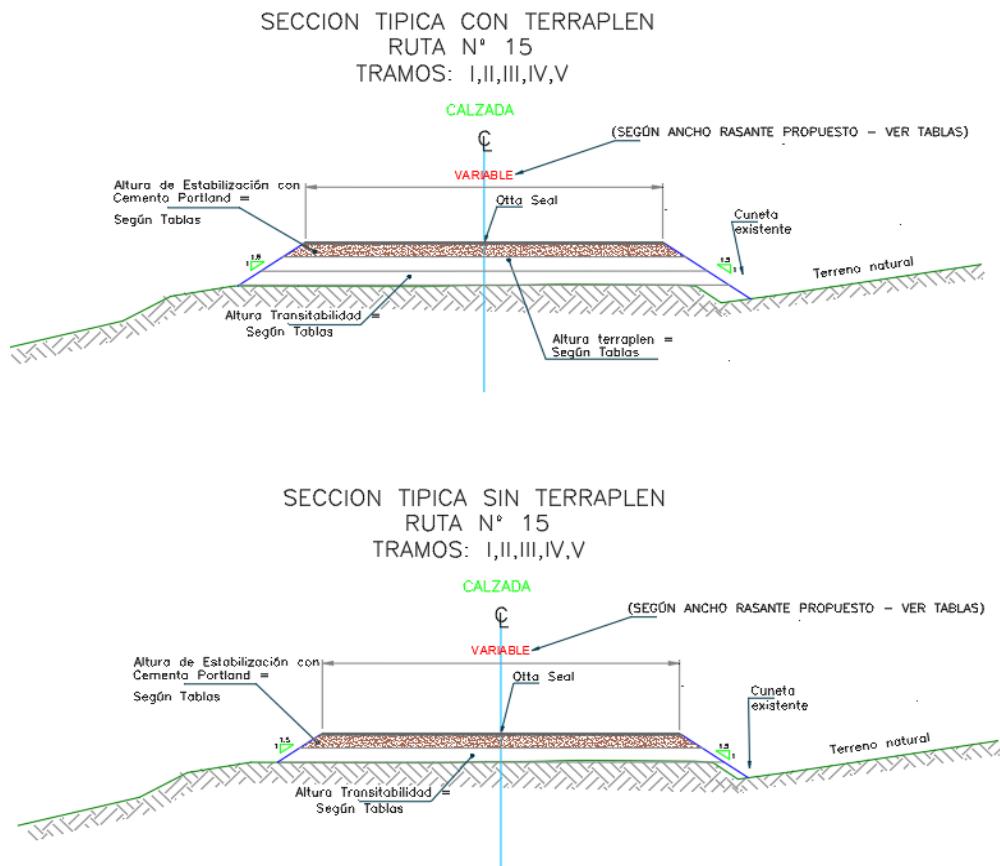


- Velocidad directriz (Velocidad máxima = 40 km/h y Velocidad mínima = 30 km/km)
- Distancia de visibilidad (en llano =50 m y en pendiente 43 m)
- Calzada = 4.00 m promedio en el tramo Palca – Lampa
- Berma = La carretera no considera el ancho de berma
- Bombeo = se consideró un bombeo de 2.5%
- Radio mínimo = 10.00 m
- Pendiente máxima = 11.99%

Se exhibe la representación estándar de la vía PE-3SQ, segmento Palca – Lampa; de acuerdo con la documentación del CVSP (2022), se especifica que la relación vertical a horizontal (V:H) empleada en la concepción del talud es de 1:1.5. (Figura 50)

Figura 50

Sección típica de la carretera PE-3SQ



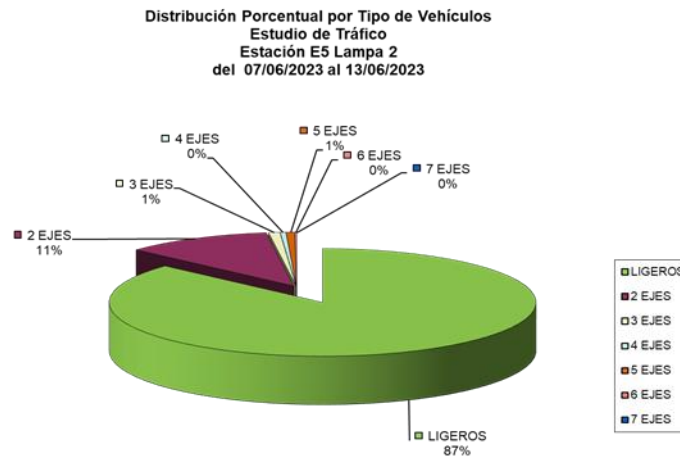
Nota: CVSP 2022

3.3.6. Estudio del Tránsito vehicular

De acuerdo al informe del estudio de tráfico del Consorcio Vial Sur Perú CVSP (Anexo H), el flujo vehicular de vehículos ligeros abarca el 86.76%, en la categoría de vehículos de gran tonelaje, sobresalen aquellos de 2 ejes, representando un 11.17% del flujo vehicular global, seguidos por los de 3 ejes con un 0.85%. Los vehículos de 4 ejes contribuyen con un 0.43% al total del tráfico, mientras que los de 5 ejes y 6 ejes representan el 0.64% y el 0.14% respectivamente de dicho flujo vehicular total. (Figura 51)

Figura 51

Análisis de Composición de tráfico



Nota: CVSP 2022

Asimismo, se presenta el siguiente índice medio diario anual del tramo Palca – Lampa en la tabla 11:

Tabla 11

Índice medio diario anual de la carretera Lampa - Palca

Ruta	Tramo	IMDA 2023
PE-3SQ	Lampa – Palca	227 veh/día

Nota: CVSP 2022

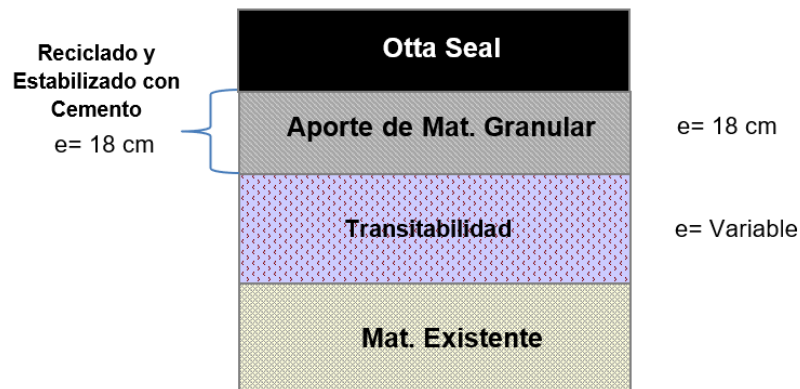
De acuerdo al resultado la carretera Lampa – Palca estaría categorizada como una carretera de tercera clase por tener un IMDA < 400 veh/día, de acuerdo al DG MTC (2018).

3.3.7. Estructura del pavimento

El pavimento que se presencia en la figura 52 es el tratamiento Otta Seal, cuya estructura se presenta a continuación. Es importante señalar que la sección denominada aporte de material granular, posee una estabilización suelo – cemento Portland.

Figura 52

Estructura del pavimento Otta Seal



Nota: CVSP 2022

3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Normatividad técnica

- a) Para la evaluación superficial (PCI)
 - ASTM D-6433-03: Cálculo estándar para el estudio de Índice de Condición del Pavimento
- b) Para la evaluación funcional (IRI)
 - Subsección 423.18(e) (5) del EG-2013: Regularidad de la superficie de rodadura o rugosidad
- c) Para la evaluación estructural (deflexiones)
 - La ASTM D-4695-03: Guía estándar para mediciones generales de deflexión del pavimento.
 - Manual de Ensayo de Materiales MTC - E 1002-2016

3.4.2. Fichas de evaluación

En la figura 53, 54 y 55, se exhiben las fichas de evaluación correspondientes al revestimiento de superficie conocido como Otta Seal.

Figura 53

Ficha de evaluación superficial PCI

1. DATOS DE LA UNIDAD DE MUESTRA					
CARRETERA	: Palca - lampa	PROGRESIVA INICIAL	: Km 83+750	AREA DE MUESTREO	175.00 m ²
FECHA	: 18/07/2023	PROGRESIVA FINAL	: Km 83+800	UNIDAD DE MUESTRA	01
LEVANTADO POR	: A.P.S.G & N.R.S.G.	ANCHO DE VIA	: 3.50 m		

2. TIPOS DE FALLAS											
N°	FALLA	UND MED	N°	FALLA	UND MED						
1	Piel de cocodrilo	m ²	12	Agregados pulidos	m ²						
2	Exudacion	m ²	13	Baches	N°						
3	Fisuras en bloque	m ²	14	Ahullamiento	m ²						
4	Abultamiento y hundimiento	m	15	Desplazamiento	m ²						
5	Corrugaciones	m ²	16	Fisura parabolica o por deslizamiento	m ²						
6	Depresiones	m ²	17	Hinchamientos	m ²						
7	Fisuras de borde	m	18	Peladuras por intemperismo	m ²						
8	Fisura de reflexion de junta	m	19	Cruce de via ferrea	m ²						
9	Desnivel carril - berma	m	CLASIFICACION DE SEVERIDAD <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Baja (Low)</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>Media (Medium)</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>Alta (High)</td> <td>H</td> </tr> </table>			Baja (Low)	L	Media (Medium)	M	Alta (High)	H
Baja (Low)	L										
Media (Medium)	M										
Alta (High)	H										
10	Fisuras longitudinales y transversales	m									
11	Parches y parches de cortes utilitarios	m ²									

DIAGRAMA

3. INVENTARIO DE FALLAS													
TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	MEDICION O EXTENSION								TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	
Siendo:											TOTAL	0	
Número de valores deducidos > 2		q =		Si $m < q$, entonces usar decimal									
Valor deducido mas alto		Max VD =											
Número max. de valores deducidos		m =		Parte decimal =								$m = 1 + (9 / 98) * (100 - \text{Max VD})$	

4. CALCULO DE VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (CVD)													
N°	VALORES DEDUCIDOS									TOTAL	q	q asumido	CVD
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO											0		

5. CALCULO DEL INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO										
100	EXCELENTE	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;">Foto :</div> <div style="width: 45%;">Foto :</div> </div>	Max CDV = 0							
85	MUY BUENO		PCI = 100 - maxCVD							
70	BUENO		PCI = 100 - 0							
55	REGULAR		PCI = 100							
40	MALO		CONDICION = EXCELENTE							
25	MUY MALO									
10	COLAPSADO									
0										
CONDICION DEL PAVIMENTO			EXCELENTE							

Nota: Creado por el equipo de colaboradores



Figura 54

Ficha de evaluación funcional IRI

PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRATAMIENTO OTTA SEAL MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS EN EL MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL PE-3SQ TRAMO LAMPA - PALCA, 2023

TRAMO: LAMPA - PALCA - CORREDOR VIAL **PROGRESIVA INICIAL:** Km 80+000 **FECHA:** 22-Jul-23

LUGAR: LAMPA - PALCA **PROGRESIVA FINAL:** Km 80+400 **ENSAYO:** 01

1.- DATOS DEL ENSAYO				2.- PERSONAL	
CARRIL	IZQ.	POSICIÓN PUNT. INICIAL	40.4 mm	ESPESOR DE PASTILLA	6 mm
HUELLA	EXTER	POSICIÓN PUNT. FINAL	26.6 mm	PIVOT / PUNT.	1:10
				OPERADOR:	A. P. S. G. y N. R. S. G.
				ASISTENTE:	

3.- LECTURAS DE CAMPO	4.- HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1											2											3											4											5											6											7											8											9											10											11											12											13											14											15											16											17											18											19											20											<table border="1"> <tr><td>50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>49</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>48</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>47</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>46</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>44</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>43</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>42</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>41</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>39</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>38</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>37</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>33</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>09</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>07</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>03</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>02</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	50											49											48											47											46											45											44											43											42											41											40											39											38											37											36											35											34											33											32											31											30											29											28											27											26											25											24											23											22											21											20											19											18											17											16											15											14											13											12											11											10											09											08											07											06											05											04											03											02											01										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

5.- CÁLCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN Y EL RANGO CORREGIDO

$$F_c = (EP * 10) / [(LI - LF) * 5]$$

Siendo:

EP : Espesor de la pastilla **Fc = 0.87**
 LI : Posición inicial del puntero
 LF : Posición final del puntero

6.- CÁLCULO DEL RANGO "D" Y EL RANGO CORREGIDO "D_{correg}"

$$D = (EI + ED + AH) * 5$$

Siendo:

D : Rango EI =
 EI : Extremo Izquierda ED =
 ED : Extremo Derecha AH = -52
 AH : Ancho de Histograma en und de escala

$$D =$$

$$D \text{ correg.} = D * F_c$$

$$D \text{ correg.} =$$

7.- CÁLCULO DEL IRI

RUGOSIDA IRI = 0.0485 * D (D<40)
 IRI = 0.593+0.0471*D (D>40)

IRI =

8.- COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Figura 55

Ficha de evaluación estructural Viga Benkelman

PROYECTO : TESIS: "EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRATAMIENTO OTTA SEAL MEDIANTE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS EN EL MEJORAMIENTO DEL CORREDOR VIAL PE-35Q TRAMO LAMPA - PALCA, 2023"													
CARRETERA : PALCA - LAMPA	SEPARACION : 100 m												
FECHA: 22-Ago-23													
1.- DATOS DEL ENSAYO					2.- PERSONAL								
CAPA: Otta Seal	P. INICIAL: Km 0+000	PRESIÓN DE INFLADO: 80 psi	EAL: 3.20E+04	RELACIÓN BRAZO: 2	F. ESTACNL:	OPERADOR: A.P.S.G & N.R.S.G.							
ESPEJOR (e): 1.50 cm	P. FINAL: Km 0+000	CARGA EJE: 8,200 Kg	D_{adm}: 245 mm/100	N° BRAZOS VIGA: 1	1.3	ASISTENTE:							
3.- LECTURAS DE CAMPO				4.- RESULTADOS		6.- EQUIPOS DE MEDICIÓN							
KM	CARRIL	DIST. AL BORDE EXTER.	LECTURA DE DIAL (mm/100)			TEMPERATURA			INICIAL=100	OBSERVACIONES	DEFLEXIONES		DEFLEXIÓN PROMEDIO
			DIAL 1			[°C]					D0		
			0 cm	Lmax	F. ESTAC.	HORA	AMB.	CAPA					
										6.- EQUIPOS DE MEDICIÓN			
										<input type="checkbox"/> VIGA BENK. <input type="checkbox"/> VIBE <input type="checkbox"/> TERMÓMETRO <input type="checkbox"/> TBOL32			
										7.- EQUIPOS DE MEDICIÓN			
										PROMEDIO: _____ MÍNIMO: _____ MÁXIMO: _____ DESVIACIONES: _____ DEF. CARACT.: _____			
NOTA: Corrección temperatura: $D_{20} = 1/(0.001(Tcapa-20)^e + 1)$, Tcapa en °c										DATOS: 00			
5.- GRÁFICO													
DEFLEXIONES LADO DERECHO													

Nota: Creado por el equipo de colaboradores



3.5. EVALUACIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL MÉTODO PCI

La evaluación inicial de la condición superficial implica llevar a cabo un análisis primario exhaustivo a través de la aplicación del Índice de Condición de Pavimento (PCI), siguiendo directrices delineadas en la normativa ASTM D-6433-03. En este proceso, se han elegido unidades muestrales de 50 m, considerando el ancho medio de la carretera, establecido en 4.80 metros.

3.5.1. Equipos y materiales

- a) Wincha de 50 m
- b) Odómetro
- c) Regla de aluminio de 1.5 m
- d) Formatos de evaluación

3.5.2. Procedimiento de medición en campo

Se expone la metodología de evaluación en campo, delineando meticulosamente el protocolo de medición correspondiente., para cada unidad de estudio:

1. Registrar los datos de análisis como, el tramo de estudio (progresiva de inicio y fin) y número de sección evaluada.

Figura 56

Medición de PCI tramo de estudio



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

2. Determinar el tamaño de unidad de muestra, para nuestro caso de estudio se tomaron el ancho promedio y distancia entre muestra (50 m).

Figura 57

Medición del ancho de la vía



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

3. Realizar la inspección de las fallas para determinar el tipo, cantidad o extensión y nivel de severidad, registrando esta información en la ficha

de evaluación (figura 58). Teniendo en cuenta las definiciones y el método de medición de cada falla descritos en el capítulo 2.

Figura 58

Auscultación de muestras de PCI



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Figura 59

Medición de la exudación de la carretera Lampa - Palca



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

4. Repetir este proceso para cada muestra a inspeccionar.



3.5.3. Determinación del Índice De Condición De Pavimento (PCI)

A) Cálculo de los valores deducidos (VD)

1. Calculamos la suma integral de las incidencias clasificadas por categoría de falla y su correspondiente grado de severidad, registrando esta información en la sección "Medición o Extensión". Dependiendo del tipo de falla, las cantidades de daño se pueden expresar en metros cuadrados, metros lineales o números de ocurrencia.

En la tabla 12 se evidencia la ocurrencia de deficiencias en el sistema de parches (11) que tiene una extensión de 140.00 m² de severidad baja.

Tabla 12

Dimensionamiento de fallas

Tipo de falla	Severidad	Medición o extensión	Total
6	L	0.70	0.70
11	L	140.00	140.00
14	L	1.20	0.54
7	L	8.00	8.00

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

2. Para la obtención de la densidad porcentual individual, se divide la totalidad de cada tipo de falla y por cada nivel de severidad, entre la extensión de la muestra de análisis.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Cantidad total por falla}}{\text{Área total de la muestra de análisis}} \times 100$$

Tabla 13

Densidad porcentual individual

Tipo de falla	Severidad	Medición o extensión		Total	Área (m²)	Densidad
6	L	0.70		0.70	245.00	0.29%
11	L	140.00		140.00	245.00	57.14%
14	L	1.20	0.54	1.74	245.00	0.71%
7	L	8.00		8.00	245.00	3.27%

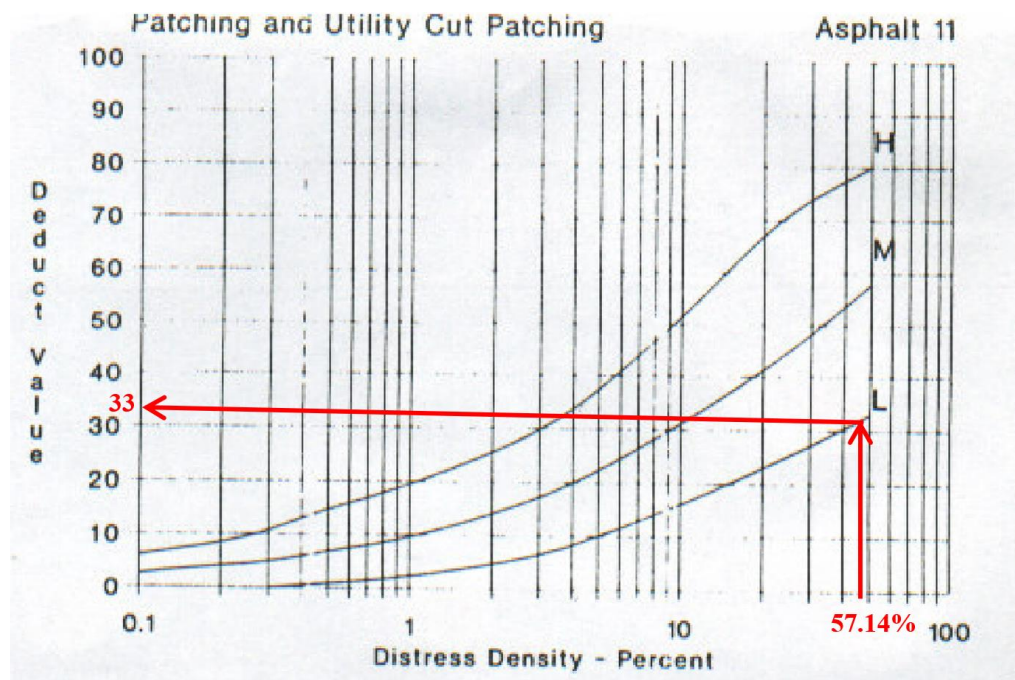
Nota: Creado por el equipo de colaboradores

3. Calculamos el valor deducido mediante el empleo de los ábacos de deducción de valor contenidos en el Anexo D. En este proceso, llevamos a cabo la identificación correspondiente para cada conjunción de tipología de fallo y grado de severidad.

A modo ilustrativo, en el contexto de la tabla 13, destaca el porcentaje de densidad, específicamente un marcado 57.14%. Tomando como referencia la incidencia 11, caracterizada por una severidad de bajo nivel (L), estos datos encontrarán su representación gráfica en la visualización que sigue, delineando de manera precisa la relación entre dichos parámetros. (figura 60):

Figura 60

Cálculo del Valor Deducido en ábaco de Parches



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Para cada caso de falla, aplicamos los ábacos de manera sistemática, discerniendo entre cada inconveniente y su correspondiente nivel de gravedad con precisión técnica.

Tabla 14

Cálculo de Valores Deducidos

Tipo de falla	Severidad	Medición o extensión	Total	Densidad	Valor deducido
6	L	0.70	0.70	0.29%	4
11	L	140.00	140.00	57.14%	33
14	L	1.20 0.54	1.74	0.71%	0
7	L	8.00	8.00	3.27%	3
TOTAL					40

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

B) Determinar el máximo valor deducido corregido (Max VD)

4. Si ningún valor deducido individual sobrepase el umbral de dos, se procede a emplear el valor total en sustitución del valor deducido máximo (VD) para del PCI. En contraposición, si algún valor deducido individual

supera dicho umbral, se lleva a cabo la determinación del valor deducido corregido máximo mediante la aplicación del procedimiento detallado en las pautas subsiguientes.

5. Generar un registro jerarquizado de valores inferidos de manera individual, dispuestos en secuencia decreciente. A modo ilustrativo, en la tabla 15 la lista será 33.00, 4.00 y 3.00, si se presentan más valores se continúa colocando los valores, siguiente este criterio.

Tabla 15

Lista de valores deducidos (en forma decreciente)

N°	Valores deducidos		
1	33.00	4.00	3.00
2	33.00	4.00	2.00
3	33.00	2.00	2.00
4			
5			

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

6. Determinar el número de deducciones permisibles “m” aplicando la siguiente fórmula:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - \text{MaxVD})$$

DDonde:

m = Núm. máx. admisible de VD (debe ser menor o igual a 10)

MaxVD = La máxima deducción individual de valor dentro de la unidad muestral.

A modo ilustrativo, en la tabla 11, el MaxVD es 33, por lo tanto, el valor de m será:

$$m = 1 + (9/98) (100-33) = 7.2$$



7. Determinar el máximo valor deducido corregido (CVD) a partir del valor deducido total y del valor de “q”, utilizando el ábaco de valor deducido corregido para pavimentos flexibles como se muestra en la figura 61 y registran en la tabla 16.

A modo de ilustración, para los datos de la tabla 14, se evidencia la densidad que en nuestro caso es 57.14%, para la falla 14, con una severidad baja (L), estos valores se visualizaran en la figura 61.

Tabla 16

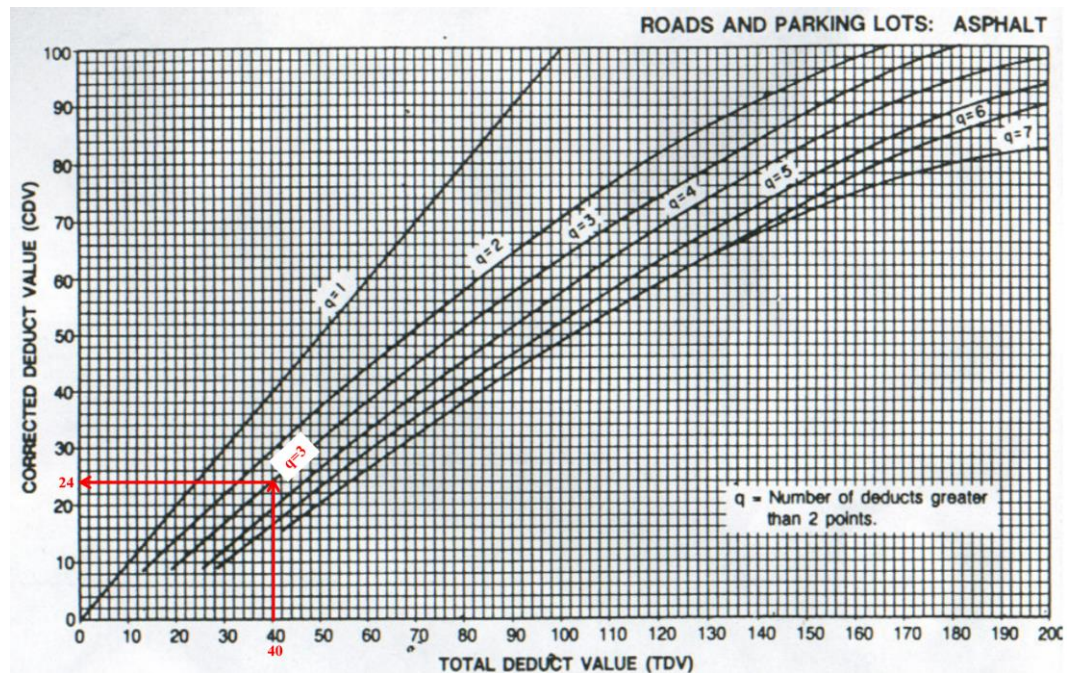
Cálculo de Valores Deducidos Corregidos (CVD)

N°	Valores deducidos			Total CDT	q	CVD
1	33.00	4.00	3.00	40.00	3	24
2	33.00	4.00	2.00	39.00	2	29
3	33.00	2.00	2.00	37.00	1	37
4						
5						
Max. Valor deducido corregido						37

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Figura 61

Cálculo del Valor Deducido Total



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

C) Determinación del valor de PCI de sección

Determinar el PCI mediante la sustracción a 100 del máximo CVD.

$$PCI = 100 - 37 = 63.$$

La categorización pertinente del PCI adquirido revela una evaluación de “Bueno”.

3.6. EVALUACIÓN FUNCIONAL MEDIANTE EL EQUIPO MERLÍN

3.6.1. Equipos y materiales

- Rugosímetro Merlín
- Cinta para marcar un eje de rueda
- Formatos de evaluación
- Otros (cinta métrica de 3m, plumones, destornillador, alicates)

3.6.2. Procedimiento de medición en campo

Para cada unidad de estudio (aproximadamente de 400 metros), garantizando previamente la idoneidad de la superficie vial mediante la verificación exhaustiva de su estado de limpieza y la ausencia de cualquier obstáculo que puedan interferir con la medición.

1. Se realiza la preparación del equipo Rugosímetro Merlín, asegurándose de que esté en buen estado de funcionamiento y calibrado, para que el equipo esté listo para su uso. La prueba empezó estacionando el equipo y lecturando la evaluación del espesor de la pastilla de IRI.

Figura 62

Medición de la pastilla de IRI



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

2. Se coloca el Rugosímetro Merlín en la superficie del pavimento y asegurarse de que esté nivelado, para la ejecución de este ensayo se necesitan mínimamente dos personas una para anotar las irregularidades y otra para la operación del equipo (Figura 63)

Figura 63

Ubicación del rugosímetro en el punto de medición



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

3. Realizar la medición de la rugosidad con el Rugosímetro Merlín, empujando el equipo a lo largo de la sección de carretera que se desea evaluar, manteniendo constantemente una velocidad generalmente de 2 a 4 km/h y priorizando una trayectoria recta a lo largo de la carretera.

Las mediciones se realizaron mediante la inmovilización periódica del instrumental en intervalos sistemáticos, típicamente cada dos metros, que es la medida aproximada de la circunferencia de la rueda del equipo, siguiendo la huella interior de la vía. El dispositivo se dejó descansar sobre el camino en cada medición respaldado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el soporte fijo trasero y el estabilizador de ensayo. (Figura 64)

Figura 64

Medición del IRI con rugosímetro Merlin



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

4. Registrar los datos mientras avanza el rugosímetro Merlin. Para el registro de los datos el puntero del equipo se posiciona en el tablero que lectura valores entre 1 y 50 (elevaciones y depresiones), los mismo que se registran en el formato de evaluación (figura 66).

El formato de campo, cuenta con una cuadrícula con 20 filas y 10 columnas, donde los datos letrados se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha (figura 66), hasta completar las 200 lecturas que aproximadamente son los 400 metros del tramo en estudio.

Figura 65

Lectura y medición del IRI



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Figura 66

Formato de cuadrícula para registro de lecturas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

5. Repetir este proceso para cada muestra a inspeccionar.

3.6.3. Determinación del Índice De Rugosidad Internacional (IRI)

En la determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), se efectuaron 200 lecturas de las 'anomalías en la superficie de la carpeta con Otta Seal, identificadas por el dispositivo móvil MERLIN.

Los datos recopilados por el Rugosímetro Merlín se procesan para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Este cálculo se basa en la cantidad y la magnitud de las vibraciones registradas durante el recorrido.

A) Gráfico del histograma de frecuencias

Basado en el registro de datos recopilados durante la medición en campo como se muestra en la tabla 17, se genera un histograma de la distribución de frecuencias.

Tabla 17

Datos de campo recopilados por Rugosímetro Merlín

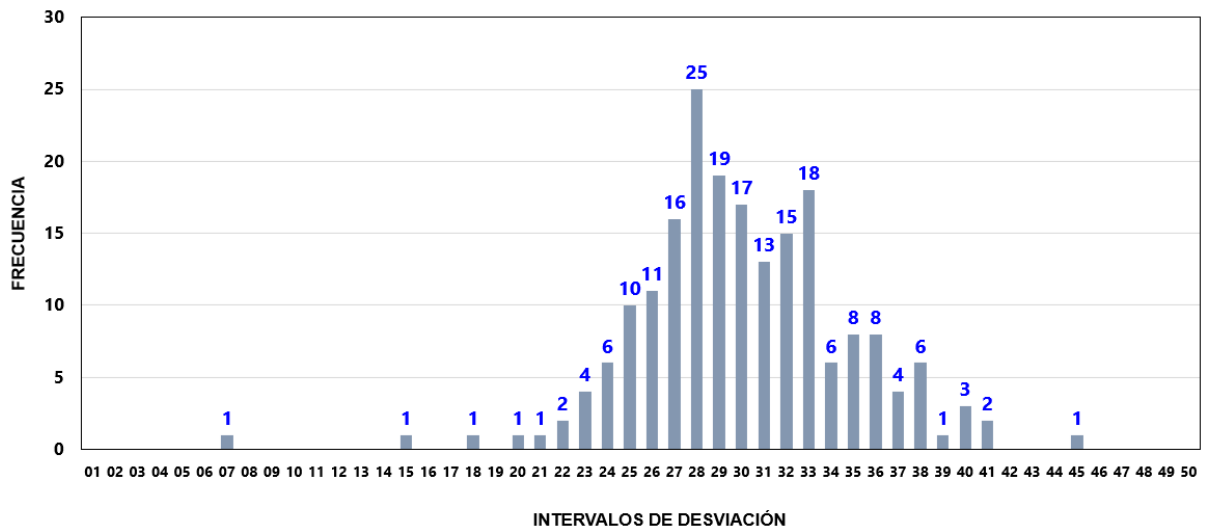
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	33	41	29	33	36	36	27	36	29	21
2	24	25	28	28	27	33	38	33	31	28
3	26	27	28	29	26	33	34	32	29	23
4	31	28	7	41	15	33	26	39	34	38
5	35	37	20	30	24	28	25	24	25	29
6	28	30	30	28	32	33	38	27	29	28
7	28	33	28	30	35	38	34	31	34	27
8	27	29	31	31	29	30	27	28	30	32
9	29	32	31	30	30	31	25	26	27	22
10	34	26	29	25	30	36	28	35	27	33
11	24	40	29	23	25	32	27	29	30	30
12	30	37	23	33	33	30	34	40	36	32
13	33	32	29	35	33	37	35	27	36	36
14	30	27	32	28	37	35	26	29	31	24
15	29	28	30	26	28	28	33	32	28	31
16	35	32	30	40	24	33	29	38	26	29
17	25	28	35	31	28	22	33	32	33	28

18	27	32	26	31	29	23	28	32	27	25
19	28	31	28	27	29	33	32	18	30	45
20	38	32	36	25	25	28	27	31	26	26

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Figura 67

Histograma de frecuencias



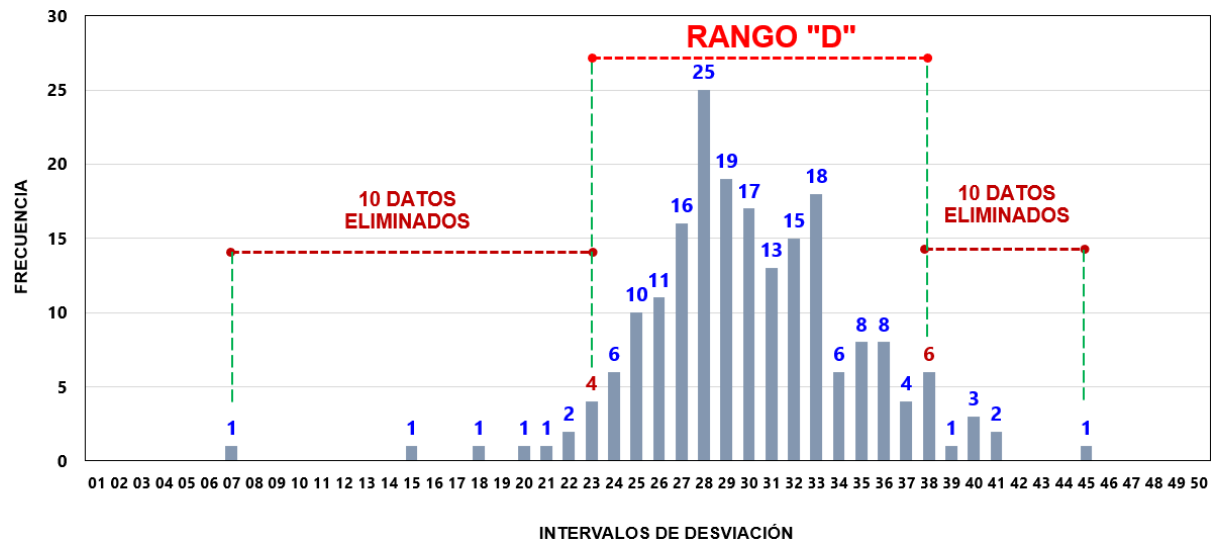
Nota: Creado por el equipo de colaboradores

B) Realizamos el descarte de datos

Este descarte determina la eliminación de datos que puedan representar un errores en el proceso de evaluación que puedan afectar la precisión de la medición del IRI. Por lo que se realiza un descarte del 10% de cada lado (10 datos) del gráfico, quedando un rango "D", el cual debe convertirse en unidades IRI.

Figura 68

Descarte de datos y rango "D"



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

C) Cálculo del Rango "D"

Una vez realizado el anterior paso, se establece el rango correspondiente a los valores asociados dentro de las clases de frecuencia, delimitando así el espectro de variabilidad en el conjunto de datos (D), denominado también "ancho del histograma". Este se computa en unidades de escala, considerando las fracciones generadas durante el proceso de exclusión. La amplitud del histograma se convierte a milímetros (mm) y se multiplica por el valor de cada unidad (5 mm).

Por ejemplo, con los datos de la tabla 14, se generó un histograma y posterior descarte de datos (figura 42), quedando el rango "D" de la siguiente forma:

$$D = \left(\frac{1}{4} + 14 + \frac{3}{6} \right) \times 5$$

$$D = 73.75 \text{ mm}$$

D) Determinamos el Factor de Corrección "Fc"



Como resultado del desgaste del patín del brazo móvil, la condición de relación de los brazos del Rugosímetro a veces cambia de 1 a 10 y debe ajustarse con el factor de corrección "Fc".

La fórmula para el ajuste de "D" es:

$$F_c = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5}$$

Donde:

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

De esta manera para nuestro caso de estudio tenemos: EP = 5 mm, LI = 25 mm y LF = 12 mm, con estos datos calculamos el factor de corrección:

$$F_c = \frac{5 \times 10}{(25 - 12) \times 5}$$

$$F_c = 0.77$$

E) Calculamos el Rango D Corregido "D_{corregido}"

Calculamos el rango D corregido mediante la formula.

$$D_{\text{corregido}} = D \times F_c$$

Por lo tanto, para nuestro caso de estudio se tendría el rango D corregido:

$$D_{\text{corregido}} = 73.75 \times 0.77$$

$$D_{\text{corregido}} = 56.73 \text{ mm}$$

F) Cálculo de la rugosidad IRI

Determinamos de la rugosidad de la superficie en la escala IRI, mediante la fórmula:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D_{\text{corregido}}$$



Reemplazando los datos, obtenemos el valor de IRI para nuestro caso de estudio.

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 56.73$$

$$IRI = 3.27 \text{ m/km}$$

Empleando el mismo protocolo metodológico, llevamos a cabo el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional en los tramos restantes.

3.7. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE VIGA BENKELMAN

De acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales MTC E 1002-2016, se consideró:

3.7.1. Equipos y materiales

- a. Deflectómetro Viga Benkelman
- b. Volquete cargado (8.2 tn)
- c. Vehículo auxiliar para transportar al personal
- d. Formatos de evaluación
- e. Termómetro
- f. Señales de seguridad

3.7.2. Procedimiento de medición en campo

Se detalla el protocolo de evaluación in situ correspondiente a cada entidad de análisis, delineando meticulosamente el proceso de medición aplicado.

1. Se cuenta con una previa preparación antes de iniciar el ensayo como tal. Primeramente, se determinó el peso del camión volquete (Figura 69) y la presión de las llantas. El camión tenía un peso de 8,200 kg de un eje posterior simple de una llanta doble (medido en una estación de pesaje en

la ciudad de Juliaca), asimismo la presión de inflado de las ruedas fue de 80 psi (5.6 kg/cm²).

Figura 69

Pesaje de camión volquete



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

2. Identificar los puntos de ensayo, marcándolos para su fácil reconocimiento en campo mediante una línea transversal al pavimento. El punto de ensayo se ubicó sobre dicha línea, en una distancia elegida del borde, de acuerdo a la tabla 18

Tabla 18

Cuadro de distancia de deflectometría al borde del pavimento

Ancho de carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.90 m

Nota: Manual de Ensayo de Materiales MTC E 1002 – 2016.

3. Se procedió a la localización del volquete sobre el punto del ensayo, moviéndose lentamente para que la rueda dual externa del camión coincidiera con la línea vertical previamente marcada. De este modo, el punto objeto de evaluación se ubicaba entre las dos ruedas gemelas del conjunto de doble llanta.
4. Se procedió a la colocación del deflectómetro Viga Benkelman, la viga se colocó detrás del camión, perpendicular al eje de carga, para que la punta de prueba del primer brazo coincidiera con el punto de prueba y la viga no rozara las llantas de las ruedas duales. (Figura 70)

Seguidamente, procede a desbloquear los dispositivos de seguridad ubicados en los brazos y realiza la fijación precisa del brazo de medición en la plataforma de la viga. Ajusta el tornillo trasero nivelador de manera que el brazo de medición mantenga un contacto óptimo con el dial de lectura.

Figura 70

Colocación del deflectómetro Viga Benkelman



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

5. Se procedió a la medición de deflexiones a intervalos regulares, para ello se ajustó el dial a cero y se activó el vibrador. Una vez que el camión se alejó lo suficiente del punto (más de 5 m) de ensayo que el indicador del dial ya no se moviera, se registró una lectura que correspondía al punto de referencia con cero deflexiones. (Figura 71)

Figura 71

Movimiento en el dial de lectura



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

6. Registrar las mediciones realizadas por el deflectómetro Viga Benkelman, junto con la temperatura del pavimento, mediante el formato de evaluación (figura 72).

Figura 72

Registro de los datos por punto de evaluación



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

7. Repetir este proceso para cada muestra a inspeccionar.

3.7.3. Determinación de las deflexiones

A) Cálculo de la deflexión relativa

Basado en el registro de datos recopilados durante la medición en campo para cada punto de medición, se calcula la deflexión relativa restando la deflexión registrada en ese punto (L Max) de la deflexión registrada en el punto de referencia “L0”. (Tabla 19)

Tabla 19

Cálculo de la deflexión relativa

Unidad de muestra	Km	Carril	Dist. Al borde externo	Lectura de dial (mm/100)		Deflexión relativa (mm/100)
				0 cm	L Max.	
1	80+000	Der.	0.60 m	0	33	33
2	80+100	Der.	0.60 m	0	24	24
3	80+200	Der.	0.60 m	0	46	46
4	80+300	Der.	0.60 m	0	25	25



Unidad de muestra	Km	Carril	Dist. Al borde externo	Lectura de dial (mm/100)		Deflexión relativa (mm/100)
				0 cm	L Max.	
5	80+400	Der.	0.60 m	0	54	54
6	80+500	Der.	0.60 m	0	39	39
7	80+600	Der.	0.60 m	0	39	39
8	80+700	Der.	0.60 m	0	25	25
9	80+800	Der.	0.60 m	0	41	41
10	80+900	Der.	0.60 m	0	32	32
11	81+000	Der.	0.60 m	0	75	75

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

B) Determinación de la deflexión corregida

Calculamos las deflexiones corregidas “D0”, mediante la siguiente fórmula:

$$D0 = (Lf - L0) \times K \times C$$

Donde:

D0= Deflexión simple (corregida).

L0 = Lectura inicial de la estación.

Lf = Lectura final de la estación.

K = Constante de la viga (relación de brazos 2:1).

C = Corrección de unidades para milímetros.

Por ejemplo, para los datos de la tabla 19, el cálculo de la deflexión corregida se detalla a continuación:

Para: Lo, con K=2 y C=1.29

$$D0 = (33 \text{ mm}/100 - 0 \text{ mm}/100) \times 2 \times 1.29$$

$$D0 = 86 \text{ mm}/100$$

De esta forma se calcula el resto de valores, como se detalla en la tabla 20.

Tabla 20

Cálculo de deflexión corregida

Km	Carril	Dist. Al borde externo	Lectura de dial (mm/100)		Deflexión relativa (mm/100)	F. Estac.	Temp. Capa °C	Corrección	Deflexión corregida D0 (mm/100)
			L0	L Max					
80+000	Der.	0.60 m	0	33	33	1.3	21.0	0.999	86
80+100	Der.	0.60 m	0	24	24	1.3	21.3	0.998	62
80+200	Der.	0.60 m	0	46	46	1.3	24.5	0.993	119
80+300	Der.	0.60 m	0	25	25	1.3	24.5	0.993	65
80+400	Der.	0.60 m	0	54	54	1.3	24.2	0.994	140
80+500	Der.	0.60 m	0	39	39	1.3	23.7	0.994	101
80+600	Der.	0.60 m	0	39	39	1.3	23.1	0.995	101
80+700	Der.	0.60 m	0	25	25	1.3	26.2	0.991	64
80+800	Der.	0.60 m	0	41	41	1.3	24.6	0.993	106
80+900	Der.	0.60 m	0	32	32	1.3	24.8	0.993	83
81+000	Der.	0.60 m	0	75	75	1.3	25.1	0.992	194

Nota: Creado por el equipo de colaboradores



C) Cálculo del promedio aritmético (deflexión media)

Determinamos la deflexión media con la formula:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Donde:

n: Número total de medidas.

D_i : Deflexiones desde $i=1$ a $i=n$.

\bar{D} : Deflexión media de n deflexiones.

Por ejemplo, para nuestro caso de estudio tenemos un promedio aritmético de 92.7 mm/100.

D) Determinación de la desviación estándar

Calculamos la desviación estándar, con la siguiente formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

n: Número total de medidas.

D_i : Deflexiones desde $i=1$ a $i=n$.

\bar{D} : Deflexión media de n deflexiones.

Por ejemplo, para nuestro caso de estudio tenemos una desviación estándar de 28.6 mm/100.

E) Calculamos la deflexión característica “ D_c ”

Según el MTC (2014) la deflexión característica es el valor que mejor representa a un determinado sector evaluado (p.159).

Tabla 21

Definición de Deflexión Característica

Tipo de carretera	Deflexión característica DC	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	$D_c = D_m + 1.036xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: D_c = Deflexión característica, D_m = Deflexión media, ds = desviación estándar. Adaptado de MTC (2014).

En el segmento analizado, se dispone de una vía de categoría terciaria, lo cual implica, de acuerdo con la referencia en la tabla 21, que se debe aplicar la fórmula subsiguiente para calcular la deflexión característica.

$$D_c = \bar{D} + 1.282(\sigma)$$

Donde:

D_c = Deflexión característica.



\bar{D} = Deflexión media.

σ = Desviación estándar.

Por ejemplo, para nuestro caso de estudio tenemos una desviación estándar de 28.6 mm/100.

F) Calculamos la deflexión admisible

Según el MTC (2014) la deflexión admisible es la que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar (p. 160). Para el cálculo se adopta la fórmula propuesta por el CONREVA que se presenta a continuación.:

$$D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{N}}$$

Donde:

D_{adm} = Deflexión admisible en mm.

N = Número de ejes equivalentes de 8.2 Tn acumulados en el periodo de diseño, expresado en millones.

Para nuestro caso de estudio se adoptó el Número de ejes equivalentes $N = 3.2 \times 10^4$ adoptado del estudio de tráfico (en el relevamiento de información) del CVSP

Reemplazando en la fórmula:

$$D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{3.2 \times 10^4}}$$

$$D_{adm} = 245 \text{ mm/100}$$

Este valor servirá para compararse con los resultados de la deflexión característica del pavimento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE PCI

Según el ensayo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), realizados se determinó el estado de la muestra carretera Lampa – Palca km 80+000 al 84+000, para la evaluación del estado superficial de la vía.

4.1.1. Datos Recolectados del PCI






Los datos recolectados a partir de los formatos de evaluación (ANEXO A).

4.1.2. Resumen de los Resultados del Índice de Condición del Pavimento PCI

A continuación, se presenta la síntesis del ensayo del Índice de Condición del Pavimento PCI en la tabla 22, considerando los criterios del MTC / ASTM D643, evidenciándose la unidad muestral, progresivas evaluadas y el área promedio evaluado, asimismo se detalla el valor del PCI evaluado, que nos indica la condición del pavimento de la unidad de muestra.

Tabla 22

Resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Unidad de muestra	Prog. Campo		Área	Valor PCI	Color	Condición del pavimento
	Inicio (km)	Fin (km)				
1	80+000	80+050	210.00	93		Excelente
2	80+050	80+100	240.00	92		Excelente
3	80+100	80+150	240.00	93		Excelente
4	80+150	80+200	245.00	97		Excelente
5	80+200	80+250	240.00	95		Excelente



Unidad de muestra	Prog. Campo		Área	Valor PCI	Color	Condición del pavimento
	Inicio (km)	Fin (km)				
6	80+250	80+300	240.00	100		Excelente
7	80+300	80+350	240.00	97		Excelente
8	80+350	80+400	235.00	97		Excelente
9	80+400	80+450	235.00	100		Excelente
10	80+450	80+500	235.00	100		Excelente
11	80+500	80+550	240.00	100		Excelente
12	80+550	80+600	240.00	100		Excelente
13	80+600	80+650	175.00	100		Excelente
14	80+650	80+700	240.00	81		Muy bueno
15	80+700	80+750	245.00	91		Excelente
16	80+750	80+800	245.00	95		Excelente
17	80+800	80+850	240.00	100		Excelente
18	80+850	80+900	250.00	95		Excelente
19	80+900	80+950	255.00	100		Excelente
20	80+950	81+000	260.00	90		Excelente
21	81+000	81+050	260.00	92		Excelente
22	81+050	81+100	255.00	95		Excelente
23	81+100	81+150	260.00	96		Excelente
24	81+150	81+200	255.00	97		Excelente
25	81+200	81+250	255.00	100		Excelente
26	81+250	81+300	260.00	92		Excelente
27	81+300	81+350	260.00	90		Excelente
28	81+350	81+400	255.00	96		Excelente
29	81+400	81+450	260.00	85		Muy bueno
30	81+450	81+500	260.00	93		Excelente
31	81+500	81+550	255.00	90		Excelente
32	81+550	81+600	255.00	97		Excelente
33	81+600	81+650	260.00	92		Excelente
34	81+650	81+700	260.00	90		Excelente
35	81+700	81+750	260.00	97		Excelente
36	81+750	81+800	255.00	95		Excelente
37	81+800	81+850	255.00	93		Excelente
38	81+850	81+900	260.00	90		Excelente
39	81+900	81+950	265.00	78		Muy bueno
40	81+950	82+000	260.00	84		Muy bueno
41	82+000	82+050	245.00	97		Excelente
42	82+050	82+100	245.00	92		Excelente
43	82+100	82+150	245.00	100		Excelente



Unidad de muestra	Prog. Campo		Área	Valor PCI	Color	Condición del pavimento
	Inicio (km)	Fin (km)				
44	82+150	82+200	245.00	93		Excelente
45	82+200	82+250	240.00	74		Muy bueno
46	82+250	82+300	245.00	88		Excelente
47	82+300	82+350	240.00	83		Muy bueno
48	82+350	82+400	240.00	74		Muy bueno
49	82+400	82+450	245.00	78		Muy bueno
50	82+450	82+500	245.00	82		Muy bueno
51	82+500	82+550	245.00	74		Muy bueno
52	82+550	82+600	245.00	84		Muy bueno
53	82+600	82+650	245.00	89		Excelente
54	82+650	82+700	245.00	95		Excelente
55	82+700	82+750	245.00	87		Excelente
56	82+750	82+800	245.00	84		Muy bueno
57	82+800	82+850	245.00	82		Muy bueno
58	82+850	82+900	245.00	86		Excelente
59	82+900	82+950	245.00	95		Excelente
60	82+950	83+000	245.00	80		Muy bueno
61	83+000	83+050	245.00	90		Excelente
62	83+050	83+100	250.00	93		Excelente
63	83+100	83+150	250.00	71		Muy bueno
64	83+150	83+200	250.00	74		Muy bueno
65	83+200	83+250	250.00	79		Muy bueno
66	83+250	83+300	250.00	65		Bueno
67	83+300	83+350	250.00	67		Bueno
68	83+350	83+400	245.00	65		Bueno
69	83+400	83+450	245.00	82		Muy bueno
70	83+450	83+500	245.00	77		Muy bueno
71	83+500	83+550	245.00	78		Muy bueno
72	83+550	83+600	245.00	81		Muy bueno
73	83+600	83+650	245.00	80		Muy bueno
74	83+650	83+700	245.00	88		Excelente
75	83+700	83+750	245.00	85		Muy bueno
76	83+750	83+800	240.00	93		Excelente
77	83+800	83+850	240.00	88		Excelente
78	83+850	83+900	240.00	100		Excelente
79	83+900	83+950	245.00	90		Excelente
80	83+950	84+000	245.00	85		Muy bueno

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Para esta evaluación de la carretera Lampa – Palca km 80+000 al 84+000, se evidencia un buen comportamiento superficial respecto a la evaluación de fallas presentes en la plataforma del pavimento Otta Seal, asimismo, de acuerdo a la tabla 22 se puede sectorizar y observar el tipo de intervención que sería apropiado de acuerdo a la metodología PCI (Tabla 23).

Tabla 23

PCI Tramo Lampa - Palca

Sección	Prog. Campo		Valor PCI prom.	Condición del pavimento	Tipo de intervención según PCI
	Inicio (km)	Fin (km)			
Carretera Lampa - Palca	80+000	84+000	89	Excelente	Mantenimiento preventivo

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

De acuerdo a la tabla 23, el valor del PCI de la carretera Lampa – Palca del km 80+000 al 84+000 es 89 teniendo una calificación de EXCELENTE, esta calificación amerita un “mantenimiento rutinario y preventivo”, basándonos en la tabla 3, descrita en el capítulo 3, la que recomienda esta estrategia de mantenimiento para este valor de calificación del PCI. E contraste con los resultados Chipana & Sanca (2022) determinaron que con el tratamiento Otta Seal, el PCI del tramo estudiado Arapa-Chupa, se obtuvo un valor de PCI de 85, calificando una serviciabilidad de “Muy buena”, lo que contrasta con nuestra vía de estudio, por lo que quedaría demostrado que estos tratamientos llegan a tener buen comportamiento superficial en vías de bajo volumen de tránsito.

Por otro lado, la tabla 24 presenta el resumen de metrados e incidencia de todas las fallas superficiales con respecto a toda la extensión del tramo de estudio, siendo las fallas más predominantes el parcheo con 93.26% (1,588.16 m²) en la

severidad leve y muy por detrás la falla de exudación con 1.62% (27.59m²) en la severidad leve y el Ahuellamiento con 1.39% (23.70 m²) en la severidad baja. Tal como se muestra en la figura 73.

Tabla 24

Resumen de metrados e incidencias de las fallas superficiales

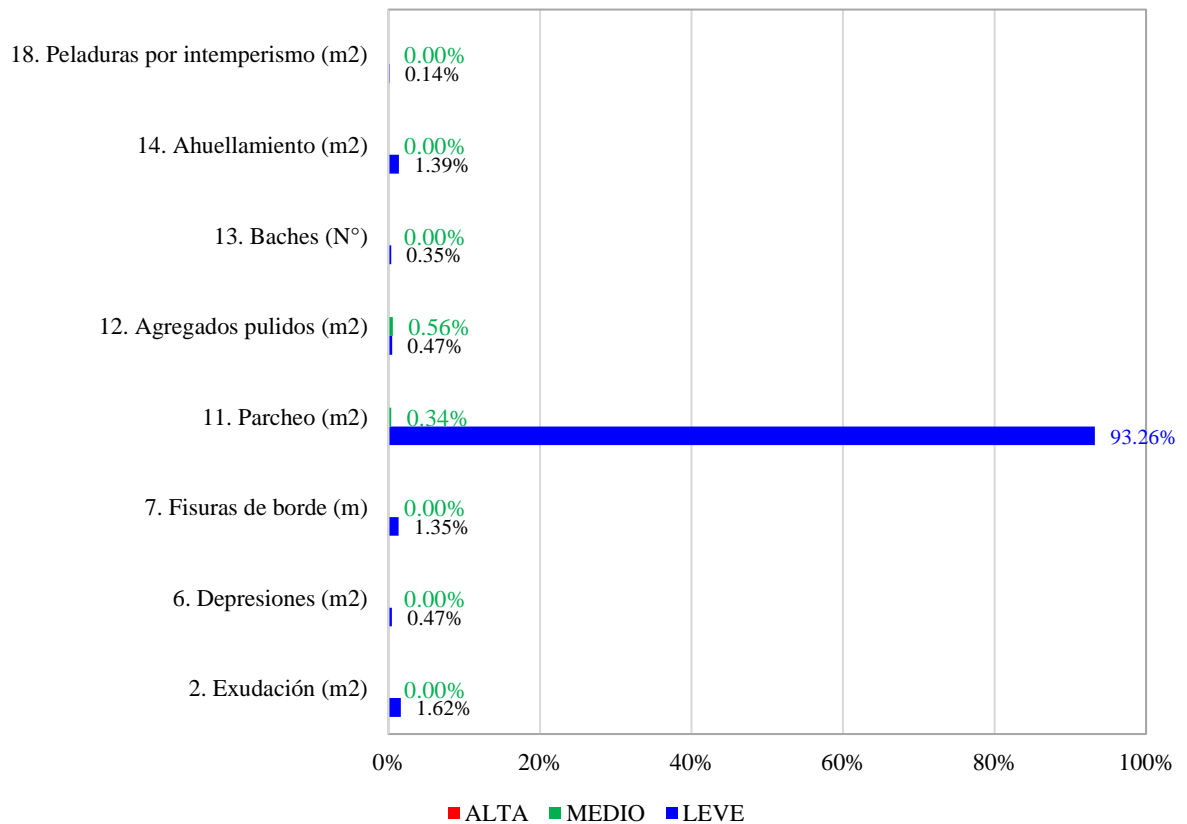
Manifestación del deterioro	Metrados			Incidencias (%)		
	Leve (L)	Medio (M)	Severo (H)	Leve	Medio	Alta
2. Exudación (m ²)	27.59	0.00	0.00	1.62%	0.00%	0.00%
6. Depresiones (m ²)	7.92	0.00	0.00	0.47%	0.00%	0.00%
7. Fisuras de borde (m)	23.00	0.00	0.00	1.35%	0.00%	0.00%
11. Parcheo (m ²)	1,588.16	5.84	0.00	93.26%	0.34%	0.00%
12. Agregados pulidos (m ²)	8.00	9.60	0.16	0.47%	0.56%	0.01%
13. Baches (N°)	6.00	0.00	0.00	0.35%	0.00%	0.00%
14. Ahuellamiento (m ²)	23.70	0.00	0.66	1.39%	0.00%	0.04%
18. Peladuras por intemperismo (m ²)	2.32	0.00	0.00	0.14%	0.00%	0.00%

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Cabe precisar, además, que la severidad que mayor incidencia ha tenido en cada falla es la severidad “leve”, evidenciando que la calificación obtenida por el tramo de estudio se debió en gran medida por este nivel de severidad, como se evidencia en la figura 73, esto muestra las buenas condiciones superficiales de la carretera, respecto a las patologías presentes en la carretera Lampa – Palca.

Figura 73

Porcentaje de incidencia de fallas superficiales

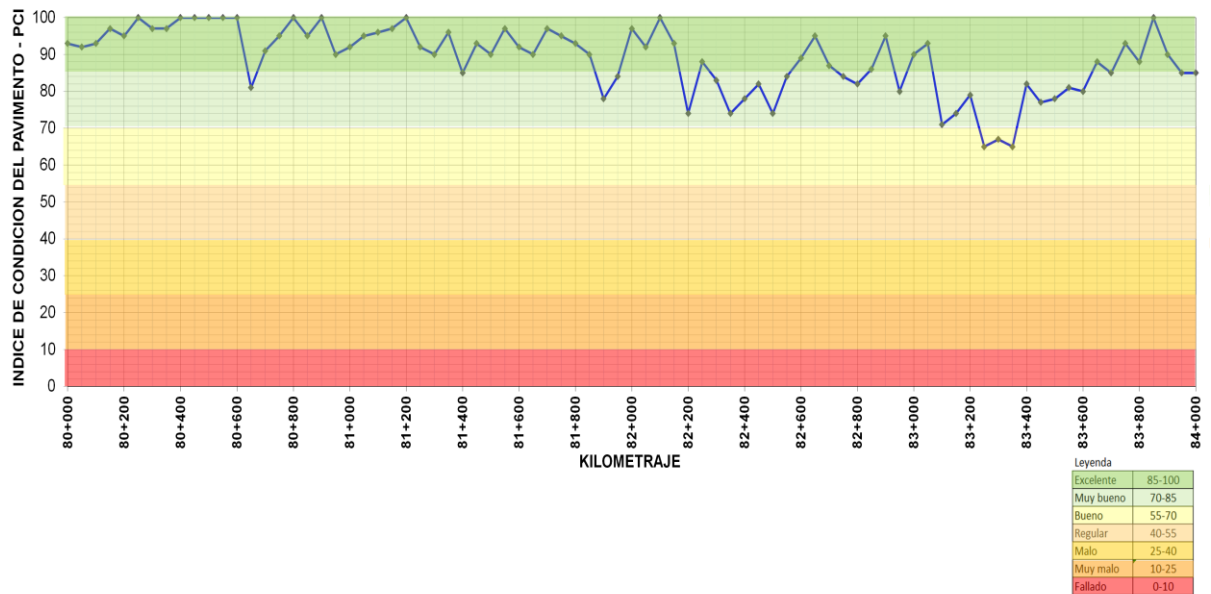


Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Asimismo, la figura 74 presenta el gráfico de evaluación del PCI obtenidos a lo largo del tramo de estudio, como se puede evidenciar, gran parte del tramo de evaluación se encuentra en el rango de calificación de “muy bueno” a “excelente”, solamente se obtuvo una categorización de “bueno” en el tramo del sector del km 83+250 al km 83+400 que representa 150 m de calificación “bueno”, esto debido a la presencia de bastantes parches en este sector.

Figura 74

Gráfico de evaluación del PCI



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

4.2. RESULTADOS DE IRI

De acuerdo a los datos recolectados a través de los formatos de evaluación (ANEXO B), la tabla 25 muestra la síntesis de la data del ensayo usando el Rugosímetro Merlín por carril derecho e izquierdo, para la evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para el tramo de estudio del km 80+000 al km 84+000 del tramo Lampa – Palca de la carretera PE-3SQ, exhibiendo así el IRI promedio del tramo de estudio de 3.55 m/km. En relación a los resultados de Ramos (2017) con un resultado 4.79 m/km de IRI en su carril derecho y 4.63 m/km en el carril izquierdo, perteneciendo a una carretera con un IMDa mayor a 400 veh/día, siendo ineficiente para este tipo de vía, sin embargo, en relación a nuestro tramo de estudio este se desempeña correctamente.

Tabla 25*Resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)*

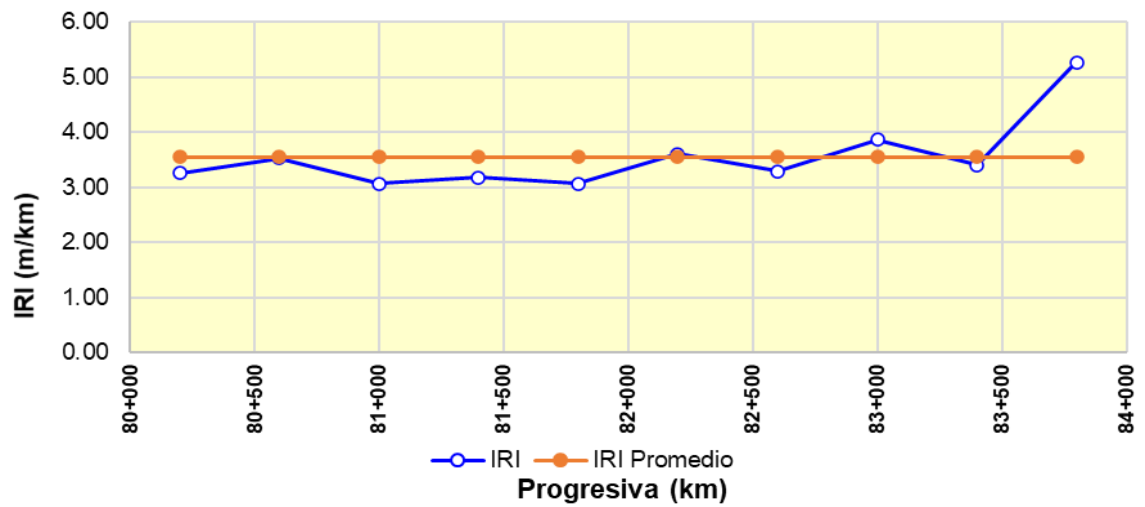
Sección	Progresiva		Long. Interv.	IRI (m/km)		IRI promedio (m/Km)
	Inicio	Fin		Carril der	Carril izq.	
	80+000	80+400	400.00	3.27	3.25	3.26
	80+400	80+800	400.00	3.27	3.80	3.54
	80+800	81+200	400.00	3.01	3.13	3.07
	81+200	81+600	400.00	3.16	3.19	3.18
Lampa	81+600	82+000	400.00	2.93	3.20	3.06
– Palca	82+000	82+400	400.00	3.76	3.45	3.60
	82+400	82+800	400.00	3.23	3.36	3.30
	82+800	83+200	400.00	3.91	3.82	3.86
	83+200	83+600	400.00	3.31	3.49	3.40
	83+600	84+000	400.00	5.30	5.23	5.27
Promedio IRI de tramo evaluado						3.55

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Por otro lado, en la figura 75 se puede visualizar la distribución del IRI cada 400 m para el tramo en estudio, obteniendo un valor del IRI promedio 3.55 m/km en la carretera Lampa – Palca del km 80+000 al 84+000, con valores de IRI entre 3.06 m/km y 5.27 m/km.

Figura 75

Gráfico de rugosidad IRI



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

4.2.1. Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Para definir el nivel de Serviciabilidad de la vía PE-3SQ tramo Lampa – Palca, se presenta en la tabla 26, que resume el nivel de serviciabilidad en el tramo de estudio para cada subtramo evaluado, considerando que el PSI se relaciona con el IRI.

Tabla 26

Resultados del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Sección	Progresiva		Long. Interv.	PSI	Nivel de serviciabilidad
	Inicio	Fin			
Lampa - Palca	80+000	80+400	400.00	2.78	Regular
	80+400	80+800	400.00	2.65	Regular
	80+800	81+200	400.00	2.88	Regular
	81+200	81+600	400.00	2.82	Regular
	81+600	82+000	400.00	2.88	Regular
	82+000	82+400	400.00	2.61	Regular
	82+400	82+800	400.00	2.76	Regular

Sección	Progresiva		Long. Interv.	PSI	Nivel de serviciabilidad
	Inicio	Fin			
	82+800	83+200	400.00	2.49	Regular
	83+200	83+600	400.00	2.71	Regular
	83+600	84+000	400.00	1.94	Mala

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Asimismo, en la tabla 27 se presenta a un resumen de estado de vía en relación con el IRI y el PSI, definiendo un PSI promedio de 2.62 que indicaría un nivel de Serviciabilidad de “regular”.

Tabla 27

Evaluación Funcional - IRI Tramo Lampa - Palca (Km 80+000 - 84+000)

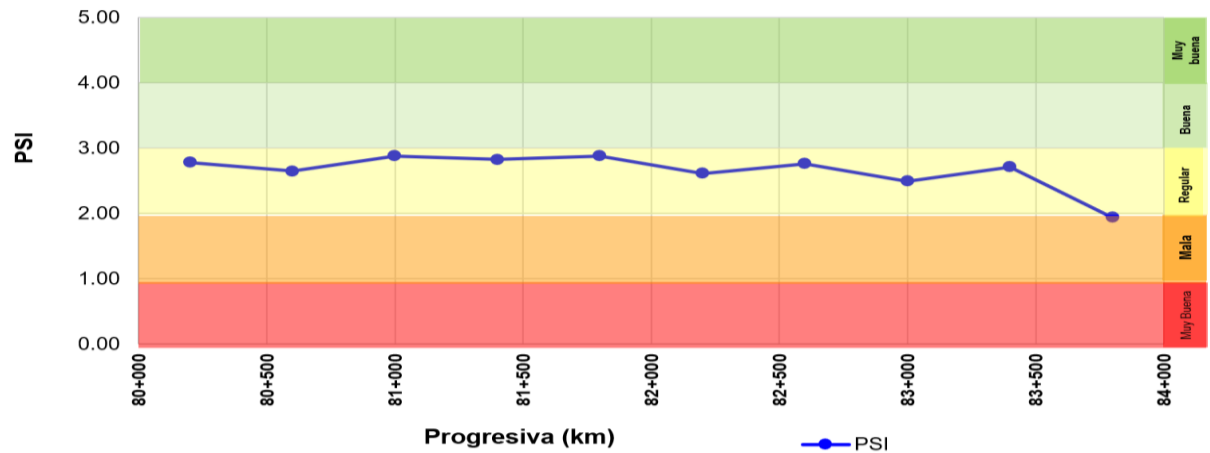
Valores estadísticos	IRI	IRI	IRI	PSI
	Carril derecho (m/km)	Carril izquierdo (m/km)	calzada (m/km)	Calzada
Promedio	3.52	3.59	3.55	2.62
Máximo	5.30	5.23	5.27	1.94
Mínimo	2.93	3.13	3.06	2.87

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Por otro lado, en la figura 76 se puede visualizar que los tramos evaluados presentan una condición funcional “regular”, demostrando así las buenas condiciones de la carretera y confort en la vía con solución Otta Seal, sin embargo, se evidencia un tramo con una condición funcional de “mala” del km 83+600 al 84+000 con un valor de PSI de 1.94 que muestra la baja confort en ese sector en relación al IRI.

Figura 76

Gráfico de Serviciabilidad PSI



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

4.3. RESULTADOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL

Siguiendo la metodología planteada se utilizó el ensayo de la Viga Benkelman para determinar las deflexiones del tramo de estudio Lampa - Palca de la carretera PE-3SQ.

4.3.1. Datos Recolectados con la Viga Benkelman

Estos formatos se encuentran en el ANEXO C, para su revisión detallada.

4.3.2. Resumen de los Resultados de la Viga Benkelman

Se presentan los resultados en la tabla 28 en base a los datos recolectados aplicando el formato de evaluación, presentando una deflexión admisible de 245 mm/100, las deflexiones por carriles derecho e izquierdo para la obtención de una deflexión promedio por progresiva evaluada cada 100 m, asimismo se presenta la deflexión característica de 126.9 mm/100.

Asimismo, la tabla 29 presenta el resumen de la ejecución del ensayo, obteniendo un promedio de deflexión de la carretera de 92 mm/100.

Tabla 28

Resultado de deflexión con Viga Benkelman

Und	Progresiva	Deflexión admisible (mm/100)	Deflexión carril derecho (mm/100)	Deflexión carril izquierdo (mm/100)	Deflexión promedio (mm/100)	Deflexión caract. (mm/100)
1	80+000	245	86	96	91	126.9
2	80+100	245	62	78	70	126.9
3	80+200	245	119	103	111	126.9
4	80+300	245	65	57	61	126.9
5	80+400	245	140	124	132	126.9
6	80+500	245	101	93	97	126.9
7	80+600	245	101	65	83	126.9
8	80+700	245	64	82	73	126.9
9	80+800	245	106	116	111	126.9
10	80+900	245	83	88	85	126.9
11	81+000	245	194	142	168	126.9
12	81+100	245	111	119	115	126.9
13	81+200	245	70	80	75	126.9
14	81+300	245	51	57	54	126.9
15	81+400	245	149	126	137	126.9
16	81+500	245	87	82	85	126.9
17	81+600	245	136	128	132	126.9
18	81+700	245	90	108	99	126.9
19	81+800	245	74	82	78	126.9
20	81+900	245	79	72	76	126.9
21	82+000	245	115	126	121	126.9
22	82+100	245	100	105	103	126.9



Und	Progresiva	Deflexión admisible (mm/100)	Deflexión carril derecho (mm/100)	Deflexión carril izquierdo (mm/100)	Deflexión promedio (mm/100)	Deflexión caract. (mm/100)
23	82+200	245	69	87	78	126.9
24	82+300	245	79	97	88	126.9
25	82+400	245	62	62	62	126.9
26	82+500	245	118	108	113	126.9
27	82+600	245	79	102	91	126.9
28	82+700	245	87	74	81	126.9
29	82+800	245	66	84	75	126.9
30	82+900	245	100	84	92	126.9
31	83+000	245	74	64	69	126.9
32	83+100	245	110	95	102	126.9
33	83+200	245	82	95	88	126.9
34	83+300	245	79	102	91	126.9
35	83+400	245	74	84	79	126.9
36	83+500	245	94	74	84	126.9
37	83+600	245	64	56	60	126.9
38	83+700	245	90	74	82	126.9
39	83+800	245	59	77	68	126.9
40	83+900	245	131	120	126	126.9
41	84+000	245	100	131	115	126.9

Nota: Creado por el equipo de colaboradores

Tabla 29

Resumen de evaluación estructural deflexiones

Valores estadísticos	Deflexión carril derecho (mm/100)	Deflexión carril izquierdo (mm/100)	Deflexión promedio (mm/100)
Máximo	193.5	141.9	167.7
Mínimo	51.4	56.2	53.8
Promedio	92.7	91.4	92.0

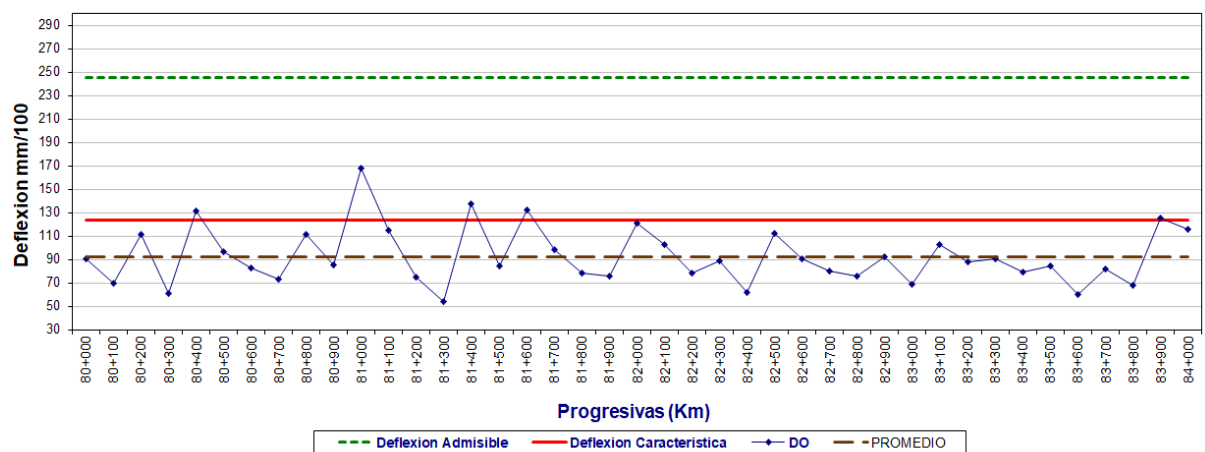
Nota: Creado por el equipo de colaboradores

En relación a los resultados de Ramos (2017) quien determinó un resultado 127.5 mm/100 en un pavimento con similares características, tiene similitud a los resultados obtenidos evidenciando de esta manera el buen desempeño del tratamiento Otta Seal.

Por otro lado, la figura 77 representa la gráfica de los valores de la evaluación estructural con e uso de la Viga Benkelman (Deflectograma), evidenciando que la deflexión característica (126.9 mm/100) y deflexión promedio (92 mm/100) no superan la deflexión admisible (245 mm/100), lo que supone un buen comportamiento estructural, por ende, se puede inferir en la carretera Lampa - Palca.

Figura 77

Deflectograma de tramo Palca – Lampa (km 80+000 – 84+000)



Nota: Creado por el equipo de colaboradores

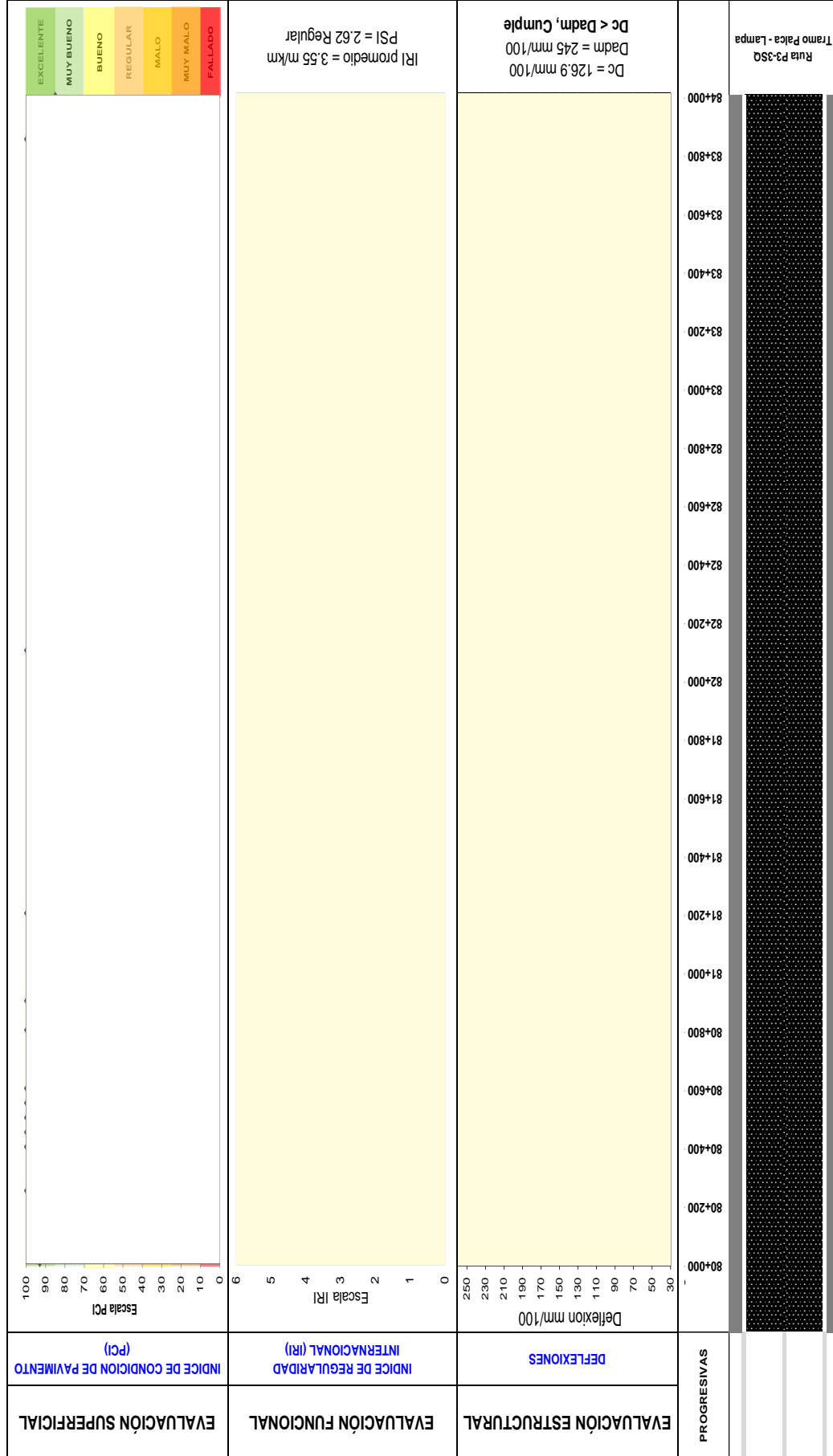


4.4. RESUMEN GENERAL DE EVALUACIÓN

En función de las tres evaluaciones, se presenta un diagrama de comparación (figura 78), para evaluar en conjunto el tramo de vía en estudio. La figura 78 presenta el resumen general de las evaluaciones (superficial, funcional y estructural) del tramo de estudio mediante métodos no destructivos. Se puede evidenciar que la en su mayoría la vía tiene buen comportamiento superficial, funcional y estructural, solamente el tramo del km 83+600 al 84+000 presenta un IRI promedio de 5.27 m/km que dentro de la escala IRI da “regular” a “mala”, sin embargo, estructuralmente, se muestra valores de deflexión característica inferior a la deflexión admisible, atribuyendo el alto valor de IRI al excesiva falla de parches que presenta la vía en esta sección de estudio, sin embargo, los parches según la metodología PCI, representan un tipo de falla no incidente por lo que en este sector de estudio el PCI oscila entre “excelente” a “muy bueno”, asimismo es importante señalar que al poseer buen comportamiento estructural sería mas conveniente realizar un trabajo de mantenimiento del pavimento y/o Recapeado de la sección indicada para no afectar la base del pavimento Otta Seal y solamente mejorar las condiciones de Serviciabilidad.

Figura 78

Esquema resumen de evaluación de pavimento Otta Seal



Nota: Creado por el equipo de colaboradores



V. CONCLUSIONES

- La evaluación de la condición superficial del tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023, determinó que, al realizar las evaluaciones del PCI, IRI y Deflectometría, los valores que presentan están por encima de los recomendados por el ASTM D6433-03 y el MTC-2013. Concluyendo de esta manera que el tratamiento superficial Otta Seal en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca tiene un excelente comportamiento a nivel de superficial y estructural, sin embargo, a nivel de comportamiento funcional se cuenta con un sector que el IRI no cumple lo especificado.
- De la evaluación del método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), se determinó que la condición superficial del mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa – Palca, es 89 de acuerdo a la tabla 23. Permitiendo calificar de esta manera la condición superficial como EXCELENTE según el ASTM D6433-03, planteando así un mantenimiento preventivo y rutinario, para mantener las adecuadas condiciones del pavimento.
- De la evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), se determinó estadísticamente que la condición funcional del mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa – Palca, es 3.55 m/km según se detalla en la tabla 21. Con este valor se concluye que el pavimento evaluado cumple con los requerimientos presentes en el cuadro 12.21 del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, por ende, el IRI que tiene el pavimento es eficiente, sin embargo, se cuenta con un pequeño sector donde el IRI no cumple con lo especificado. Por otro lado, se correlaciona el valor del IRI mediante el valor del PSI, obteniendo un valor



de 2.62, por lo que presenta una condición funcional de “regular” que indicaría una intervención con algún tratamiento en el sector crítico del pavimento.

- Sobre la evaluación estructural con la Viga Benkelman, se determinó que la condición estructural del mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa – Palca, obteniendo una deflexión promedio de 92.0 mm/100, una deflexión característica de 126.9 mm/100 y una deflexión admisible de 245 mm/100 según se detalla en la tabla 25. Apreciándose que la deflexión característica está muy por debajo de la deflexión admisible que indica el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” 245.0 mm/100 (ver tabla N ° 24). Lo que refiere a que el pavimento se encuentra en excelentes condiciones estructurales y requiriendo únicamente de un mantenimiento preventivo de la superficie del pavimento.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un control periódico y constante a las vías con tratamientos superficiales como el Otta Seal para poder dar atención oportuna al pavimento, planteando eficientes estrategias de mantenimiento ampliando así el periodo de vida de los pavimentos.
- Se recomienda ejecutar mayores investigaciones sobre el tema de evaluación mediante métodos no destructivos de pavimentos flexibles, principalmente enfocados a los tratamientos superficiales debido a que estos pertenecen a los “pavimentos económicos”, al ser estas soluciones técnica y económicamente viables. Y empiezan a tener mayor inserción en los proyectos viales de la actualidad.
- Se recomienda continuar con las evaluaciones completas del estado del pavimento, debida a que gracias a esta se logran plantear mejores estrategias de mantenimiento, ampliando la vida útil de los pavimentos llegando así a ser económicamente viables.
- Se sugiere explorar más a fondo los aspectos técnicos y científicos relacionados con el tratamiento Otta Seal y su aplicabilidad en diferentes contextos geográficos y de tráfico.
- Se recomienda continuar con la investigación de las evaluaciones con métodos no destructivos en pavimentos, como su aplicación sobre los distintos tratamientos superficiales por su rapidez y practicidad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almanza, D. (2014). *Evaluación del modelo "Quater Car" para la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo Huancavelica - Santa Inés*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres A.C. (2017). Equipo para la medición del Índice Internacional de Rugosidad. *Vías Terrestres*, 48.
- ASTM D-4696-03. (1987). *Guía estandar para mediciones generales de deflexión del pavimento*. ASTM.
- ASTM: D6433-03. (2004). *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos*. ASTM.
- Balarezo, J. (2017). *Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento*. Piura: Universidad de Piura.
- Bañon, L., & Bevía, J. (2000). *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento*. Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana.
- Beltrán, G., & Romo, M. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 391-402.
- Bonifacio, J. (2022). *Evaluación de la capacidad estructural del pavimento flexible de la carretera Atuncolla - complejo arqueológico Sillustani – 2020*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Ceylan, H. (2018). *Evaluation of Otta Seal Surfacing for Low-Volume Roads in Iowa*. PROSPER. Iowa State University. Institute for Transportation.
- Chillitupa, S., & Palma, K. (2021). *Modelo de evaluación visual en tratamientos superficiales, para la obtención del índice de condición de pavimentos económicos*. Universidad Ricardo Palma.



- Chipana, M., & Sanca, R. (2022). *Tratamiento superficial para el mejoramiento de la serviciabilidad aplicando Otta Seal en la carretera nacional Arapa – Chupa, Puno - 2022*. Trujillo: Universidad César Vallejo.
- Corros, M., Urbáez, E., & Corredor, G. (2009). *Manual de Evaluación de Pavimentos*. Universidad Nacional de Ingeniería. Venezuela.
- Cundill, M. (1991). *The MERLIN low-cost road roughness measuring machine*. Transport And Road Research Laboratory.
- Del Águila, P. (1999). *Metodología para la determinación de rugosidad de pavimentos*. Lima: Camineros S.A.C.
- Gutiérrez, W. (2016). *Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte*. Lima: Editorial Macro.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de Mexico : McGraw Hill.
- Higuera, C. (2007). *Mecánica de pavimentos. Principios básicos*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Huamán, H., & Oscco, R. (2021). *Análisis del tratamiento de la superficie asfáltica aplicando técnica : Otta Seal para mejorar la transitabilidad en carretera Andahuaylas- Negromayo, 2020*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Jibon, M., Mahedi, M., Yang, B., Ceilán, H., & Kim, S. (2023). Evaluating and modeling aggregate loss of Otta Seal for low-volume roads. *ELSEVIER*, 389, 2441-2448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132467>
- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez Blanco, V., & Del Val, M. (2004). *Ingeniería de Carreteras Volumen II*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Kröger, I., & Kröger, S. (2020). *Tratamientos Superficiales de Alto Desempeño*. Montevideo: Grupo BItafal.
- Linares, L. (2021). *Evaluación y diagnóstico del estado del pavimento flexible utilizando la metodología PCI y la viga Benkelman en la Av. Confraternidad en*



el PP JJ Ricardo Palma en la ciudad de Chiclayo. Lima: Universidad San Martín de Porres.

Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de pavimentos. Materiales, diseño y conservación*. Lima: Instituto de Gerencia y Construcción (ICG).

Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Lima: Dirección General de Inversión Pública-DGIP.

Ministerio de Transportes República de Colombia. (2008). *Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras*. Bogotá: Ministerio de Transportes República de Colombia.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial (2013)*. Lima: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras. Suelos, geología y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Lima: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022). *Anuario estadístico 2022*. Lima: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). *Plan Operativo Institucional 2023*. Lima: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales. Subsección MTC E 1002*. Lima: MTC.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Nahvi, A., Zhang, Y., Arabzadeh, A., Gushgari, S., Ceylan, H., Jähren, C., Gransberg, D., & Kim, S. (2019). Economics of Upgrading Gravel Roads to Otta Seal Surface. *Applied Economics*, 90-98.

<https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1602712>



- Overby, C. (1999). *A Guide to the use of Otta Seal*. Oslo: Norwegian Public Roads Administration.
- Pacco, D. (2023). *Aplicación de la técnica Otta Seal para mejorar la transitabilidad de la ruta PE.34R del Km 04+086 al Km 34+500, carretera Arapa - Azangaro, 2022*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Productos Asfálticos, S.A. (PROAS). (2011). *Vademécun de pavimentación*. España: PROAS Betunes CEPSA.
- Ramírez, Á. (2020). *Evaluación técnica de costo entre los tratamientos superficiales Otta Seal y Slurry Seal, para carreteras de bajo volumen de tránsito en el departamento de San Martín - 2019*. Universidad Científica del Perú.
- Ramos Vilca, W. (2017). *Evaluación del Estado del Pavimento por Deflectometría e Índice de Rugosidad Internacional de la carretera: Puno-Vilque-Mañazo-4 Km críticos - 2015*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Romero, G. (12 de Junio de 2019). *Los niveles de servicio y la gestión de la infraestructura vial*. LinkedIn: https://es.linkedin.com/pulse/los-niveles-de-servicio-y-la-gesti%C3%B3n-infraestructura-vial-romero?trk=portfolio_article-card_title
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos Materiales, Construcción y Diseño*. Bogota: ECOE.
- Sanchez, F. (1984). *Fundamentos Teóricos Guías para el Diseño*. Bogotá: Universidad la Gran Colombia.
- Vaitkus, A., Vorobjovás, V., Tuminiene, F., & Gražulytė, J. (2016). Experience in Rehabilitation of Low-volume Roads Using Soft Asphalt and Otta Seal Technologies. *ELSEVIER*, 14, 2441-2448.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.292>
- Vásquez, L. (2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras*. Manizales: INGEPAV Ingeniería de Pavimentos.



Vilca, R., & Cuba, A. (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*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Yang, B., Zhang, Y., Kim, S., & Ceylan, H. (2022). Field Evaluation of Using Slag as Aggregates for Otta Seal Surfacing. *Advances in Transportation Geotechnics, IV*, 475-487. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77230-7_36



ANEXOS

ANEXO A: Resultados de PCI

ANEXO B: Resultados de IRI

ANEXO C: Resultados Viga Benkelman

ANEXO D: Ábacos de PCI

ANEXO E: Panel fotográfico

ANEXO F: Certificado de calibración de equipos

ANEXO G: Planos del tramo en estudio

ANEXO H: Conteo de estudio de tráfico

ANEXO I: Matriz de consistencia