

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“DETERMINACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA VECINAL CA-1071: ROL DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN EL TRAMO TARTAR CHICO - EMPALME 08-B, BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Cristian Paúl Lucano Garro

ASESOR:

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** Cristian Paúl Lucano Garro
DNI: 72455422
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
2. **Asesor:** M.T Alejandro Cubas Becerra
Facultad: Ingeniería
3. **Grado académico o título profesional**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. **Título de Trabajo de Investigación:**
DETERMINACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA VECINAL CA-1071: ROL DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN EL TRAMO TARTAR CHICO - EMPALME 08-B, BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA
6. **Fecha de evaluación:** 18 de febrero del 2026
7. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 13%
9. **Código Documento:** oid:::3117:558453546
10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19 de febrero del 2026



FIRMA DEL ASESOR

Alejandro Cubas Becerra

DNI: 26623287



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258801 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 19/02/2026 19:45:21-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0105-2026

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **tres días del mes de marzo de 2026**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Vocal : M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Secretario : Ing. William Próspero Quiroz Gonzales.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **DETERMINACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA VECINAL CA-1071: ROL DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN EL TRAMO TARTAR CHICO – EMPALME 08-B, BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA**, presentado por el Bachiller Ingeniería Civil **CRISTIAN PAÚL LUCANO GARRO**, asesorado por el M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ⁰⁶ PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : ¹² PTS.
EVALUACIÓN FINAL : ¹⁸ PTS. ^{DIECIOCHO} (En letras)

En consecuencia, se lo declara ^{APROBADO} con el calificativo de ^{DIECIOCHO (18)} acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ^{11:00} horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

M. en I. Ing. José Benjamín Torres Tafur.
Presidente

M.Cs. Ing. Sergio Manuel Huamán Sangay.
Vocal

Ing. William Próspero Quiroz Gonzales.
Secretario

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

COPYRIGHT © 2026 by
CRISTIAN PAÚL LUCANO GARRO
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Luz Garro y a mi padre, Olegario Lucano, por su ejemplo de esfuerzo y perseverancia, y por brindarme siempre el apoyo emocional y material necesario para alcanzar mis metas.

A mi hermana, Cintia Lucano, por sus palabras de aliento y por el genuino interés que ha mostrado por mi bienestar personal y profesional a lo largo de este camino.

AGRADECIMIENTO

A Dios Altísimo, por ser mi fortaleza constante y brindarme la tranquilidad y la fuerza necesaria en cada paso que he dado para alcanzar mis metas personales y profesionales.

Al M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, por su valioso asesoramiento, disposición y apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.

A la Mcs. en Ing. Mayra Rodríguez, por sus palabras de motivación y su acampamiento a lo largo del proceso hasta la culminación de este proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.1.1 Contextualización	16
1.1.2 Descripción del problema	19
1.1.3 Formulación del problema	20
1.1.4 Hipótesis general.....	20
1.2 Justificación e importancia	20
1.2.1 Justificación científica	20
1.2.2 Justificación técnica – práctica	21
1.3 Delimitación de la investigación.....	23
1.4 Limitaciones.....	24
1.5 Objetivos	24
1.5.1 Objetivo general.....	24
1.5.2 Objetivos específicos	25
1.6 Descripción del contenido.....	25
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	29
2.1 Antecedentes teóricos de la investigación	29
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	29
2.1.2 Antecedentes nacionales	30

2.1.3 Antecedentes locales	31
2.2 Bases Teóricas	33
2.2.1 Carretera.....	33
2.2.1.1 Jerarquización vial	33
2.2.1.2 Clasificación de las carreteras del Perú	34
2.2.1.2.1 Clasificación por demanda.....	34
2.2.1.2.2 Clasificación por orografía:	36
2.2.2 Pavimento	37
2.2.2.1 Tipos de pavimentos	37
2.2.2.2 Evaluación del pavimento.....	38
2.2.3 Rugosidad	39
2.2.3.1 Medición de la rugosidad.....	40
2.2.3.2 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	42
2.2.3.3 Rangos del IRI para evaluación de la superficie de rodadura.....	43
2.2.3.3.1 Valores admisibles del IRI en Perú.....	45
2.2.3.4 Clasificación de los equipos de medición.....	47
2.2.4 Serviciabilidad	52
2.2.4.1 Rugosímetro de MERLIN.....	53
2.2.4.1.1 Reseña histórica	53
2.2.4.1.2 Aspecto general del MERLIN	54
2.2.4.1.3 Principio de funcionamiento.	55
2.2.4.1.4 Método de uso.....	56
2.2.4.1.5 Correlaciones IRI – MERLIN.....	56
2.2.4.1.6 Método para el cálculo de la rugosidad.	57
2.2.4.1.7 Limitantes del MERLIN	60

2.2.5 Definición de términos básicos	60
3 CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	63
3.1 Ubicación geográfica	63
3.2 Tiempo de desarrollo de la investigación.	65
3.3 Metodología	65
3.3.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación	65
3.3.2 Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación	65
3.3.3 Técnicas e Instrumentos de recopilación de información.....	67
3.3.3.1 Técnicas de recolección de datos	67
3.3.3.2 Instrumentos de recolección de datos	67
3.4 Procedimiento	68
3.4.1 Fase I: Inspección visual y depuración del Tramo.....	68
3.4.2 Fase II: Levantamiento topográfico	70
3.4.3 Fase III: Estudio del tráfico, jerarquización y clasificación vial:	73
3.4.3.1 Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDs).....	73
3.4.3.2 Cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA)	74
3.4.3.3 Jerarquización y Clasificación Vial.	76
3.4.4 Fase IV: Ejecución de los ensayos con el MERLIN.....	77
3.4.4.1 Medición de la rugosidad de la superficie de rodadura	77
3.5 Matriz de operacionalización de variables.....	79
3.6 Matriz de consistencia.....	80
3.6.1 Fase V: Cálculos	81
3.6.1.1 Cálculo de la Rugosidad	81
3.6.1.2 Determinación de la Rugosidad en Escala IRI	85
3.6.1.3 Cálculo del IRI Característico (IRIc).....	85

3.7 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados.....	86
3.7.1 Tratamiento y análisis de datos.....	86
3.7.2 Análisis de las unidades de muestras tomadas.....	86
3.7.2.1 Tramo 01: km 0+000 al km 0+425	87
3.7.2.2 Tramo 02: km 0+425 al km 0+827.50	88
3.7.2.3 Tramo 03: km 0+827.50 al km 1+227.50	89
3.7.3 Tratamiento y análisis de datos de cada unidad de la muestra	89
3.7.4 Presentación de Resultados.....	90
3.7.4.1 Resultados del IRI.....	90
3.7.4.2 Índice de Rugosidad Internacional Característico (IRIc) del tramo evaluado	106
4 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	109
4.1 ANALISIS DE RESULTADOS	109
4.1.1 Análisis del IRI característico en relación con el IRI admisible.....	109
4.1.2 Análisis de los resultados según la clasificación del IRI	110
4.1.3 Análisis de los Resultados del IRI Característico para el carril derecho y carril izquierdo	114
4.1.4 Análisis de los Resultados del IRI Característico para el tramo Tartar Chico- Empalme 08-B	115
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	115
4.2.1 Discusión de resultados contrastados con la hipótesis.....	115
4.2.2 Discusión de resultados contrastados con los antecedentes teóricos	116
5 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1 Conclusiones	120
5.1.1 Conclusión general.....	120

5.1.2 Conclusiones específicas	120
5.2 Recomendaciones	121
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
7 ANEXOS:	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos del IRI para diferentes condiciones de una superficie de rodadura..	45
Tabla 2 IRI (m/km) según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente	47
Tabla 3 Clasificación de equipos de medición de rugosidad	48
Tabla 4 Equipos de medición y sus características	51
Tabla 5 Coordenadas de los Puntos Inicial y Final del Tramo de Estudio	63
Tabla 6 Tramos Evaluados, Progresivas y Número de Lecturas Realizadas	66
Tabla 7 Singularidades presentadas en el Tramo.....	69
Tabla 8 Conteo Vehicular (21 – 27 de octubre de 2024).....	74
Tabla 9 Desviación Estándar del Conteo Semanal de Vehículos	75
Tabla 10 Matriz de Operacionalización de variables.....	79
Tabla 11 Matriz de Consistencia	80
Tabla 12 Cálculo del Factor de Corrección	83
Tabla 13 Unidades de Análisis por Muestra.....	90
Tabla 14 Resultados de Rugosidad para el Carril Derecho.....	103
Tabla 15 Resultados de Rugosidad para el Carril Izquierdo	104
Tabla 16 IRI (m/km) del tramo evaluado	105
Tabla 17 IRI Característico por tramos del Carril Derecho	106
Tabla 18 IRI Característico por tramos del Carril Izquierdo	106
Tabla 19 IRI característico del carril derecho	107
Tabla 20 IRI Característico del Carril Izquierdo	107
Tabla 21 IRI Característico del Tramo Tartar Chico-Empalme 08-B	108
Tabla 22 Clasificación de los tramos del Carril Derecho	111
Tabla 23 Clasificación de los tramos del Carril Izquierdo	112
Tabla 24 Clasificación por carril	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Perfiles del pavimento</i>	41
Figura 2 <i>Perfil de una huella de pavimento medido con perfilómetro láser</i>	41
Figura 3 <i>Escalas de IRI por tipo de pavimento y condición de servicio</i>	44
Figura 4 <i>Perfilómetro inercial Láser RSP MK-III en operación</i>	49
Figura 5 <i>Perfilómetro tipo California (CS8500 Bridge Profilograph)</i>	50
Figura 6 <i>Medición del IRI mediante Bump Integrator</i>	50
Figura 7 <i>Perfilómetro MERLIN</i>	51
Figura 8 <i>Esquema general del MERLIN</i>	54
Figura 9 <i>Medición de la desviación de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio</i>	55
Figura 10 <i>Ubicación del Tramo de Estudio: CA-1071 (C.P. Tartar Chico – Empalme 08-B)</i>	64
Figura 11 <i>Sección Típica del Tramo Tartar Chico-Empalme PE-B</i>	72
Figura 12 <i>Identificación de Carriles y Huellas de Rodadura para medición con MERLIN</i>	73
Figura 13 <i>Formato de Campo para Registro de Mediciones</i>	78
Figura 14 <i>Cálculo del rango “D” para el Carril Izquierdo Huella Interna del km 0+00 al km 0+425.</i>	82
Figura 15 <i>Badén de concreto de 20.50m de longitud</i>	87
Figura 16 <i>Giba de 2.50m de ancho</i>	88
Figura 17 <i>Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U1 Carril Derecho Huella Externa</i>	91
Figura 18 <i>Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U2 Carril Derecho Huella Interna</i>	92
Figura 19 <i>Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U3 Carril Izquierdo Huella Externa</i>	93
Figura 20 <i>Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U4 Carril Izquierdo Huella Interna</i>	94
Figura 21 <i>Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U5 Carril Derecho Huella Externa</i>	95
Figura 22 <i>Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U6 Carril Derecho Huella Interna</i>	96

Figura 23 Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U7 Carril Izquierdo Huella Externa.....	97
Figura 24 Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U8 Carril Izquierdo Huella Interna.....	98
Figura 25 Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U9 Carril Derecho Huella Externa.....	99
Figura 26 Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U10 Carril Derecho Huella Interna.....	100
Figura 27 Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U11 Carril Izquierdo Huella Externa.....	101
Figura 28 Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U12 Carril Izquierdo Huella Interna.....	102
Figura 29 IRI Característico por tramo y carril.....	109
Figura 30 Registro fotográfico- Punto Inicial del Tramo: km00+000 (referencia: IE N°82133 -Tartar Chico).....	128
Figura 31 Registro fotográfico- Tramo 01(km 00+000 – km 00+425): Baches en Carril Izquierdo	128
Figura 32 Registro fotográfico- Tramo 01: Baches en Carril Izquierdo.....	129
Figura 33 Registro fotográfico- Reductor de Velocidad en km 00+033.30 (Tramo 01)	129
Figura 34 Registro fotográfico - Badén de Concreto desde el km 00+353.40 hasta el km 00+373.90 (Tramo 01).....	130
Figura 35 Registro fotográfico - Inicio del Tramo 02(km 00+425-km 00+827.50)..	130
Figura 36 Registro fotográfico - Tramo 02: Bache en Carril Izquierdo	131
Figura 37 Registro fotográfico - Parche en mal estado en el km 00+565.80 (Tramo 02)	131
Figura 38 Registro fotográfico - Desgaste de la Superficie de Rodadura y material suelto por arrastre en la Intersección de la Vía (Tramo 02).....	132
Figura 39 Registro fotográfico - Cunetas Colmatadas a lo largo del Tramo 02.....	132
Figura 40 Registro fotográfico - Tramo 02: Baches en Carril Derecho	133
Figura 41 Registro fotográfico - Tramo 03(km 00+827.50- km 1+227.50): Baches y cunetas colmatas en ambos carriles	133
Figura 42 Registro fotográfico - Bache (Tramo 03)	134
Figura 43 Registro fotográfico - Parche en mal estado (Tramo 03)	134

Figura 44 Registro fotográfico- Punto Final del Tramo: km 01+286.16 (referencia: Empalme PE-08B)	135
Figura 45 Registro fotográfico - Levantamiento Topográfico en la zona de Inicio del Tramo	135
Figura 46 Registro fotográfico - Levantamiento Topográfico del Tramo en Estudio	136
Figura 47 Registro fotográfico - Levantamiento Topográfico en la Zona Final del Tramo	136
Figura 48 Registro fotográfico - Conteo Vehicular en paradero	137
Figura 49 Registro fotográfico - Conteo Vehicular	137
Figura 50 Registro fotográfico - Vista General del equipo MERLIN utilizado para los Ensayos	138
Figura 51 Registro fotográfico - Primer plano del Patín Móvil ubicado a 10 cm.....	138
Figura 52 Registro fotográfico - Mediciones para hallar el Factor de Corrección..	139
Figura 53 Registro fotográfico - Inicio del Ensayo con el Rugosímetro MERLIN....	139
Figura 54 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Derecho (Huella Externa).....	140
Figura 55 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Derecho (Huella Interna)	140
Figura 56 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Izquierdo (Huella Interna)	141
Figura 57 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Derecho (Huella Externa).....	141
Figura 58 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Derecho (Huella Externa).....	142
Figura 59 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Derecho (Huella Interna)	142
Figura 60 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Izquierdo (Huella Externa).....	143
Figura 61 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Izquierdo (Huella Interna)	143
Figura 62 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Derecho (Huella Externa).....	144
Figura 63 Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Derecho (Huella Interna)	144

Figura 64 <i>Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Izquierdo (Huella Interna)</i>	145
Figura 65 <i>Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Izquierdo (Huella Externa)</i>	145

RESUMEN

La investigación se abordó por el deterioro funcional y la ausencia de diagnósticos técnicos actualizados en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, en el distrito de Baños del Inca, provincia y región Cajamarca, lo cual afectaba la seguridad y el confort de los usuarios. El objetivo general consistió en determinar el estado superficial del pavimento flexible mediante el análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Para ello, se empleó una metodología cuantitativa y descriptiva que utilizó el rugosímetro MERLIN para recolectar 2400 lecturas a lo largo de 1285.02 metros, complementada con un levantamiento topográfico y un estudio de tráfico. Los resultados revelaron un IRI promedio de 3.60 m/km y un IRI característico (IRI_c) global de 4.12 m/km, lo que permitió clasificar la vía en condición “mala” basándose en dos criterios fundamentales: su ubicación dentro del rango de 3.6 a 6.4 de la clasificación AASHTO, y el incumplimiento del límite máximo de IRI admisible de 4.0 m/km establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú para carreteras de segunda clases durante el periodo de servicio. En consecuencia, se confirmó la hipótesis planteada y se recomendó la ejecución de un plan de conservación vial que priorizara el mantenimiento preventivo y la rehabilitación estructural de los segmentos con mayor rugosidad para garantizar la durabilidad de la infraestructura.

Palabras clave: Pavimento flexible, IRI, Evaluación funcional y Método MERLIN

ABSTRACT

The research addressed the functional deterioration and the lack of updated technical assessments on the Tartar Chico – Empalme 08-B section of the CA-1071 rural road, located in the district of Baños del Inca, province and region of Cajamarca, which affected user safety and comfort. The main objective was to determine the surface condition of the flexible pavement through the analysis of the International Roughness Index (IRI). To achieve this, a quantitative and descriptive methodology was applied using the MERLIN roughness meter to collect 2,400 readings along 1,285.02 meters, complemented by a topographic survey and a traffic study. The results revealed an average IRI of 3.60 m/km and a global characteristic IRI (IRI_c) of 4.12 m/km, which allowed the road to be classified as being in “poor” condition based on two fundamental criteria: its position within the 3.6 to 6.4 range of the AASHTO classification and the exceedance of the maximum allowable IRI limit of 4.0 m/km established by the Peruvian Ministry of Transport and Communications for second-class roads during the service period. Consequently, the proposed hypothesis was confirmed, and the implementation of a road conservation plan was recommended, prioritizing preventive maintenance and structural rehabilitation of the segments with the highest roughness to ensure the durability of the infrastructure.

Keywords: Flexible pavement, IRI, Functional assessment, and MERLIN Method

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Contextualización

A nivel internacional, el deterioro del estado superficial del pavimento flexible representa un problema recurrente en diversas redes viales debido al incremento del tránsito y a la insuficiente conservación de carreteras. En Estados Unidos, por ejemplo, se reporta que aproximadamente 43% de las vías públicas presentan condiciones regulares o deficientes, evidenciando irregularidades superficiales que afectan la calidad de rodadura y seguridad vial. En este contexto, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se emplea como indicador técnico para evaluar la funcionalidad del pavimento y priorizar intervenciones de mantenimiento, permitiendo medir objetivamente la pérdida de uniformidad superficial y su impacto en la transitabilidad (ASCE, 2021).

De manera similar, evaluaciones en carreteras rurales y secundarias de países como Estados Unidos, India y China muestran que una proporción significativa de vías presenta deterioro funcional debido al mantenimiento insuficiente, reflejado en mayores valores de rugosidad superficial. Reportes técnicos indican que en zonas rurales estadounidenses 12% de las vías principales se encuentran en mal estado y 19% en condición mediocre, lo que evidencia incrementos en el IRI asociados a deformaciones y fallas superficiales. Esta situación ha llevado a organismos técnicos internacionales a recomendar el uso del IRI como herramienta clave para monitorear el estado funcional del pavimento y optimizar la gestión de la infraestructura vial (TRIP, 2022).

En Latinoamérica, diversos informes periodísticos y técnicos evidencian que múltiples tramos carreteros presentan mal estado del pavimento, reflejado en superficies con baches, fisuras y deterioros superficiales que afectan la seguridad vial y la movilidad. Por ejemplo, en Guatemala se reportaron más de 120 tramos en muy mal estado y en México expertos han advertido que las condiciones de carreteras federales deterioradas elevan costos y riesgos para el transporte, lo que sugiere la presencia de irregularidades de superficie que podrían evaluarse mediante el IRI (Prensa Libre, 2025; Contravia, 2024).

Asimismo, estudios técnicos en Sudamérica evidencian que gran parte de las carreteras rurales presenta deterioros funcionales debido a la falta de programas sostenidos de conservación vial. En Colombia, por ejemplo, reportes sectoriales indican que cerca del 60% de ciertos corredores viales evaluados presentan condiciones deficientes, situación que refleja incrementos de rugosidad superficial y pérdida del confort de rodadura. Esta problemática demuestra la necesidad de aplicar evaluaciones funcionales mediante indicadores como el IRI para identificar oportunamente fallas superficiales y optimizar la gestión de mantenimiento vial. En consecuencia, resulta necesario desarrollar estudios locales que relacionen la rugosidad y el estado superficial del pavimento para mejorar la planificación de intervenciones viales (Bloomberg Línea, 2024).

El sistema vial en Perú tiene un rol de importancia estratégica en la integración territorial y el desarrollo económico de las áreas rurales y urbanas. Más del 68 % de la infraestructura de transporte terrestre corresponde a la Red Vial Vecinal que es la que asegura el acceso de las áreas rurales a los sitios de producción, servicios y mercados. En los últimos años, debido al envejecimiento del pavimento, al aumento del tránsito

vehicular, a condiciones climáticas adversas y a un limitado esquema de gestión y financiamiento del mantenimiento vial, se ha identificado una importante proporción que presenta deterioro funcional (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú [MTC], 2025).

En consecuencia, es fundamental la evaluación técnica de la condición de los pavimentos para sustentar las decisiones de conservación e intervención de la infraestructura vial. A este respecto, el IRI, conocido como Índice de Rugosidad Internacional, es el indicador técnico hegemónico para tal fin, dado que permite medir la irregularidad longitudinal en la superficie de rodadura (Chen et al., 2022). Ha sido normativamente adoptado por el MTC y validado internacionalmente por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) como un parámetro confiable para la evaluación funcional del pavimento. Asimismo, para carreteras de bajo volumen de tránsito se ha establecido como estándar internacional el uso del rugosímetro MERLIN como un método práctico para medir y estimar el IRI por su operatividad y bajo costo (Cundill, 1991).

En el distrito de Baños del Inca, provincia de la región Cajamarca, se encuentra el tramo comprendido entre Tartar Chico y Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, uno de los ejes viales fundamentales para el fortalecimiento de la conectividad rural y el progreso económico local. A pesar de ello, actualmente la falta de un diagnóstico técnico vigente para evaluar el estado funcional del pavimento, a través del Índice de Rugosidad Internacional, genera desinformación y dudas sobre cómo priorizar el mantenimiento de dicha vía. Como resultado, la atención al usuario vial cae en picada.

Ante esta situación, la presente investigación tiene como propósito analizar el rol del Índice de Rugosidad Internacional como herramienta de diagnóstico funcional del pavimento flexible, con el fin de aportar información técnica objetiva que respalde la toma de decisiones en materia de conservación vial. La falta de evaluaciones sistemáticas limita la eficiencia de la gestión pública del mantenimiento de la infraestructura, por lo que este estudio contribuye a cerrar dicha brecha técnica en un tramo vial de alta relevancia social y económica para la zona.

1.1.2 Descripción del problema

La carretera vecinal CA-1071, específicamente el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B, localizada en el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, es una vía que, con el transcurrir de los años, ha visto deteriorada la calidad de su pavimento flexible. Sin embargo, no existen registros de evaluaciones técnicas debidamente actualizadas que permitan un diagnóstico certero respecto al estado superficial generado en el pavimento. Este tramo, siendo parte de la infraestructura vial rural, es crucial para la conectividad de la zona y el transporte de bienes y personas. La falta de estudios técnicos sobre la rugosidad del pavimento afecta la capacidad para tomar decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias para su mantenimiento. Además, el deterioro del pavimento puede influir negativamente en la seguridad vial, el confort de los conductores y la vida útil de la carretera. Por lo tanto, es fundamental realizar la evaluación del estado de la superficie de rodadura mediante el uso de diversas técnicas y métodos para obtener la mayor cantidad de información posible sobre la calidad de esta superficie. Con base a la información recabada y analizada, se podrán proponer medidas correctivas y preventivas adecuadas para garantizar la seguridad y longevidad de la carretera.

Esta problemática motiva la realización de la investigación titulada: “Determinación del estado superficial del pavimento flexible en la carretera vecinal CA-1071: Rol del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el tramo Tartar Chico - Empalme 08-B, Baños del Inca, Cajamarca”, para identificar con precisión los tramos más afectados y recomendar intervenciones de mantenimiento que aseguren la seguridad y el confort para los usuarios de la vía.

1.1.3 Formulación del problema

¿Cuál es el estado superficial del pavimento flexible en el tramo Tartar Chico - Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, en el distrito de Baños del Inca, provincia y región de Cajamarca, determinado mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI)?

1.1.4 Hipótesis general

El estado superficial del pavimento flexible en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, determinado mediante del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es malo.

1.2 Justificación e importancia

1.2.1 Justificación científica

Se justifica científicamente debido a que responde a la necesidad de abordar una brecha técnica y normativa en la evaluación funcional de la infraestructura vial en el Perú, específicamente en las carreteras de la red vial vecinal. Aunque el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es aceptado internacionalmente como una medida clave para medir la rugosidad longitudinal y la calidad de la rodadura del pavimento (Bennett

et al., 2007), su aplicación en carreteras de bajo tráfico no se ha implementado de manera sistemática ni obligatoria en el país.

Este estudio llena un vacío en el conocimiento aplicado al proporcionar datos empíricos sobre el estado superficial de un tramo específico de carretera rural, el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera CA-1071, utilizando el rugosímetro MERLIN. Este dispositivo es recomendado por organismos internacionales como el Banco Mundial para situaciones rurales debido a su bajo costo y alta fiabilidad, pero aún no ha sido evaluado de manera sistemática en el contexto normativo y operativo de las infraestructuras viales en Perú (Bennet et al., 2007).

En cuanto al enfoque teórico y metodológico, la investigación propone una metodología objetiva que integra el uso del IRI, permitiendo clasificar el estado de conservación de la capa de rodadura según las directrices de la AASHTO. Esta metodología no solo aporta en el ámbito técnico, sino que ofrece una herramienta replicable que puede extenderse a otros segmentos de la red vial vecinal.

Además, la investigación propone un enfoque cuantitativo frente a los métodos tradicionales de inspección visual, lo que mejora la precisión en la determinación de acciones estratégicas y el aprovechamiento máximo de los activos disponibles públicos destinados a la conservación vial.

Finalmente, este estudio abre una línea de investigación futura sobre la implementación gradual del IRI en las regulaciones nacionales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, lo que podría establecer criterios técnicos estandarizados para el diagnóstico vial en todo el país.

1.2.2 Justificación técnica – práctica

La necesidad técnica y práctica de este estudio surge de la carencia de instrumentos técnicos estandarizados y accesibles para el diagnóstico del estado superficial de la infraestructura vial de carácter vecinal, especialmente en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera CA-1071, en Baños del Inca, Cajamarca. Este tramo presenta signos de deterioro progresivo, pero carece de registros técnicos sistemáticos que permitan una clasificación objetiva de su condición y la definición de prioridades de intervención.

El estudio es innovador, ya que utiliza el rugosímetro MERLIN, un dispositivo sugerido por el Banco Mundial, pero que, a pesar de su eficiencia y bajo costo, se utiliza escasamente en la red vial rural peruana. Esta herramienta facilita la cuantificación de la rugosidad superficial con altos estándares de exactitud y bajo costo operativo, factores determinantes para un diagnóstico riguroso de la infraestructura vial (Del Águila, 1999).

Desde un enfoque técnico, la investigación responde a una necesidad crucial en la gestión vial: la falta de indicadores funcionales estandarizados que guíen las decisiones de mantenimiento. Tradicionalmente, las municipalidades han basado sus decisiones de conservación en criterios subjetivos o visuales, lo que no asegura una gestión eficiente ni objetiva. Con este estudio, se podrá clasificar los segmentos viales según rangos específicos de intervención (muy buena, buena, regular, mala, muy mala), optimizando así el uso de los recursos públicos destinados al mantenimiento y asegurando una toma de decisiones más precisa y fundamentada.

La viabilidad operativa del estudio es alta, dado que el rugosímetro MERLIN es un dispositivo fácil de manejar y accesible para el personal técnico, lo que permite que el método pueda ser replicado en otros segmentos similares de la región,

contribuyendo a una mayor cobertura y eficiencia en el diagnóstico de la red vial vecinal.

Este estudio tendrá un impacto directo en la mejora de la infraestructura vial, lo que redundará en beneficios tangibles para la población, como la reducción de costos operativos de los vehículos, menor tiempo de viaje, disminución del riesgo de accidentes y una mejora en la disponibilidad y aprovechamiento de prestaciones fundamentales, tales como el sistema sanitario y la formación educativa y mercados, fortaleciendo la conectividad y el desarrollo local.

1.3 Delimitación de la investigación

El presente estudio se encuentra delimitada en los siguientes aspectos, lo que asegura su viabilidad, enfoque, pertinencia académica y factibilidad operativa.

Delimitación espacial: Se lleva a cabo en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, situado en la jurisdicción de Baños del Inca, perteneciente a la provincia de Cajamarca. La elección de este sector responde a su valor estratégico para la integración de las zonas rurales, sumado al agotamiento funcional de su estructura flexible y a la carencia de diagnósticos técnicos vigentes. La elección de este tramo permite abordar una problemática concreta de la infraestructura vial rural, siendo una representación de la red vial vecinal en el contexto de la región.

Delimitación temporal: El proceso de recolección de datos de campo se realizó durante los meses de octubre a diciembre de 2024. El análisis, procesamiento y redacción de resultados se desarrollaron entre los meses de enero y octubre de 2025, considerando las condiciones climáticas estables para la obtención de mediciones confiables.

Delimitación teórica: La investigación se sustenta en los fundamentos teóricos de la evaluación funcional de pavimentos flexibles. Las bases teóricas de la presente investigación se sustentan en los estándares técnicos de la AASHTO, las directrices del MTC y las especificaciones de la norma internacional ASTM E1926-08, marcos regulatorios que rigen la cuantificación y el análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Delimitación técnica y metodológica: Se maneja una metodología cuantitativa, descriptiva y no experimental, con un diseño transversal. El instrumento principal de medición es el rugosímetro MERLIN, el cual permite cuantificar la irregularidad longitudinal del pavimento. La validación técnica se apoya en el uso de procedimientos estandarizados en gabinete, garantizando replicabilidad y objetividad.

Delimitación ética: No se manipulan seres humanos ni se interviene directamente sobre el entorno natural. Se garantiza la objetividad técnica del análisis y se respetan los principios éticos de la investigación aplicada en ingeniería, tales como veracidad, transparencia y responsabilidad técnica.

1.4 Limitaciones

La presente investigación se ha desarrollado sin la presencia de limitaciones significativas que afecten el alcance o la validez de los resultados obtenidos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar el estado superficial del pavimento flexible en la carretera vecinal CA-1071, en el tramo Tartar Chico - Empalme 08-B, distrito de Baños del Inca,

provincia y región Cajamarca, mediante el análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

1.5.2 Objetivos específicos

- Medir la rugosidad del pavimento flexible utilizando el rugosímetro MERLIN, según las especificaciones del MTC.
- Clasificar el estado superficial del pavimento flexible en los carriles de los tramos de la carretera Tartar Chico – Empalme 08-B, utilizando los valores del IRI obtenidos con MERLIN, y comparándolos con los rangos de clasificación de IRI establecidos por la AASHTO y el MTC.
- Comparar los valores obtenidos del IRI con el límite máximo admisible establecido por el MTC para pavimentos con carpeta asfáltica en caliente durante su periodo de servicio, con el fin de identificar los carriles que requieren mantenimiento o intervención.
- Proponer recomendaciones técnicas de conservación vial para los tramos con IRI superior al valor admisible, a fin de garantizar la seguridad vial y prolongar la vida útil del pavimento.

1.6 Descripción del contenido

Capítulo I: Introducción

Este capítulo introduce el contexto general del estudio, abordando la problemática del deterioro funcional en las vías. Se identifica una deficiencia en el mantenimiento preventivo, lo cual afecta la comodidad, seguridad y durabilidad del pavimento. En este apartado se detalla el planteamiento del problema y se definen los

objetivos que guiarán el desarrollo del presente estudio. Además, se presenta la justificación técnica y social del estudio, delimitando su alcance geográfico y temático.

Capítulo II: Marco teórico

En este capítulo se examina el estado del arte respecto a la valoración de la condición superficial en pavimentos flexibles, con especial énfasis en la aplicación y relevancia del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como parámetro diagnóstico. Se presenta el Manual de Carreteras del MTC como la base normativa para las evaluaciones en Perú. Además, se define el pavimento flexible y la rugosidad, explicando su impacto en la calidad de la rodadura y la seguridad vial.

El IRI es explicado como un parámetro clave para calcular la rugosidad longitudinal del pavimento, y se detalla el proceso de medición mediante el rugosímetro MERLIN, una herramienta validada internacionalmente por su eficiencia y bajo costo.

Por último, se presenta la categorización de la superficie de rodadura fundamentada en los umbrales del **IRI** definidos por la **AASHTO**. Esta escala permite diagnosticar con precisión el estado operativo de la vía y jerarquizar las acciones de mantenimiento preventivo o correctivo necesarias.

Capítulo III: Materiales y métodos

En este sentido, el siguiente capítulo refiere el abordaje metodológico de la investigación, la cual es enmarcada en un tipo de investigación aplicado, con un diseño no experimental, de corte transversal y de nivel descriptivo. En este sentido, se precisa la población, la muestra y las unidades de análisis, detallando los procedimientos abordados en campo para la medición de la rugosidad superficial de la pista con el

rugosímetro MERLIN, según las normas y especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

De igual manera, se detalla la metodología para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional, variable fundamental para la determinación de la calidad del pavimento. En esta sección también se presenta la matriz de operacionalización de variables y la matriz de consistencia, en que se define la relación entre los objetivos de investigación, las variables y los instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados

Esta sección presenta el análisis de los hallazgos obtenidos sobre la rugosidad del pavimento en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera CA-1071, utilizando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Se clasifican los tramos y carriles del pavimento según los rangos de IRI establecidos por la AASHTO, lo que permite determinar la condición del pavimento y las necesidades de intervención.

Se realiza un análisis comparativo entre los valores de IRI por tramo y por carril, evaluando su relación con los límites máximos admisibles establecidos por el MTC. Además, se discuten los resultados en relación con estudios previos, tanto nacionales como internacionales, comparando los hallazgos y analizando la importancia del IRI como índice funcional con el propósito de diagnosticar el estado de conservación superficial de las estructuras de pavimento.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Se presentan las conclusiones generales y específicas de la investigación, derivadas del análisis técnico y normativo. Se destaca para determinar la condición superficial de los pavimentos que el pavimento presenta una mala condición funcional,

que requiere acciones de mantenimiento correctivo o rehabilitación superficial. Las sugerencias finales enfatizan la adopción de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, asegurando el tránsito vial y optimizando la inversión pública en la red vial técnico, económico y escalonado. Se sugiere también continuar con monitoreos funcionales periódicos en la vía.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales.

Sandhya et al. (2020) realizaron el estudio titulado *“Evaluación del Desempeño de la Rugosidad del Pavimento: Un Estudio de Caso”*, en el que analizaron diversas redes viales en Gudlavalleru, Andhra Pradesh, India. El objetivo del estudio fue investigar tramos de carretera seleccionados mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Condición de deterioro de Pavimentos (PCI) para evaluar su condición y establecer prioridades de mantenimiento. Metodológicamente, se utilizó el dispositivo de bajo costo MERLIN, realizando 200 observaciones a intervalos constantes para medir la desviación vertical, además de una inspección visual manual para identificar grietas y calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Los resultados más relevantes mostraron que un tramo (Gudlavalleru a Chitram) presentaba un IRI de 7.3 m/km y una calificación de condición del 40%, recomendándose un rediseño de capa, mientras que otro tramo con un IRI de 6.9 m/km y 90% de calificación solo requería mantenimiento rutinario. Como conclusión general, los autores destacan que el MERLIN es un dispositivo simple y eficaz para medir la rugosidad, permitiendo optimizar los limitados recursos financieros en la gestión de infraestructuras viales.

Chen et al. (2022) realizaron un estudio titulado *“Evaluación de la Rugosidad del Pavimento mediante el Índice de Rugosidad Internacional para la Construcción Sostenible de Pavimentos en la Ciudad de Nuevo Taipéi”*, con la finalidad de analizar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de 152 secciones de pavimento de concreto asfáltico en Nuevo Taipéi, Taiwán, antes y después de la nivelación de las carreteras.

Se utilizó un vehículo inteligente de inspección de pavimentos que cumplía con los requisitos de la clase E 950 para detectar los valores del IRI de las secciones viales antes y después del mantenimiento. Los resultados revelaron que, tras la intervención, el valor del IRI mejoró considerablemente, ya que el 76.97% de las secciones alcanzaron la categoría B, lo que indica una buena calidad de conducción, mientras que el 23.03% se clasificó en la categoría C, lo que denota una mejora significativa respecto a las condiciones previas. La conclusión principal fue que el proyecto de nivelación vial tuvo un impacto positivo en la calidad del pavimento y que el IRI se ha consolidado como un pilar para la gestión operativa del sistema vial, garantizando la durabilidad de la infraestructura y la eficiencia en las intervenciones urbanas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según Flores y Pilco (2021), autores de la tesis *Análisis funcional del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular, utilizando el rugosímetro MERLIN en la Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2020*, evaluaron la avenida Gustavo Pinto, la cual se localiza en la ciudad, provincia y región de Tacna. La finalidad de la investigación fue realizar el análisis funcional del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía. Metodológicamente, el estudio fue aplicado considerando una perspectiva cuantitativa con diseño descriptivo-exploratorio. Se aplicó el rugosímetro MERLIN para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) considerando tramos de 400 metros en 3,330 metros de calzada y calculando a su vez el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). Los resultados más relevantes obtenidos, fueron un IRI ponderado con un promedio de 5.05 m/km y un PSI de 1.987, calificando de malo al estado del pavimento y la transitabilidad. Como conclusión general, los autores establecieron que las condiciones actuales de la superficie de rodadura influyen

negativamente en el confort y la seguridad, recomendando intervenciones de rehabilitación y reconstrucción parcial en los tramos más deteriorados.

En la investigación *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte - Zona Trujillo, para su mantenimiento*, Sachún (2016) evaluó la condición superficial de 29.60 km de la Panamericana Norte, entre el óvalo Salaverry y el óvalo El Milagro, en la ciudad y provincia de Trujillo, región de La Libertad. El objetivo general fue realizar el estudio del IRI para gestionar un mantenimiento adecuado que incidiera positivamente en los aspectos socioeconómicos de gestión de la zona. En cuanto a los aspectos metodológicos, se exploraron 29.60 kilómetros de pavimento mediante 74 ensayos realizados con el rugosímetro MERLIN para recolectar datos de campo, contrastando los hallazgos con datos históricos de los años 1995 y 2013. Los resultados más relevantes arrojaron un IRI promedio de 1.77 m/km , IRI Característico de 2.08m/km y un PSI de 3.43, por lo que concluyó que la vía está en buenas condiciones de transitabilidad vehicular.

2.1.3 Antecedentes locales

En la tesis titulada *Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de MERLIN*, Tingal (2021) evaluó la infraestructura vial que conecta la ciudad y distrito de Cajamarca con el distrito de Baños del Inca, en la provincia y región de Cajamarca. El objetivo de la investigación fue analizar la rugosidad superficial mediante el IRI para calificar el estado real de la superficie de la vía. Metodológicamente, el estudio fue de tipo cuantitativo y descriptivo, empleando el rugosímetro de MERLIN para realizar 200 observaciones en intervalos de 2 metros a lo largo de 18 tramos de 400 metros en ambas calzadas, complementado con inspección

visual, levantamiento topográfico y conteo de tráfico. Los resultados más relevantes determinaron un IRI promedio de 1.07 m/km y un IRI Característico de 1.51 m/km para la calzada de ida y un IRI promedio de 1.10 m/km y un IRI Característico de 1.27 m/km para la calzada de vuelta, con valores de serviciabilidad (PSI) de 4.12 y 4.09 respectivamente. Como conclusión general, el autor establece que el pavimento se encuentra en buen estado según los estándares del MTC, permitiendo un manejo confortable y demostrando que el equipo MERLIN es una herramienta eficiente, de bajo costo y fácil uso para este tipo de evaluaciones

Por otro lado, Sangay (2019), en su investigación *Determinación del Nivel de Servicio mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) medido con el equipo MERLIN en el pavimento flexible de la Av. Hoyos Rubio en la ciudad de Cajamarca*, analizó la Avenida Hoyos Rubio, ubicada en la ciudad, provincia y región de Cajamarca. El objetivo general fue obtener el nivel de servicio de dicha avenida basándose en su rugosidad superficial. La metodología aplicada fue de carácter no experimental y descriptiva, efectuando el levantamiento topográfico digital con estación total para el modelado del relieve vial, conteo de tráfico y 16 ensayos con el rugosímetro de MERLIN en muestras de 400 metros, tomando lecturas cada vuelta de rueda. Los hallazgos revelan un Índice de Rugosidad Internacional (IRI) promedio de 2.648 m/km y un valor característico de 2.960 m/km. Complementariamente, el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se situó en 2.917, lo que posiciona la estructura vial en un nivel de desempeño de 2 a 3. En consecuencia, se dictamina que el pavimento presenta una condición operativa aceptable.

2.2 Bases Teóricas

Se proporciona los fundamentos necesarios para comprender la evaluación de la infraestructura vial, abordando temas clave como las características de las carreteras, su jerarquización y clasificación según el Sistema Nacional de Carreteras del Perú. Se profundiza en los tipos de pavimento, su evaluación mediante la medición de la rugosidad, y el uso del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como herramienta para determinar el estado funcional del pavimento. También se examinan los valores admisibles de IRI en Perú, la clasificación del estado superficial del pavimento según estos rangos y el uso del rugosímetro MERLIN, un dispositivo esencial para medir la rugosidad con precisión, garantizando datos confiables para la toma de decisiones en el mantenimiento vial.

2.2.1 Carretera

Camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de esta, deben cumplir las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018a, p. 19).

2.2.1.1 Jerarquización vial

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2007) a través del Decreto Supremo N.º 017-2007-MTC estableció la jerarquización del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) de la siguiente manera:

- **Red Vial Nacional:** Constituida por las principales carreteras de interés nacional que conectan los ejes longitudinales y transversales, siendo receptor de las redes regionales y locales.
- **La Red Vial Departamental o Regional:** Bajo la jurisdicción de los gobiernos regionales, actúa como el nexo articulador entre la infraestructura nacional y los caminos rurales o vecinales.
- **Red Vial Vecinal o Rural:** Conformada por las vías de alcance local que garantizan la comunicación entre capitales de provincia, distritos y centros poblados, permitiendo su inserción en los sistemas viales de mayor jerarquía.

2.2.1.2 Clasificación de las carreteras del Perú

2.2.1.2.1 Clasificación por demanda

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece la clasificación de las carreteras del Perú según la demanda en:

- **Autopistas de Primera Clase:** Vías diseñadas para un IMDA (índice Medio Diario Anual) superior a 6,000 veh/día, con carriles divididos por un separador central de al menos 6.00 m; cada uno de los carriles debe tener dos o más carriles de al menos 3.60 m, con control total de acceso (entradas y salidas) que brinden un flujo vehicular continuo, sin cruces o pasos a nivel y pasos elevados peatonales en áreas urbanas. La calzada de estas carreteras debe estar pavimentada (MTC, 2018a, p.21).
- **Autopistas de Segunda Clase:** Estas son carreteras con un IMDA de entre 6000 y 4001 veh/día, de carriles divididos mediante un separador central que puede variar de 6.00 m a 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención

vehicular; cada una de las calzadas debe tener al menos 3.60 m de ancho, con accesos de control parcial (entrada y salida) que proporcionen un flujo vehicular continuo; pueden tener cruces vehiculares a nivel o cruces y puentes peatonales en áreas urbanas. La superficie de estas carreteras debe estar pavimentada (MTC, 2018a, p.21).

- **Carreteras de Primera Clase:** Son carreteras con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada (MTC, 2018a, p.21).
- **Carreteras de Segunda Clase:** Son carreteras con IMDA entre 2 000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada (MTC, 2018a, p.21).
- **Carreteras de Tercera Clase:** Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en

afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase (MTC, 2018a, p.21).

- **Trochas Carrozables:** Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar (MTC, 2018a, p.22).

2.2.1.2.2 Clasificación por orografía:

EL Ministerio de Transportes y Comunicaciones señala que las carreteras también se clasifican según la orografía del terreno en :

- **Terreno plano (tipo 1):** Caracterizado por una topografía suave con pendientes transversales inferiores o iguales al **10%** y gradientes longitudinales que no suelen superar el **3%**. Esta configuración facilita el diseño geométrico y minimiza el volumen de movimiento de tierras durante la construcción (MTC, 2018a, p.23).
- **Terreno ondulado (tipo 2):** Presenta pendientes transversales que oscilan entre el **11% y 50%**, con inclinaciones longitudinales situadas entre el **3% y 6%**. Requiere movimientos de tierra moderados y permite un trazado con alineamientos rectos y curvas de gran radio sin mayor complejidad técnica (MTC, 2018a, p.23).

- **Terreno accidentado (tipo3):** Definido por pendientes transversales críticas entre el **51% y 100%**, y pendientes longitudinales que predominan en el rango del **6% al 8%**. Debido a la complejidad del relieve, demanda excavaciones y rellenos significativos, lo que impone mayores restricciones al diseño del trazo (MTC,2018a, p.23).
- **Terreno escarpado (tipo 4):** Tiene pendientes transversales al eje de la carretera superiores al **100%** y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al **8%**, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazo (MTC,2018a, p.23).

2.2.2 Pavimento

El pavimento se define como un sistema multicapa cimentado sobre la subrasante, cuya función principal es la absorción y distribución de las cargas inducidas por el tráfico vehicular. Su diseño busca optimizar la seguridad y el confort de marcha, integrándose típicamente por una capa de rodadura, una base y una subbase (MTC, 2014a, p. 25).

2.2.2.1 Tipos de pavimentos

Según el MTC (2014a), en su Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, se consideran tres tipos de pavimentos:

- **Pavimento flexible.** Se define como una estructura conformada por capas granulares (subbase y base) coronada por una superficie de rodadura asfáltica. Esta última emplea materiales bituminosos como ligantes, combinados con agregados y aditivos. Entre sus aplicaciones más comunes se encuentran el

mortero asfáltico, tratamientos superficiales bicapa, micropavimentos y mezclas asfálticas, ya sean procesadas en frío o en caliente

- **Pavimento semirrígido.** Esta tipología integra capas asfálticas de espesor considerable (como carpeta asfáltica en caliente) sobre bases que han sido estabilizadas o tratadas con asfalto, cemento o cal. Esta combinación busca incrementar la rigidez de la estructura sin llegar a la rigidez total del concreto. Dentro de esta categoría se incluyen también los pavimentos conformados por adoquines
- **Pavimento rígido.** Es una estructura cuyo elemento principal es una losa de concreto de cemento hidráulico que actúa como capa de rodadura. Esta se apoya generalmente sobre una subbase granular, aunque también puede sustentarse sobre bases granulares o estabilizadas con cal, cemento o asfalto. El concreto se dosifica con agregados seleccionados y, de ser necesario, aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas.

2.2.2.2 Evaluación del pavimento

La información del estado del pavimento durante las distintas fases de su vida útil es fundamental para desarrollar planes de mantenimiento, definir estrategias de rehabilitación y proponer soluciones técnicas, garantizando así una gestión eficiente de la infraestructura vial. En este contexto, el objetivo de la Gestión de Pavimentos es asegurar que el firme mantenga un desempeño adecuado durante su vida útil.

Bennett et al. (2007) señalan que el alcance de una evaluación de pavimentos incluye el registro de sus características, las cuales describen su desempeño a través de

diversos índices. Dependiendo de la característica evaluada, la evaluación de pavimentos puede clasificarse como funcional o estructural.

Evaluación Estructural: Una evaluación estructural proporciona información sobre si la estructura del pavimento está funcionando satisfactoriamente bajo la carga del tráfico y las condiciones ambientales. Esta evaluación consiste en la determinación de la capacidad de soporte de las capas del pavimento y la fundación. (Bennett et al., 2007, p. 23)

Evaluación Funcional: Una evaluación funcional proporciona información sobre las características de la superficie que afectan directamente la seguridad y comodidad de los usuarios, o la funcionalidad. Las principales características evaluadas en una evaluación funcional son la resistencia al deslizamiento y la textura de la superficie en términos de seguridad, así como la rugosidad en términos de funcionalidad. (Bennett et al., 2007, p. 23)

2.2.3 Rugosidad

La American Society for Testing and Materials (ASTM, 2020) en su norma ASTM E867-06, define a la rugosidad como la desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar.

En cuanto a la importancia de la rugosidad, Menéndez (2016) señala que es un factor fundamental para el confort del usuario, seguridad vial y costos de mantenimiento. La rugosidad está estrechamente relacionada con la calidad de servicio o serviciabilidad del pavimento, y se define como la capacidad del pavimento para

servir al tránsito en sus condiciones actuales, aspecto que es de gran interés para el usuario (p. 197).

Para efectos de la presente investigación, el concepto de rugosidad se emplea para describir las irregularidades en la superficie del pavimento, alineándose estrictamente con las definiciones técnicas y estándares establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

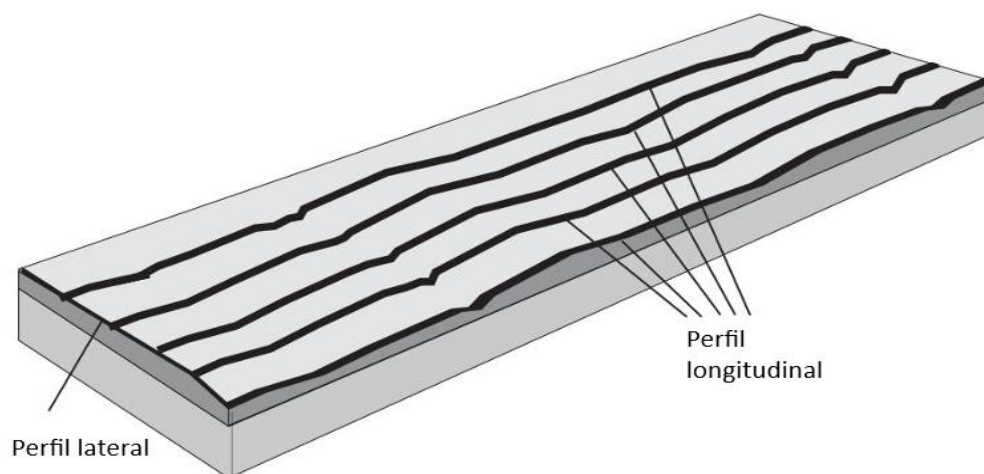
2.2.3.1 Medición de la rugosidad

La medición de la rugosidad del pavimento se realiza mediante la perfilometría, siendo una técnica de medición continua de las variaciones de altura de la superficie del pavimento a lo largo de un perfil longitudinal, es decir, a lo largo de la huella promedio donde circulan los vehículos (véase Figura 1). Esta técnica registra, a una escala adecuada, las variaciones de la altura de la superficie de una línea (huella) en el pavimento, lo que facilita la observación de las imperfecciones superficiales en la carretera (Sayers, 1998).

Las diferencias de altura entre puntos consecutivos generan "saltos" en la superficie, que son indicadores de la irregularidad del pavimento (ver Figura 2). Estos saltos o variaciones definen la rugosidad del pavimento, un factor crucial para evaluar la calidad de la superficie y su impacto en el confort y seguridad del tránsito vehicular.

Figura 1

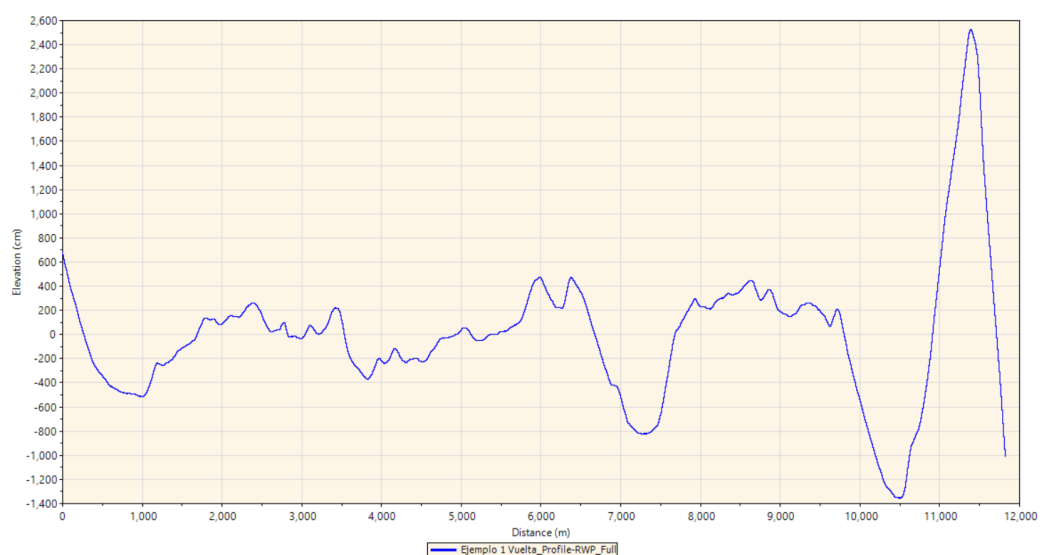
Perfiles del pavimento



Nota. Adaptado de “The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles” (p. 2), por M. Sayers y S. Karamihas, 1998, University of Michigan.

Figura 2

Perfil de una huella de pavimento medido con perfilómetro láser



Nota. Perfil longitudinal de una huella de pavimento, medido con perfilómetro láser y procesado en el programa ProVAL.

La medición de la rugosidad en Perú está establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Según el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción señala que para la determinación de la rugosidad, se podrán utilizar métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros de alto rendimiento u otro método debidamente aprobado por el Supervisor y la medición se realizará sobre la superficie de rodadura terminada a lo largo de toda su longitud y deberá incluir ambas huellas en tramos previamente establecidos (MTC, 2014b, p. 281).

Asimismo, el MTC (2016a), en el Manual de Ensayo de Materiales, señala que para medir la irregularidad superficial de un pavimento mediante la regla estática o rodante (metodología similar al MERLIN), se tomará como mínimo una línea o perfil en el carril derecho por cada sentido de circulación. Los perfiles se pueden situar a 1.00 m y a 2.50 m del borde derecho del carril, en el sentido de circulación, para anchos de carril de 3.50m o más, y a 0.80 m y a 2.30 m en los casos restantes (p. 843).

2.2.3.2 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un indicador general del estado del pavimento, que cuantifica la irregularidad longitudinal de una carretera, expresada comúnmente en metros por kilómetro (m/km), milímetros por metro (mm/m) o pulgadas por milla (in/mi). Su cálculo se basa en la respuesta simulada de un vehículo de referencia modelo de “cuarto de carro” que recorre el perfil longitudinal de la vía a una velocidad de 80 km/h. De esta manera, el IRI refleja el efecto de las irregularidades del pavimento sobre el confort de los usuarios y el desempeño de los vehículos, convirtiéndose en el parámetro más utilizado a nivel mundial para evaluar la rugosidad y la condición superficial de los pavimentos (Sayers & Karamihas, 1998).

2.2.3.3 Rangos del IRI para evaluación de la superficie de rodadura

Los rangos del IRI se emplean para evaluar la condición superficial de un pavimento según la magnitud de su irregularidad longitudinal. Si bien los umbrales pueden variar ligeramente entre manuales y jurisdicciones, existe una tipología de referencia ampliamente adoptada por organismos como el Banco Mundial, la Administración Federal de Carreteras (FHWA), la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

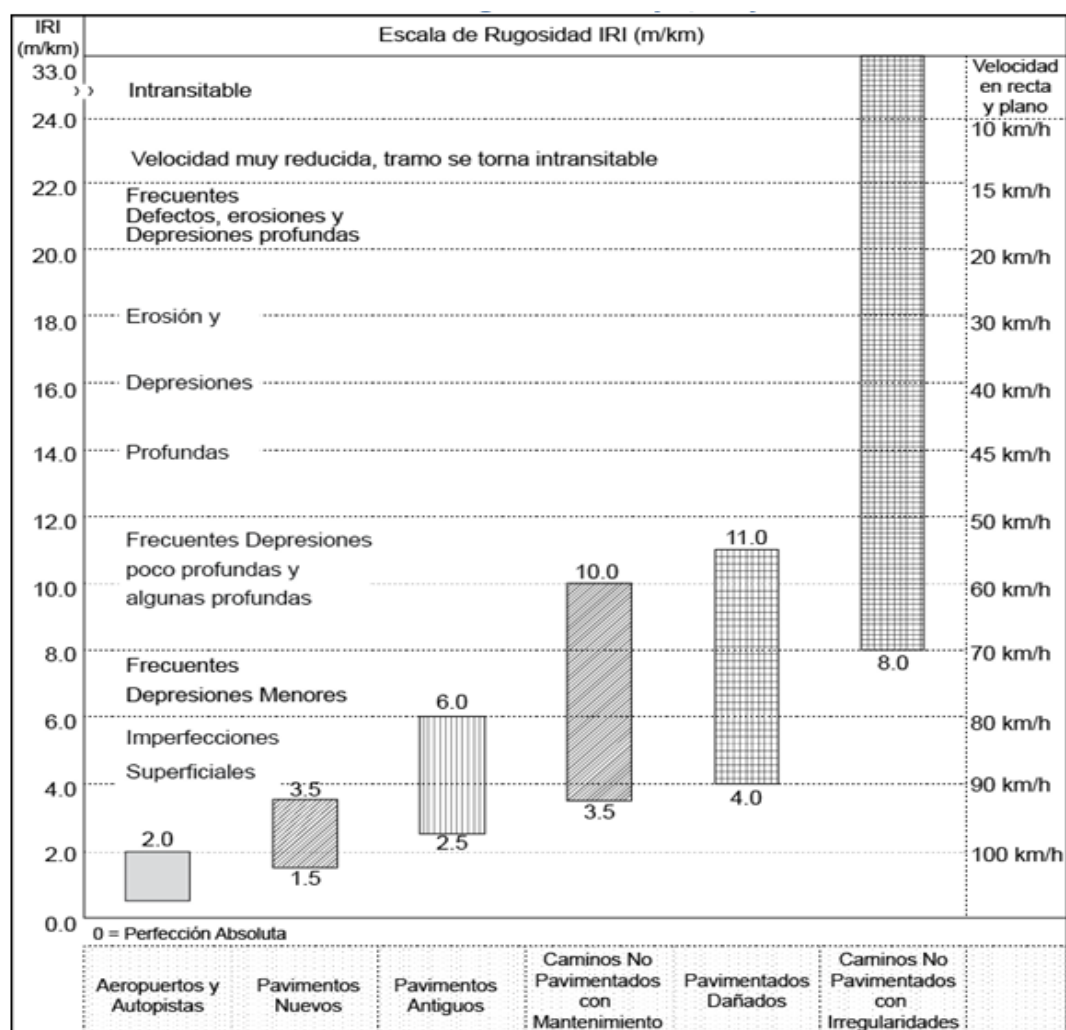
El MTC (2014a) mediante un gráfico (véase Figura3) traducido y adaptado de *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements* de Sayers M.W., Gillespie T.D., Paterson W.D (1986) publicado en el *World Bank Technical Paper N°46*, presenta la escala de rugosidad (IRI) para diferentes tipos de pavimento y estado de conservación, así como las velocidades de operación en recta y plano recomendadas en función de la condición superficial.

En dicha escala, los aeropuertos y autopistas, que deben mantener un IRI máximo de 2.0 m/km, presentan superficies en excelente estado que permiten velocidades superiores a 100 km/h; los pavimentos nuevos, con valores entre 1.5 y 3.5 m/km, conservan condiciones aceptables y admiten velocidades cercanas a 100 km/h, aunque con irregularidades menores; los pavimentos antiguos, con IRI entre 2.5 y 6.0 m/km, muestran imperfecciones más notorias que restringen la velocidad a rangos aproximados de 100 a 80 km/h; los caminos no pavimentados con mantenimiento, con IRI entre 3.5 y 10.0 m/km, presentan imperfecciones y depresiones de diversa severidad que reducen la velocidad a intervalos de 90 a 60 km/h; los pavimentos dañados, con IRI entre 4.0 y 11.0 m/km, evidencian deterioros desde imperfecciones superficiales hasta depresiones frecuentes, limitando la velocidad a valores inferiores a 90 km/h; y,

finalmente, los caminos no pavimentados con irregularidades severas, con IRI entre 8 y 33 m/km, presentan depresiones profundas, erosión e incluso condiciones cercanas a la intransitabilidad, lo que restringe la circulación a velocidades menores de 70 km/h. Este comportamiento evidencia la relación directa entre el incremento del IRI y la disminución de la calidad de servicio del pavimento, constituyendo un parámetro fundamental para evaluar el desempeño funcional de la vía, aspecto central en la presente investigación.

Figura 3

Escala de IRI por tipo de pavimento y condición de servicio



Nota. De Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (p. 158), por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

Barrantes et al. (2008) establecieron rangos para el IRI basados en la combinación de los modelos de correlación entre el PSI y el IRI, junto con el modelo de regresión del IRI y la varianza de pendiente longitudinal (Slope Variance) establecidos por la ASSTHO. Estos rangos sirven para la clasificar las condiciones de la superficie de rodadura de pavimentos flexibles.

Se presenta la Tabla 1 con los rangos de IRI para la evaluación de pavimentos flexibles, los cuales fueron utilizados en el presente estudio.

Tabla 1

Rangos del IRI para diferentes condiciones de una superficie de rodadura

Rangos de IRI (m/km)	Calificación
0 – 1.0	Muy Buena
1.0 – 1.9	Buena
1.9 – 3.6	Regular
3.6 – 6.4	Mala
> 6.4	Muy Mala

Nota. De Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices Red Vial Nacional (p.17), por R. Barrantes Jiménez, D. Sibaja Obando & J.D. Porras Alvarado, 2008, <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1462>

2.2.3.3.1 Valores admisibles del IRI en Perú

El MTC (2014a) a través de su Manual de Carreteras establece tablas de evaluación de pavimentos basadas en el Índice de Rugosidad Internacional Característico (IRI_C), calculado a partir de las mediciones de IRI en campo. Este índice es un valor estadístico que incorpora la variabilidad de los datos y, por ende, describe

de forma más representativa la condición superficial de la vía que un promedio aritmético simple.

Para un nivel de confiabilidad dado, el IRI característico se obtiene mediante:

$$IRI_C = \overline{IRI} + k \times ds \quad (1)$$

Donde:

- IRI_C : IRI característico (m/km).
- $\overline{IRI}$: promedio de los valores de IRI medidos (m/km).
- k : factor de confiabilidad
- ds : desviación estándar de las mediciones (m/km)

El MTC (2016b) especifica en el Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial los valores del parámetro k según el grado de confiabilidad adoptado: 95% ($k = 1.645$), 90% ($k = 1.282$), 85 % ($k = 1.036$) ; 80% ($k = 0.842$) y 75% de confiabilidad ($k = 0.674$). La selección de k modula el riesgo estadístico: niveles de confiabilidad más alto (mayores valores de k) imponen criterios más exigentes sobre la condición superficial de la vía, mientras que niveles menores flexibilizan el umbral de aceptación.

El MTC (2014a) recomienda los valores de rugosidad característica inicial para pavimentos nuevos, pavimentos existentes reforzados y durante el periodo de servicio con carpetas asfálticas en caliente. Los valores correspondientes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2

IRI (m/km) según tipo de carretera con carpeta asfáltica en caliente

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Período de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad 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	2.00	2.50	3.50	Rugosidad 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.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad 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.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad 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.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota. De *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos* (p .159), por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

En esta investigación se evaluó la condición del pavimento con los valores presentados en la Tabla 2 para un Índice de Rugosidad Internacional Característico durante el periodo de servicio.

2.2.3.4 Clasificación de los equipos de medición

De acuerdo con Bennett et al. (2007) en el documento técnico del Banco Mundial, *Data Collection Technologies for Road Management*, los dispositivos

destinados a la medición de la rugosidad se categorizan en cuatro niveles. Esta jerarquización, fundamentada en la normativa ASTM E 950–94, se basa estrictamente en el grado de precisión y en los procedimientos metodológicos empleados para el cálculo del IRI. En la Tabla 3 se presenta detalladamente esta taxonomía tecnológica y los equipos representativos de cada clase:

Tabla 3

Clasificación de equipos de medición de rugosidad

CLASE	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
Clase I Perfiles de precisión	Representa el nivel de máxima exactitud en la determinación del IRI. Requiere el registro del perfil longitudinal efectuado con precisión milimétrica directamente sobre la huella de rodadura de la vía evaluada.	Perfilómetros láser: Equipos láser livianos y portátiles para recolección del perfil sin contacto con la superficie Equipos de operación manual: VigaTRL, Dipstick, ARRB Walking Profiler
Clase II Otros métodos de perfilometría	Engloba a los procedimientos técnicos que, si bien logran capturar el perfil longitudinal para el cómputo directo del IRI, no alcanzan los umbrales de rigurosidad y precisión exigidos para la Clase 1 Esta categoría comprende dispositivos capaces de producir un indicador numérico de regularidad que mantiene una correlación estadística significativa con el IRI.	Perfilómetro APL, perfilógrafos (California, Rainhart), perfilómetros ópticos, otros perfilómetros inerciales sin láser (perfilómetro GMR)
Clase III Estimaciones de IRI a partir de ecuaciones de correlación	A diferencia de las clases anteriores, los datos obtenidos requieren de ecuaciones de regresión derivadas de ensayos de calibración para estimar el valor del IRI. En este grupo se ubican los sistemas de tipo respuesta (RTRRMS) y el rugosímetro MERLIN, este último caracterizado por ser una herramienta de operación manual y menor rendimiento operativo.	Roadmaster, Bump Integrator, Roughometer ARRB, TRL BumpIntegrator, Rolling straightedge, MERLIN.
Clase IV Evaluaciones subjetivas / mediciones no calibradas	Esta categoría comprende los métodos de menor rigor instrumental, basándose en evaluaciones de carácter subjetivo, tales como la percepción del usuario o la	Sistemas de calificación, inspecciones visuales, evaluaciones subjetivas en base a la conducción sobre secciones.

CLASE	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
	auscultación visual del estado de la vía. Asimismo, incluye el uso de dispositivos no sujetos a protocolos de calibración. La transposición de estos registros cualitativos a la escala del IRI se reduce a una equivalencia estimativa, la cual se optimiza mediante la contrastación con catálogos de referencia que asocian descripciones físicas con rangos específicos de rugosidad	

Nota. Adaptado de Data Collection Technologies for Road Management (p. 38), por Banco Mundial, 2007, <https://doi.org/10.1596/39139>

Figura 4

Perfilómetro inercial Láser RSP MK-III en operación



Nota. De Dominando el IRI con el Perfilómetro Láser RSP MK-III y/o IV – Guía práctica, por J. Prada, Dynatest, s.f., https://www.dynatestlatam.com/iri_rsp_mk_guia/

Figura 5

Perfilómetro tipo California (CS8500 Bridge Profilograph)



Nota. De CS8550 Bridge Profilograph, por Surface Systems & Instruments, Inc., s.f.

<https://www.smoothroad.com/equipment/profilographs/cs8500-california-profilograph>

Figura 6

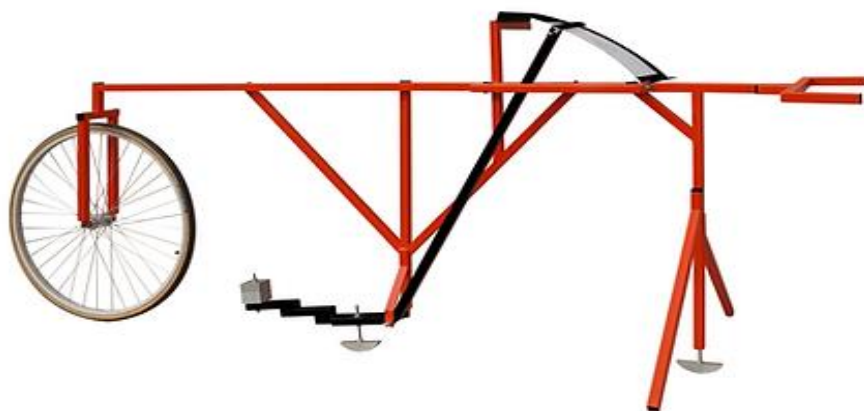
Medición del IRI mediante Bump Integrator



Nota. De “Toll Road Roughness Index Forecasting with Combination Grey Forecasting Model and Similarity Spatial Data”, por Fang, C., Wang, S., Zhou, L., & Ding, L., 2019, Journal of Advanced Transportation. <https://doi.org/10.1155/2019/9307954>

Figura 7

Perfilómetro MERLIN



Nota. De Rugosímetro Merlin, por Orion, s. f., <https://www.orionrcp.com/rugosimetro-merlin>

Se presenta la Tabla 4 con el resumen de las características de los diferentes equipos de medición de la rugosidad:

Tabla 4

Equipos de medición y sus características

Técnica / Equipo	Características
Mira y Nivel	Muy lento e incómodo, simple, susceptible a errores
Perfilógrafo o Hi-Lo	Simple, introduce errores por geometría. Poca información
Tipo Respuesta	Rápido, susceptible a error, alta desviación, requiere calibración constante
MERLIN	Lento, solamente una aproximación, no responde a ciertas frecuencias
Dipstick, SurPro, WP	Lento, simple, preciso
Perfilómetro Inercial	Rápido, preciso, repetible

Nota. Adaptado de Evaluación funcional de pavimentos rígidos y flexibles: Capítulo 12:

Equipos de Evaluación Funcional, por C. Rojas y O. Rojas, 2021, [diapositivas], Mecanicista Ltda.

2.2.4 Serviciabilidad

De acuerdo con el MTC (2014a), el grado de satisfacción del usuario está condicionado, fundamentalmente, por el estado operativo de la capa de rodadura y la eficacia de los dispositivos de seguridad vial. En esta línea, la AASHTO fue la organización pionera en el desarrollo de una metodología sistemática para valorar la degradación de los pavimentos, integrando las dimensiones funcional y estructural. Este avance dio origen al *Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)*, un indicador fundamentado en la percepción directa de los conductores mediante estudios psicométricos realizados en EE. UU. durante los años sesenta. Dicho índice definió la *serviciabilidad* como la capacidad del pavimento de responder adecuadamente al tránsito para el cual fue diseñado, con calificaciones que oscilaban entre 0 (cuando la vía era intransitable) hasta 5, representando una superficie en condiciones óptimas (pp. 156–157).

Tabla 5

Escala del Índice de Serviciabilidad (AASHTO 1993)

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD	CALIDAD
5	Muy Buena
4	
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota. De *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* (p.157), por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

2.2.4.1 Rugosímetro de MERLIN

2.2.4.1.1 *Reseña histórica*

Origen y contexto: A partir del International Road Roughness Experiment promovido por el Banco Mundial, se consolidó el IRI como estándar para comparar la regularidad superficial entre métodos y equipos (Sayers et al., 1986). La ausencia de perfilómetros costosos en muchos países impulsó el diseño de soluciones portátiles y de bajo costo para estimar IRI en gestión y conservación vial (Del Águila, 1999).

Desarrollo en el TRRL: En este marco, el Transport and Road Research Laboratory (TRRL) del Reino Unido desarrolló a inicios de la década de 1990 el MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), concebido por M. A. Cundill como un rugosímetro mecánico, económico y robusto. Su principio combina una “cuerda” de referencia y un brazo móvil que registra 200 lecturas por perfil, a partir de las cuales se obtiene un rango depurado D, correlacionado con el IRI mediante ecuaciones empíricas (Cundill, 1991).

Difusión y adopción: Durante los años noventa, el MERLIN se difundió en redes viales de países de ingresos bajos y medios por su bajo costo, facilidad de operación y trazabilidad con IRI (Cundill, 1991; Sayers et al., 1986).

Adaptaciones regionales: En Perú, Pablo Del Águila (1999) adaptó la metodología del TRRL y propuso una correlación alternativa para pavimentos nuevos o muy lisos, fortaleciendo la aplicabilidad del método en redes departamentales y vecinales.

Vigencia : Aunque en la actualidad predominan los perfilómetros inerciales/láser y soluciones con GNSS/IMU o smartphones, el MERLIN sigue siendo

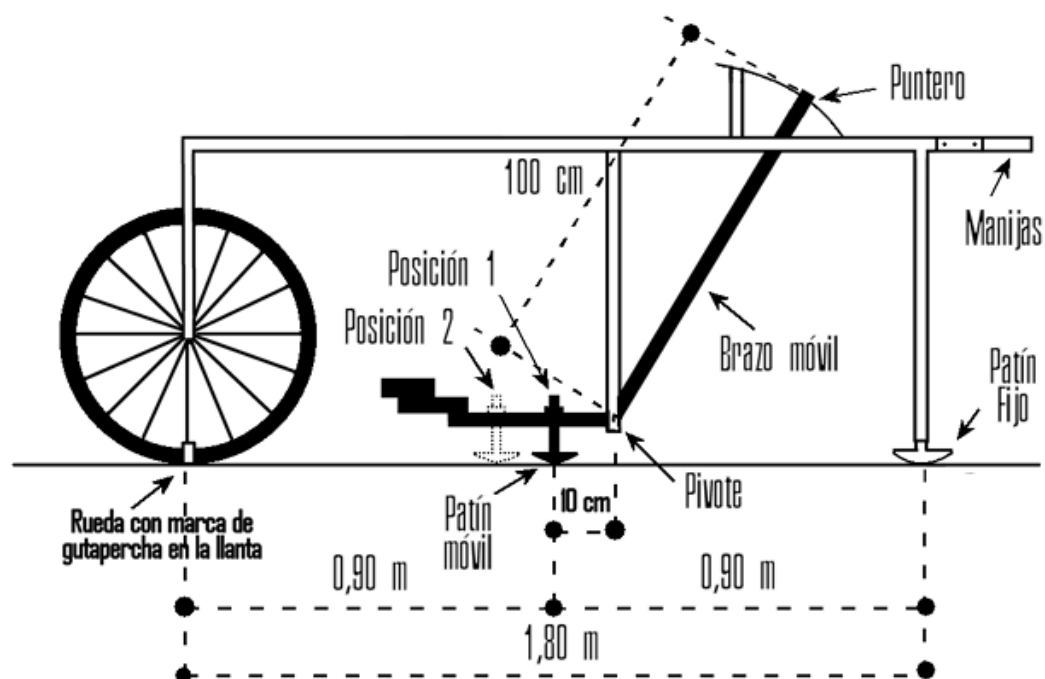
útil como método de estimación fiable del IRI cuando se requieren costos bajos y procedimientos replicables (MTC, 2014; Cundill, 1991).

2.2.4.1.2 Aspecto general del MERLIN

El MERLIN es un dispositivo robusto y sencillo, compuesto por un marco metálico de 1.8 metros de longitud. Este está equipado con una rueda delantera, un pie trasero rígido y un probe (sonda) ubicado en el centro del dispositivo, que se utiliza para medir las irregularidades de la carretera. La estructura del MERLIN le permite desplazarse a lo largo del pavimento, tocando el suelo en dos puntos específicos para registrar las mediciones de rugosidad. Su diseño, similar al de una carreta larga, facilita su uso manual, permitiendo tomar las mediciones de manera directa (Cundill, 1991; Del Águila, 1999).

Figura 8

Esquema general del MERLIN



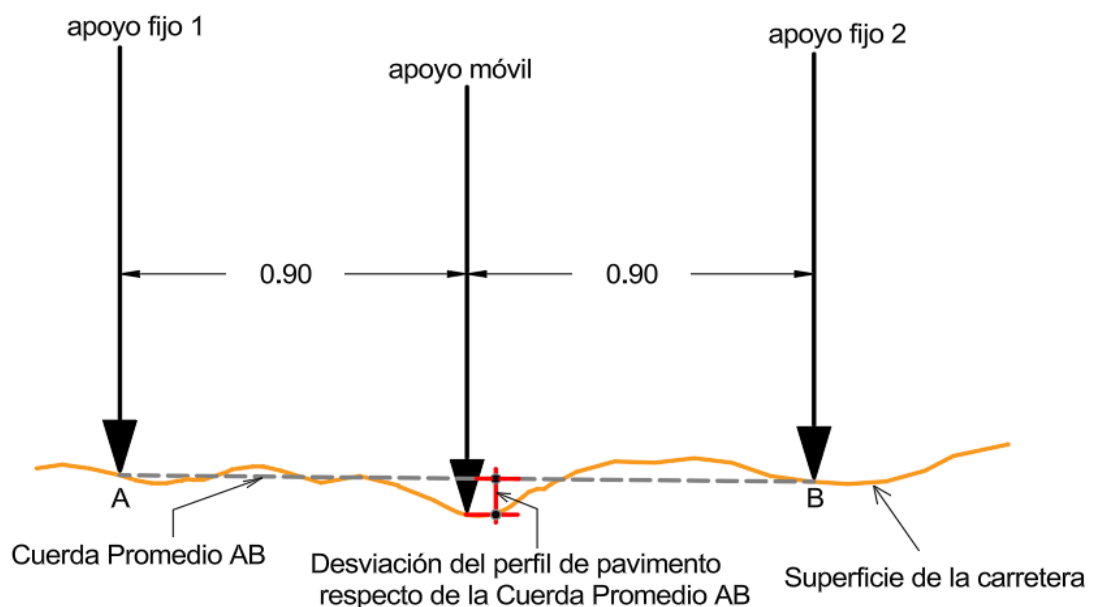
Nota. Adaptado de *Manual del Usuario MERLINER™*. MERLIN Equipo para Rugosidad (p.6), por P. Del Águila, 1999, Camineros S.A.C.

2.2.4.1.3 Principio de funcionamiento.

La operatividad del rugosímetro MERLIN se fundamenta en el registro de la deflexión vertical existente entre la superficie de rodadura y un eje longitudinal de referencia definido por los puntos de apoyo del equipo. Este parámetro, denominado “desviación respecto a la cuerda promedio”, se determina utilizando una longitud de arco de 1.8 metros, dimensión estandarizada que permite obtener una alta correlación con el IRI .La amplitud de estas variaciones se procesa posteriormente mediante la elaboración de un histograma de frecuencias, donde la dispersión de los valores medidos permite cuantificar el nivel de rugosidad en unidades MERLIN (Del Águila, 1999).

Figura 9

Medición de la desviación de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio



Nota. Adaptado de *Manual del Usuario MERLINER™*. MERLIN Equipo para Rugosidad (p. 5), por P. Del Águila, 1999, Camineros S.A.C.

2.2.4.1.4 Método de uso

Para utilizar el MERLIN, se deben realizar 200 mediciones a intervalos regulares a lo largo de la vía, con una medición cada vez que la rueda completa una revolución. Estas mediciones se registran mediante el puntero que se mueve sobre un gráfico adjunto al tablero del instrumento, y la posición de este puntero se anota en un formato de campo. El análisis gráfico de estos datos permite calcular la rugosidad del pavimento utilizando el parámetro "Rango" (D), el cual se obtiene luego de depurar el 10% de las observaciones de los extremos del histograma de frecuencias (Cundill, 1991; Del Águila, 1999).

2.2.4.1.5 Correlaciones IRI – MERLIN

Con base a Cundill (1991), cuando el IRI esperado se encuentra en el intervalo $2.4 < \text{IRI} < 15.9 \text{ m/km}$, el IRI puede estimarse a partir del rango "D" mediante:

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \quad (2)$$

Donde:

- IRI: Índice de Rugosidad Internacional (m/km)
- D: rango "D" MERLIN (mm)

Para pavimentos asfálticos nuevos o muy lisos, en los que se espera $\text{IRI} < 2.4 \text{ m/km}$, la Fórmula (1) no resulta representativa. En estos casos, siguiendo a Del Águila (1999), se utiliza:

$$\text{IRI} = 0.0485 D \quad (3)$$

Donde:

- IRI: Índice de Rugosidad Internacional, m/km
- D: rango “D” MERLIN (mm)

2.2.4.1.6 Método para el cálculo de la rugosidad.

En su investigación, Del Águila (1999) adaptó y perfeccionó el enfoque original del TRRL, integrando las mejores prácticas del MERLIN desarrolladas por Cundill, y ajustándolas al contexto operativo peruano y a otras regiones con condiciones viales particulares. Esta adecuación metodológica incrementó la pertinencia, precisión, y reproducibilidad de las mediciones en diversas condiciones del pavimento. Sobre esta base Del Águila (1999) propuso el siguiente método para el cálculo de la rugosidad:

A) Cálculo del rango “D”:

Para generar las 200 lecturas requeridas en la determinación de la rugosidad con MERLIN, se utiliza una escala arbitraria de 50 divisiones dispuesta en el tablero del equipo, sobre la cual se registran las posiciones del puntero del brazo móvil. La división 25 corresponde a la posición central del puntero cuando el perfil del pavimento coincide con la línea o cuerda promedio.

- Si la mayoría de lecturas se concentran en tono a la división 25 (baja dispersión), el pavimento presenta un perfil cercano a la cuerda promedio (rugosidad baja).
- Si, por el contrario, abundan lecturas alejadas de la división 25 (alta dispersión), el perfil exhibe múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos se evalúa elaborando la distribución de frecuencias de lecturas (histograma). Luego se determina el Rango (D) siguiendo el procedimiento MERLIN:

- **Depuración del 10 %:** se descarta el 5 % inferior y el 5 % superior de las 200 lecturas (10 datos en cada cola), eliminando posiciones poco representativas o erráticas.
- **Determinación del rango “D”:** tras el descarte, se calcula el ancho efectivo entre los extremos remanentes. Si la eliminación corta dentro de un intervalo, se incorpora la fracción proporcional de ese intervalo y se suman las unidades completas más las fracciones de los extremos.
- **Conversión a milímetros:** como cada división de la escala equivale a 5 mm, el rango D en milímetros se calcula como: $D_{(mm)} = D \times 5 \text{ mm}$

B) Factor de corrección (F.C.) para el ajuste de “D”:

Las Ecuaciones (2) y (3) que vinculan el rango “D” con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) fueron desarrolladas asumiendo una relación de brazos 1:10 en el rugosímetro MERLIN (véase Figura 8). En la práctica, dicha relación puede variar por el desgaste del patín del brazo móvil, alterando las lecturas. Por ello es necesario verificar la relación de brazos actual del equipo y calcular un factor de corrección (F.C.) que permita llevar los valores a condiciones estándar antes de convertir a IRI (m/km). A continuación se detalla el procedimiento de determinación del factor de corrección (F.C.):

1. **Medición del espesor de la pastilla (EP):** se emplea una pastilla (disco de bronce), usualmente de 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor. Para verificar su espesor real, se mide con calibrador (vernier) con aproximación a 0.1 mm en cuatro puntos diametralmente opuestos. El espesor “EP” se obtiene como el promedio aritmético de las cuatro lecturas.

2. Lectura inicial (L_i) en superficie plana: colocar el MERLIN sobre una superficie plana y registrar la posición inicial del puntero con el patín móvil apoyado directamente al piso.

3. Lectura final (L_f) con pastilla: levantar el patín móvil y colocar la pastilla bajo él, manteniendo el equipo en la misma posición. Registrar la posición final del puntero.

En una relación ideal 1:10, el desplazamiento teórico del puntero equivale a $EP \times 10$ en mm; como cada división vale 5mm, el desplazamiento ideal en divisiones sería $(EP \times 10)/5$.

4. Cálculo del (F.C.) : Se usa la siguiente fórmula:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(L_i - L_f) \times 5} \quad (4)$$

Donde:

- EP: espesor de la pastilla (mm).
- L_i : posición inicial del puntero (divisiones).
- L_f : posición final del puntero (divisiones).

C) Variación de la relación de brazos (R.B.)

El brazo pivotante del dispositivo MERLIN ofrece dos configuraciones operativas según las condiciones de la superficie. La **posición estándar**, situada a 10 cm del pivote, establece una relación de amplificación de **1:10**, siendo la configuración idónea para superficies de baja rugosidad o pavimentos recién construidos. Por el contrario, para la evaluación de caminos afirmados o pavimentos con degradación

severa, el patín se desplaza a 20 cm del eje de rotación, modificando la relación a **1:5**. En este último escenario, es imperativo aplicar un factor de corrección de 2 al valor de dispersión (“D”) obtenido para normalizar los resultados.

D) Cálculo del rango “D” corregido (Dc):

El valor “D” calculado deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (F.C.) y la Relación de Brazos (R.B.) utilizada durante los ensayos. El valor corregido de “D” se obtiene mediante la siguiente fórmula: $D_c = D \times F.C. \times R. B.$

Este valor corregido de “D” representa la rugosidad en unidades MERLIN llevado a condiciones estándar.

E) Determinación de la rugosidad en la escala del IRI:

La conversión se establece mediante las ecuaciones 5 y 6, donde D es la rugosidad en escala MERLIN corregida (en mm) y IRI se expresa en m/km:

$$\text{Cuando } 2.4 < \text{IRI} < 15.9, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \quad (5)$$

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2.4, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.0485 D \quad (6)$$

2.2.4.1.7 Limitantes del MERLIN

- Desarrollado para superficies de rodadura asfáltica, granular o afirmado, por lo que las ecuaciones de correlación no son aplicables en pavimento rígido.
- El error medio esperado es del 10% para caminos deteriorados, por lo que no se usa para control de calidad y es de bajo rendimiento en comparación a los equipos actuales.

2.2.5 Definición de términos básicos

- **Asfalto :** El asfalto se define como una sustancia cementante de tonalidades oscuras, cuya composición química predominante son los betunes. Este material puede extraerse de yacimientos naturales o derivarse de los procesos de refinación de petróleo crudo, donde se halla en concentraciones variables. Su importancia radica en su capacidad de cohesión para integrar los agregados en la carpeta de rodadura. (MTC, 2018b, p.4).
- **Camino :** vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas (MTC, 2018b, p.6).
- **Carretera :** Se define como la infraestructura destinada al flujo de vehículos motorizados con un mínimo de dos ejes, cuyo diseño debe ajustarse estrictamente a las directrices técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Esto implica que sus componentes críticos, tales como el perfil longitudinal, la inclinación transversal, la configuración de la sección y la naturaleza de la superficie de rodadura, deben satisfacer los estándares de ingeniería vigentes (MTC, 2018b, p.7).
- **Carretera pavimentada :** Carretera cuya superficie de rodadura, está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Portland (rígida) (MTC, 2018b, p.7).
- **Carril :** Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito (MTC, 2018b, p.7).
- **Conservación vial:** es un proceso que involucra actividades de obras e instalaciones, que se realizan con carácter permanente o continuo en los tramos conformante de una red vial (MTC, 2018b, p.24).
- **Capa de rodadura :** Constituye el estrato externo de la estructura vial, pudiendo presentar naturaleza asfáltica (flexible), de concreto hidráulico (rígido) o pavimentada con bloques de adoquín. Su misión fundamental consiste en absorber y resistir de forma inmediata las cargas dinámicas generadas por el tráfico (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p.13).
- **IMD:** El Índice Medio Diario, es una medida del volumen promedio de tránsito vehicular que circula diariamente por un tramo de vía. Se calcula como el número total de vehículos que pasan en un período determinado, dividido entre los días de dicho período (González & Ordoñez, 2006, p.8).

- Pavimento: Sistema edificado sobre el terreno de fundación para absorber y disipar las cargas vehiculares, optimizando la seguridad y el confort del usuario. Habitualmente, esta infraestructura se compone de niveles superpuestos definidos como: subbase granular, base técnica y la superficie de rodamiento final (MTC, 2018b, p.17).
- Pavimentos flexibles: Representa un sistema multicapa edificado sobre la subrasante para absorber y disipar las cargas vehiculares, optimizando la seguridad y el confort del usuario. Generalmente, esta infraestructura se compone de niveles superpuestos definidos como: estrato de subbase, base técnica y superficie de rodamiento (MTC, 2014a, p.25).
- Nivele de Servicio: Se definen como parámetros métricos que evalúan la operatividad de una infraestructura vial. Funcionan como umbrales críticos de tolerancia que regulan el deterioro permitido en términos de integridad superficial, capacidad estructural, confort funcional y estándares de seguridad (Menéndez,2016, p.206).
- Red vial Vecinal o Rural : Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito local, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distrito, éstos entre sí, con centros poblados o zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamental o regional (MTC, 2007).
- Superficie de rodadura : Constituye la capa superior de la estructura del pavimento, diseñada para recibir y distribuir de manera inmediata las solicitudes mecánicas derivadas del tránsito vehicular (MTC, 2018b, p.21).
- Vía : Representa la infraestructura vial integral, conformada por la superficie de rodadura y el conjunto de elementos técnicos o estructuras auxiliares que garantizan su operatividad y soporte (MTC, 2018b, p.23).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica

La presente investigación se desarrolló en la región Cajamarca, provincia Cajamarca, distrito de Baños del Inca, específicamente en el tramo Tartar Chico y el Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071. Este tramo pertenece a la red vial vecinal y presenta condiciones topográficas onduladas, propias de la sierra peruana, con altitudes que oscilan entre los 2,500 y 2,800 m s. n. m.

- **Región:** Cajamarca
- **Provincia:** Cajamarca
- **Distrito:** Baños del Inca
- **Vía:** Carretera vecinal CA-1071
- **Tramo:** Desde el sector de Tartar Chico hasta el Empalme 08-B

A continuación, se presentan las coordenadas de los puntos inicial y final del tramo evaluado, tanto en el sistema de proyección geográfica UTM (Datum WGS 84, Zona17M) y en coordenadas geográficas, así como la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm).

Tabla 6

Coordenadas de los Puntos Inicial y Final del Tramo de Estudio

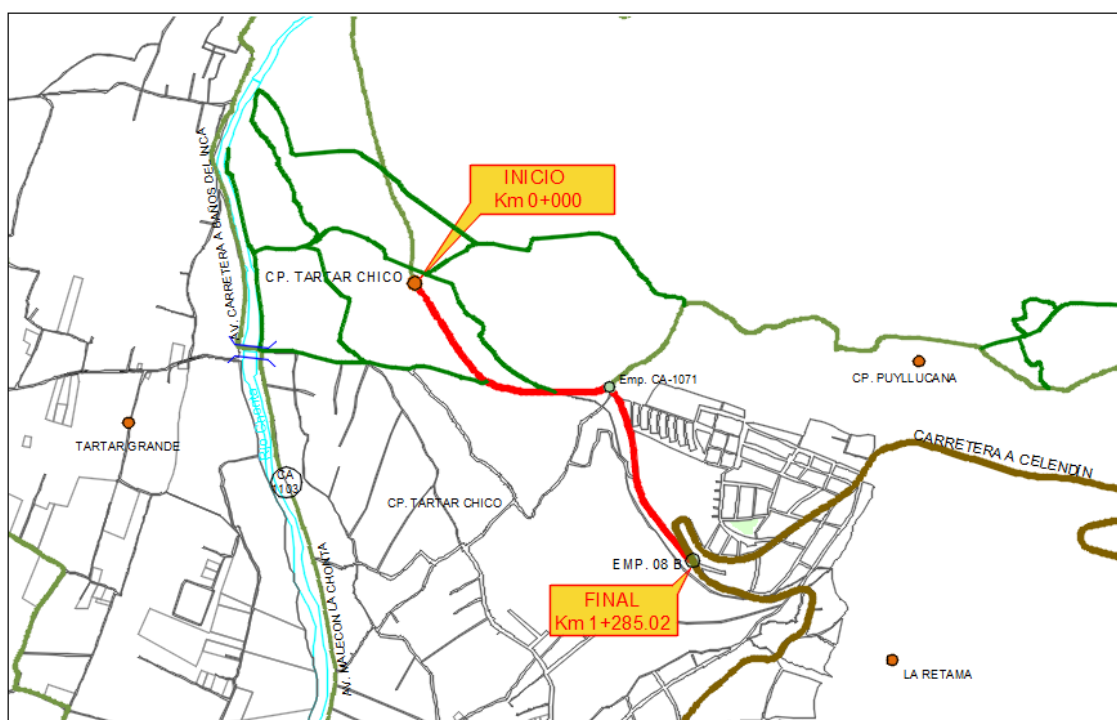
Punto	Progresiva (Km)	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM: WGS84 17M	Elevación (msnm)
Inicio : C.P. Tartar Chico	0+000	Longitud: -85.5165 Latitud: -7.1284	Este: 780167.7118 Norte: 9209610.2863	2711.20

Punto	Progresiva (Km)	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM: WGS84 17M	Elevación (msnm)
Final : Empalme PE 08-B	1+285.02	Longitud: -78.4566 Latitud: -7.1509	Este: 780920.0100 Norte: 9208793.9335	2737.47

En la Figura 10 se muestra la ubicación de la zona de estudio correspondiente al tramo de la carretera vecinal CA-1071, comprendido entre el Centro Poblado (C.P.) Tartar Chico (progresiva 0+000) y el Empalme PE-08B (progresiva 1+285.02). La traza del corredor se resalta con una línea segmentada roja, permitiendo identificar con claridad el eje vial y los hitos de inicio y fin del tramo.

Figura 10

Ubicación del Tramo de Estudio: CA-1071 (C.P. Tartar Chico – Empalme 08-B)



3.2 Tiempo de desarrollo de la investigación.

La investigación se desarrolló desde el julio del 2024 a diciembre del 2025.

3.3 Metodología

3.3.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, de nivel descriptivo y de diseño no experimental, transversal, orientada a evaluar la rugosidad superficial de un tramo de carretera en el distrito de Los Baños del Inca (Cajamarca, Perú). El método es cuantitativo, basado en mediciones sistemáticas con el rugosímetro MERLIN y alineado con los lineamientos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, adecuado para contextos peruanos donde la disponibilidad de tecnología avanzada puede ser limitada.

3.3.2 Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación

Población: Está constituida por la totalidad de la superficie de rodadura de la carretera vecinal CA-1071, comprendida entre el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B, ubicado en el distrito de Baños del Inca, Cajamarca. Este tramo representa un segmento vial de interés para la evaluación técnica y funcional de su estado superficial.

Muestra : La muestra está conformada por los tramos efectivamente evaluados mediante el quipo MERLIN. Se aplicó un muestreo no probabilístico intencional, seleccionando tramos consecutivos que abarcaron la mayor parte de la carretera, con el fin de asegurar que los datos recolectados reflejaran adecuadamente las condiciones del pavimento en toda la extensión del tramo evaluado.

Unidad de análisis : Cada tramo evaluado de aproximadamente 400 metros de longitud del pavimento flexible, sobre el cual se determina el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y se realiza la clasificación del estado funcional del pavimento.

En total se evaluaron tres (03) tramos, considerando dos carriles por tramo y dos huellas por carril, lo que da lugar a doce (12) unidades de análisis, correspondientes a los valores de IRI obtenidos por huella en cada tramo.

La Tabla 7 detalla los tramos considerados, sus progresivas y el número de lecturas realizadas en cada caso.

Tabla 7

Tramos evaluados, progresivas y número de lecturas realizadas

Tramo	Progresiva (km)	Carriles evaluados	Huellas evaluadas	Longitud por huella (m)	N.º lecturas por huella	N.º lecturas por carril	N.º lecturas por tramo
Tramo 01	0+00 al 0+425	Derecho / Izquierdo	Interna y Externa	400	200	400	800
Tramo 02	0+425 al 0+827.50	Derecho / Izquierdo	Interna y Externa	400	200	400	800
Tramo 03	0+827.50 al 1+227.50	Derecho / Izquierdo	Interna y Externa	400	200	400	800

Unidad de observación : La unidad de observación está conformada por cada lectura individual de desviación registrada por el rugosímetro MERLIN, obtenida durante el levantamiento de campo a lo largo de cada huella evaluada.

3.3.3 Técnicas e Instrumentos de recopilación de información

3.3.3.1 Técnicas de recolección de datos

En esta investigación se emplearon técnicas de enfoque cuantitativo, en correspondencia con los objetivos y el tipo de estudio. Las técnicas permitieron recopilar datos empíricos medibles sobre la rugosidad del pavimento, necesarios para establecer la relación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el estado superficial del pavimento flexible.

Técnicas utilizadas:

Observación técnica estructurada: Se empleó esta técnica para el relevamiento de datos en campo sobre la condición externa del pavimento. El proceso consistió en una evaluación visual directa, siguiendo estrictamente los lineamientos y estándares técnicos estipulados en la normativa vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2016).

Medición instrumental: Mediante el uso del equipo MERLIN, se procedió a la captura de datos para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Este proceso se ejecutó bajo los lineamientos operativos del Manual MERLINER, asegurando una evaluación técnica estandarizada de la regularidad longitudinal de la vía.

3.3.3.2 Instrumentos de recolección de datos

- Ficha técnica de inspección vial: Formato estructurado en el que se registraron los datos de cada segmento analizado (IRI, ubicación, singularidades, IMD, etc.).
- Base de datos estadística (hoja de cálculo): Herramienta utilizada para organizar los valores obtenidos y facilitar su análisis estadístico, categorización

3.4 Procedimiento

El procedimiento para la determinación del estado superficial de la vía en estudio se estructuró en fases secuenciales y reproducibles, orientadas a garantizar la calidad metrológica de las mediciones de rugosidad y, con ello, una evaluación precisa de la condición funcional del pavimento. A continuación, se describen las fases:

3.4.1 Fase I: Inspección visual y depuración del Tramo

Se efectuó un reconocimiento integral del tramo con apoyo de odómetro (control de progresivas), georreferenciación (GPS y estación total) y registro fotográfico para documentar singularidades de la plataforma y su entorno inmediato. Se identificaron y registraron buzones, intersecciones, badenes, gibas/rompemuelles, cambios de tipo de superficie, cortes y otras incidencias que pueden incrementar el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Cada singularidad se registró por progresiva, con su descripción y evidencia fotográfica (véanse Anexos). Con base en esta información y a fin de preservar la representatividad del IRI en los tramos de pavimento flexible a evaluar con MERLIN, se aplicaron los siguientes criterios de depuración:

- **Zona de cambio de superficie:** Se identificó un badén de concreto de 20.50m de longitud (progresivas 0+353.40 a 0+373.90 km). En este segmento no se efectuaron ensayos con MERLIN, por cuanto las ecuaciones de correlación del método no son aplicables a pavimentos rígidos.
- **Singularidades no asociadas a cambios de superficie :** Se registran las lecturas con el MERLIN y, al tratarse de datos atípicos no representativos, quedan comprendidos dentro del 10 % de lecturas descartadas establecido por el método.

A continuación, se listan las singularidades por progresiva y observaciones correspondientes, de acuerdo con el registro de campo.

Tabla 8

Singularidades presentadas en el Tramo

Progresiva (km)	Observaciones
0+000	Inicio del tramo, paradero de combis
0+17.40	buzón
0+33.30	giba de 1.50m d ancho
0+67.30	buzón
0+130.40	buzón
0+133.40	intersección en ambos carriles
0+211.50	buzón
0+291.80	buzón
0+323.60	buzón
0+342.10	giba de 1.50 m de ancho
0+351.70	buzón
0+353.40	inicio badén de concreto
0+359.80	intersección carretera a Puyllucana
0+373.90	fin de badén de concreto
0+393.20	giba de 1.50 m de ancho

Progresiva (km)	Observaciones
0+419.10	buzón
0+500.10	buzón
0+553.20	buzón
0+560.90	intersección
0+565.80	corte
0+568.30	buzón
0+580.60	giba de 2.50m de ancho
0+608.70	intersección
0+648.20	buzón
0+713	buzón
0+736.10	buzón, intersección en ambos carriles
0+750.90	intersección
0 +807.10	buzón
0+863.90	buzón, intersección
0+960.10	buzón
1+000	buzón
1+010	intersección
1+111	buzón
1+180.60	buzón
1+224	buzón
1+270.70	buzón
1+285.02	Empalme, fin del tramo

3.4.2 Fase II: Levantamiento topográfico

Se efectuó el levantamiento topográfico de la superficie de la vía mediante estación total Leica TS 06, y se realizó el siguiente procedimiento :

a) Reconocimiento y Planificación: Visita al terreno para identificar puntos estratégicos para la estación total y establecer la ruta del eje de la carretera.

b) Establecimiento de la Poligonal de Apoyo : Colocación de estacas y demarcación de puntos fijos para formar una poligonal abierta.

c) Instalación y orientación de la Estación Total : Montaje, nivelación y centraje del instrumento sobre un punto conocido de la poligonal.

Se realizó la introducción de coordenadas de la estación y altura del instrumento.

Orientación hacia otro punto conocido para asegurar la orientación correcta del levantamiento.

d) Levantamiento de detalles (radiación) : Se realizó la toma de puntos en el eje de la carretera, bordes de bermas y cunetas y buzones.

e) Registro y procesamiento de datos : El almacenamiento de puntos en la memoria estación total.

Se procesaron los puntos en el software AutoCad y Civil 3D para generar el plano de ubicación, planta y perfil longitudinal.(véase Anexos, planos : PU-01 y PP-01).

Con base en la inspección visual, el levantamiento topográfico y las mediciones complementarias con cinta métrica, se delimitaron los carriles y huellas de rodadura (huella interna, próxima al eje, y huella externa, próxima al borde), tal como se ilustran en la Figuras 11 y 12. A partir de ello, se establecieron las siguientes características geométricas del tramo:

- Tipo de superficie de rodadura: pavimento flexible (mezcla asfáltica en caliente)
- Longitud total del tramo: 1 285.02 metros

- Ancho total de calzada: 6.60 metros, distribuido en dos carriles de 3.30 metros cada uno.
- Sentido de circulación: bidireccional, con flujo vehicular en ambos sentidos.
- Número de carriles: 2 (uno por sentido).
- Ancho de bermas laterales: 0.60 metros a cada lado de la calzada; cumplen función de apoyo estructural y seguridad
- Cunetas laterales: 0.60 metros de ancho a cada lado para drenaje longitudinal de la vía, favoreciendo la evacuación de escorrentías y protección del paquete estructural.
- Ancho total de la plataforma vial (calzada + bermas + cunetas): 9.00 m.
- Pendiente ponderada del perfil longitudinal del eje del tramo es de 2.74 %
- Pendientes transversales al eje varían entre 4.4 % a 19.3 %

Figura 11

Sección Típica del Tramo Tartar Chico-Empalme PE-B

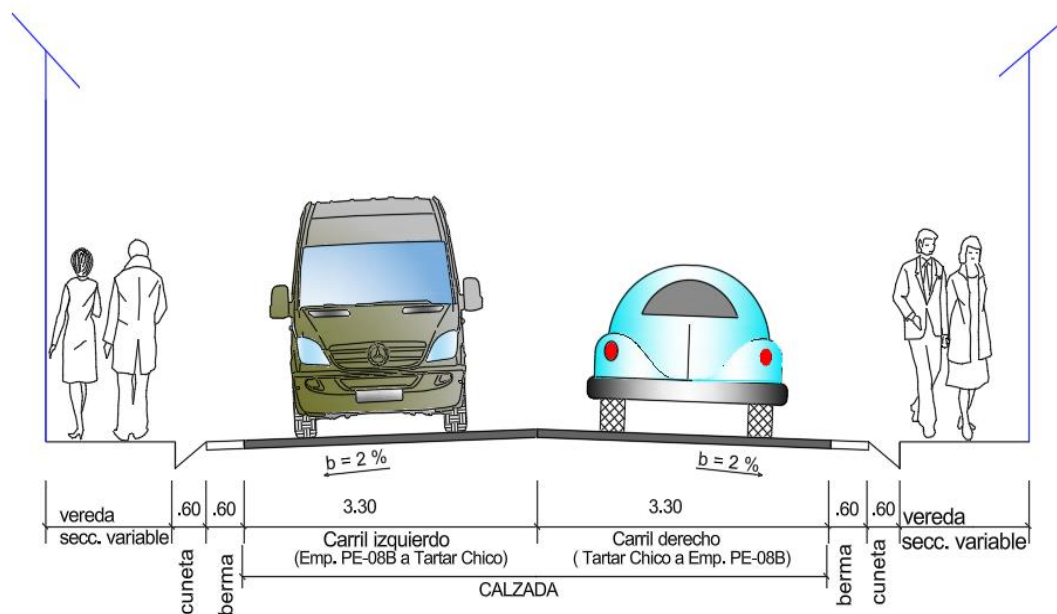


Figura 12

Identificación de Carriles y Huellas de Rodadura para medición con MERLIN



3.4.3 Fase III: Estudio del tráfico, jerarquización y clasificación vial:

3.4.3.1 Cálculo del Índice Medio Diario Semanal (IMDs)

Se efectuó un conteo vehicular continuo durante siete (7) días y en jornadas de 24 horas, registrando el número y la tipología de vehículos que transitaron por el tramo. Con esta información se determinó el Índice Medio Diario semanal (IMDs) conforme a la metodología del MTC, utilizando el promedio diario simple de los volúmenes observados en la semana completa de aforo:

$$IMDs = \frac{\sum_{t=1}^7 V_t}{7} = \frac{7\,648}{7} = 1092.57 \frac{veh}{día} \approx \mathbf{1093 \text{ veh/día}}$$

Donde V_t es el volumen total registrado entre las 00.00 y las 24:00 del día (t).

Tabla 9*Conteo Vehicular (21 – 27 de octubre de 2024)*

Día	Auto	Station Wagon	Pick Up	Panel	Combi	Bus 2E	Camión 2E	Camión 3E	Total
Lunes	405	58	200	40	440	10	45	50	1,248
Martes	375	38	189	24	391	5	30	38	1,090
Miércoles	345	33	192	31	386	3	30	48	1,068
Jueves	389	27	189	24	385	3	30	48	1,095
Viernes	404	41	202	32	385	3	38	34	1,139
Sábado	400	54	175	22	360	3	30	39	1,083
Domingo	339	23	198	20	280	5	28	32	925
Total	2,657	274	1,345	193	2,627	32	231	289	7,648
IMDs	380	39	192	28	375	5	33	41	1093

3.4.3.2 Cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA)

El IMDA se estimó a partir del IMDs mediante un intervalo de confianza para la media, incorporando la corrección por muestro sin reemplazo:

$$IMDA = IMDS \pm k * \sigma$$

donde:

- $IMDs = 1093$ veh/día
- $k = 1.96$ (95% de confianza)

- $n = 7$ días (semana completa 24h), $N = 365$ días del año, y x_i es el tránsito diario observado.
- σ : Desviación estándar poblacional, calculada con la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} ,$$

- S : Desviación estándar muestral, calculada con la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \text{IMDS})^2}{n-1}}$$

Tabla 10

Desviación Estándar del Conteo Semanal de Vehículos

Día	Tránsito	$(X_i - \text{IMDS})^2$	$\sum (X_i - \text{IMDS})^2$	S	σ
	diario				
	(vehículos) x_i				
Lunes	1,248	24,025			
Martes	1,090	9			
Miércoles	1,068	625			
Jueves	1,095	4	55,103	95.83	35.92
Viernes	1,139	2,116			
Sábado	1,083	100			
Domingo	925	28,224			

Con los datos de las Tablas 9 y 10 se obtuvo:

$$s = \sqrt{\frac{55\,103}{(7-1)}} = 95.83$$

Luego

$$\sigma = \frac{95.83}{\sqrt{7}} \sqrt{\frac{365-7}{365-1}} = 35.92$$

Cálculo del Tránsito medio Diario Anual: $IMDA = 1093 \pm 1.96 * 35.92$

- $Max_{IMDA} = 1164$
- $Min_{IMDA} = 1023$

Con un 95% de confianza, el tránsito medio diario anual del tramo se ubica entre 1023 y 1 164 veh/día, eligiendo el mayor estimado (**1164 veh. /día**).

3.4.3.3 Jerarquización y Clasificación Vial.

Tras el procesamiento del aforo vehicular ejecutado, se determinó un Índice Medio Diario (IMD) de 1164 vehículos/día. Este volumen de demanda permite categorizar la infraestructura evaluada como una carretera de **segunda clase**, cumpliendo estrictamente con los criterios de clasificación jerárquica establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Asimismo, considerando el Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), el tramo analizado forma parte de la Red Vial Vecinal o Rural, identificado con la ruta N.º CA -1071, que comprende la trayectoria: Emp. PE-3N B - Liriopampa - Molino del Arco - Emp. CA-1090 - Otuzco -La Victoria - Alto Otuzco - Tartar Chico - Emp. PE-08 B.

Finalmente, del levantamiento topográfico efectuado se evidenció que, en función de sus características orográficas, la vía es Tipo 2 (terreno ondulado).

3.4.4 Fase IV: Ejecución de los ensayos con el MERLIN

La ejecución de los ensayos requirió la participación de un equipo de trabajo conformado por un operario, responsable de la conducción manual del equipo y la toma de lecturas; un auxiliar de campo encargado del registro de las mediciones; y dos auxiliares de seguridad vial, quienes garantizaron la señalización y protección de la zona de trabajo mediante la colocación de conos de seguridad.

Las mediciones se llevaron a cabo empleando el rugosímetro MERLIN, siguiendo estrictamente el procedimiento establecido en el Manual MERLINER, el cual define pautas técnicas y operativas necesarias para la seguridad la confiabilidad de los resultados obtenidos:

3.4.4.1 Medición de la rugosidad de la superficie de rodadura

De acuerdo con lo establecido por el MTC, la evaluación con el equipo MERLIN se realizó en ambas huellas de cada carril, ubicadas a 0.80 m y 2.30 m del borde derecho en el sentido de circulación, considerando que los dos carriles del tramo evaluado presentan un ancho inferior a 3.50 m.

El procedimiento consistió en que el operario condujo el equipo MERLIN de forma continua a una velocidad promedio de 2 km/h sobre la huella en evaluación, deteniéndose cada vez que la rueda realizaba una vuelta.

En cada ensayo, las lecturas obtenidas con el equipo MERLIN fueron registradas por el auxiliar de campo en un formato estandarizado, siguiendo un orden de izquierda a derecha. Este procedimiento se repitió de manera sistemática hasta obtener un total de 200 lecturas por perfil, lo que permitió cubrir una longitud aproximada de 400 m por muestra.

En la Figura 13 se presenta el formato de campo durante los ensayos de rugosidad, el cual sirvió como base para el procesamiento y análisis posterior de los resultados.

Figura 13

Formato de Campo para Registro de Mediciones

OBRA:											TECNICO DE CAMPO									
											ING. RESPONSABLE									
TRAMO:											FECHA									
MEDICION DE LA RUGOSIDAD MERLIN - REGISTRO DE CAMPO																				

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

Nota. Formato utilizado durante los ensayos

3.5 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 11

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTE O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN
V1: Estado superficial del pavimento flexible	Condición funcional de la superficie de rodadura del pavimento flexible, medida a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).	Rugosidad longitudinal del pavimento	1. Valores promedio del IRI por carril 2. Clasificación del pavimento según rangos IRI (Muy Buena, Buena, Regular, Mala, Muy Mala)	Rugosímetro MERLIN, Mediciones IRI
V2: Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	Medición de la rugosidad longitudinal del pavimento, que se utiliza como indicador del deterioro y la calidad de la superficie de rodadura.	Rugosidad longitudinal	1. IRI por tramo y carril 2. Clasificación del pavimento	Rugosímetro MERLIN, Manual de Carreteras del MTC

3.6 Matriz de consistencia

Tabla 12

Matriz de Consistencia

Problema general	Objetivos	Variables	Dimensiones	Metodología
¿Cuál es el estado superficial del pavimento flexible en el tramo Tartar Chico - Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, en el distrito de Baños del Inca, provincia y región de Cajamarca, determinado mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI)?	Objetivo General: Determinar el estado superficial del pavimento flexible en tramo Tartar Chico - Empalme 08-B de la carretera vecinal CA-1071, en el distrito de Baños del Inca, provincia y región Cajamarca, mediante el análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).			Método cuantitativo, descriptivo y no experimental con diseño transversal.
	Objetivo Específico 1: Medir la rugosidad del pavimento flexible utilizando el rugosímetro MERLIN, según las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).	V1: Estado superficial del pavimento flexible	Dimensión 1: Condición funcional de la superficie de rodadura, medida mediante el IRI.	Se utilizará el rugosímetro MERLIN para medir la rugosidad, y se analizarán los datos obtenidos comparándolos con los rangos de clasificación establecidos por AASHTO y el MTC. Además, se propone un enfoque de intervención técnica basado en los resultados obtenidos.
	Objetivo Específico 2: • Clasificar el estado superficial del pavimento flexible en los carriles de los tramos de la carretera Tartar Chico – Empalme 08-B, utilizando los valores del IRI obtenidos con MERLIN, y comparándolos con los rangos de clasificación de IRI establecidos por las normativas internacionales (AASHTO) y el MTC.		Dimensión 2: Medición de la rugosidad longitudinal del pavimento con el IRI.	
	Objetivo Específico 3: • Comparar los valores obtenidos del IRI con el límite máximo admisible establecido por el MTC para pavimentos con carpeta asfáltica en caliente durante su periodo de servicio, con el fin de identificar los carriles que requieren mantenimiento o intervención. Objetivo Específico 4: Proponer recomendaciones técnicas de conservación vial para los tramos con IRI superior al valor admisible, a fin de garantizar la seguridad vial y prolongar la vida útil del pavimento.	V2: Índice de Rugosidad Internacional (IRI)		

3.6.1 Fase V: Cálculos

3.6.1.1 Cálculo de la Rugosidad

a) Cálculo del Rango (D) de la Muestra.

Para el cálculo del rango D se procesaron 200 datos por cada unidad de análisis, correspondientes a las huellas de cada carril de los tramos evaluados, conforme a la metodología establecida por el equipo MERLIN.

A modo de ilustración, se presenta el cálculo aplicado a los datos registrados del carril izquierdo, huella interna, correspondiente al tramo Km 0+000 - km 0+425 (véase Figura 14).

Siguiendo el método MERLIN, se aplicó una depuración del 10% sobre los 200 datos, eliminando el 5% inferior y 5% superior del histograma de mediciones. Este proceso implicó la exclusión de 10 datos en cada extremo de la distribución, con el fin de reducir la influencia de valores atípicos y obtener una representación más confiable de la variabilidad de la muestra.

A partir del histograma de frecuencias, la depuración se realizó de la siguiente manera :

- **Del extremo inferior.** Se eliminaron las lecturas 7, 14, 15, 16 y 17, completando un total de 10 datos.
- **Del extremo superior.** Se eliminaron las lecturas 44, 42, 41, 39 y 38, sumando 6 datos. Adicionalmente, se depuraron 4 de los 5 registros asociados a la lectura 36, lo que generó una unidad fraccionada equivalente a $1/5 = 0.20$.

Como el conjunto de datos previamente depurado, se procedió a determinar el rango D. El valor obtenido fue el siguiente:

$$D = 0+18+0.20 = 18.20 \text{ unidades.}$$

Para expresar este resultado en milímetros, se multiplicó el número de unidades por el valor correspondiente a cada unidad (5mm), obteniéndose: 18.20 unidades x 5mm= 91.00 mm.

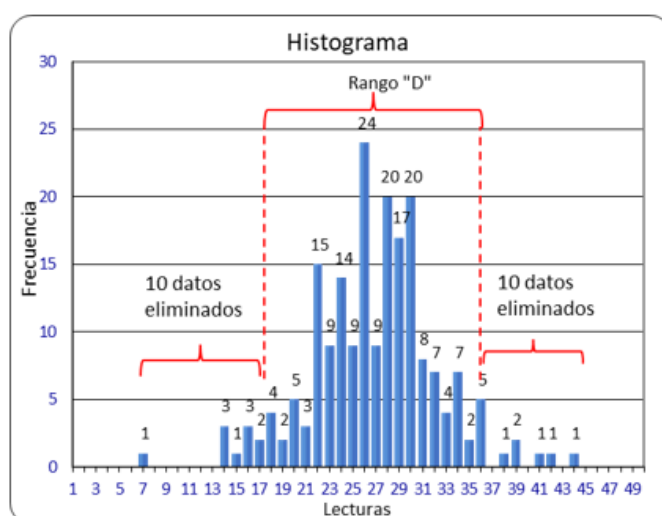
Figura 14

Cálculo del rango “D” para el Carril Izquierdo Huella Interna del km 0+00 al km 0+425.

Datos obtenidos del ensayo con MERLIN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	34	34	28	35	28	28	34	22	23
2	34	22	42	26	17	29	26	24	25	28
3	23	29	22	28	30	31	30	33	31	26
4	26	22	26	34	29	26	19	23	23	25
5	31	22	26	31	24	25	26	23	30	32
6	24	30	24	33	22	23	31	29	26	18
7	34	26	22	28	22	32	16	20	36	32
8	29	14	26	21	25	30	30	27	35	29
9	31	24	26	29	23	25	29	22	28	25
10	28	28	29	26	26	30	28	27	30	27
11	26	24	30	21	23	18	22	27	29	36
12	32	39	24	30	30	28	26	26	33	27
13	25	28	28	16	29	28	21	16	20	22
14	14	17	24	20	30	22	25	30	32	29
15	38	7	22	30	29	28	20	31	20	32
16	34	19	22	25	27	18	24	30	29	27
17	36	30	23	24	32	26	15	39	29	30
18	29	24	26	30	28	28	41	36	44	30
19	36	14	18	33	22	31	26	28	26	24
20	30	28	27	26	28	26	24	24	29	26

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



b) Factor de corrección para el ajuste de “D”

El factor de corrección (F.C.) se calcula utilizando la fórmula:

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

Donde:

- EP: espesor de la pastilla (mm).
- Li: posición inicial del puntero.
- Lf: posición final del puntero.

Para el cálculo del factor de corrección, se utilizó un disco circular de bronce (pastilla) con un diámetro de 5 cm y un espesor de 6.1 mm. El proceso consistió en realizar dos lecturas:

1. Lectura inicial (Li): se registró el valor indicado por el puntero del patín móvil cuando el equipo MERLIN se colocó sobre una superficie plana.

2. Lectura final (Lf): Se realizó la lectura correspondiente al colocar la pastilla debajo del patín móvil, apoyada sobre el piso.

Este procedimiento fue repetido un total de catorce veces. Los resultados de las lecturas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13

Cálculo del Factor de Corrección

Lectura sin pastilla	Lectura con pastilla	Diferencia	FC
33	21	12	1.02
21	7	14	0.87
25	13	12	1.02

Lectura sin pastilla	Lectura con pastilla	Diferencia	FC
31	19	12	1.02
26	12	14	0.87
31	20	11	1.11
26	12	14	0.87
29	19	10	1.22
30	20	10	1.22
32	20	12	1.02
33	18	15	0.81
29	15	14	0.87
32	19	13	0.94
33	18	15	0.81
Promedio			0.98

De los factores de corrección (FC) calculados, se obtuvo un factor de corrección promedio de 0.98, el cual se utilizó para ajustar el valor de “D”. Este factor de corrección promedio permitió realizar el cálculo del D corregido, asegurando así una medición más precisa y ajustada de la rugosidad.

c) Relación de brazos (RB):

El patín del brazo pivotante del rugosímetro utilizado está ubicado a 10 cm del punto de pivote, lo que corresponde a una posición estándar. En consecuencia, la relación de brazos para los ensayos fue de 1 a 10, lo que implica que el valor de **RB** es **1**.

d) Cálculo del Rango “D” corregido:

Para calcular el rango D corregido, se multiplica el valor del rango D obtenido por el factor de corrección (F.C.) y por la relación de brazos (RB), conforme a la expresión: $D \times FC \times RB = 91.00 \text{ mm} \times 0.98 \times 1 = 89.18 \text{ mm}$

De este modo, el rango corregido (D), que representa la rugosidad en unidades MERLIN para el ensayo, es 89.18 mm, lo que refleja el ajuste final después de aplicar el factor de corrección y la relación de brazos.

3.6.1.2 Determinación de la Rugosidad en Escala IRI

La rugosidad calculada mediante la metodología del MERLIN se convierte en unidades IRI (m/km) a través de un modelo de correspondencia específico. Para la presente evaluación, se implementó una ecuación de correlación orientada a superficies asfálticas en servicio que presentan valores de IRI estimados por encima de 2 m/km:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 D, \text{ cuando } 2.4 < IRI < 15.9$$

Sustituyendo el valor de D= 89.18 mm:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 89.18 \text{ mm}$$

$$IRI = 4.79 \text{ m/km}$$

De manera similar, se procedió a determinar la rugosidad en unidades IRI para cada carril (derecho e izquierdo) y sus respectivas huellas (externa e interna), obteniendo dos valores de IRI por tramo (para tres tramos continuos).

3.6.1.3 Cálculo del IRI Característico (IRI_c)

Los valores de IRI calculados fueron empleados para determinar el IRI característico (IRI_c) de cada carril de los tres tramos evaluados. De acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014a), para una carretera de segunda clase con carpeta asfáltica en caliente, durante el periodo de servicio, el valor del IRI característico no debe superar los 4.00 m/km, considerando un nivel de confiabilidad del 90% (véase Tabla 2).

El cálculo del IRI_c se realizó conforme a lo establecido en el Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2016), aplicando la siguiente expresión:

$$IRI_c = \overline{IRI} + 1.282 \times ds$$

Donde:

- IRI_c : IRI característico (m/km).
- $\overline{IRI}$: promedio de los valores de IRI medidos (m/km)
- Para una confiabilidad del 90%, el factor es de 1.282
- ds : desviación estándar de las mediciones (m/km)

3.7 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados

3.7.1 Tratamiento y análisis de datos

El pavimento evaluado presenta una longitud de 1285.02 m, el cual fue segmentado en tres tramos consecutivos para su análisis. La recolección de datos se realizó mediante el uso del rugosímetro MERLIN, registrándose 200 lecturas con un intervalo de 2m en cada unidad de evaluación.

Las mediciones se efectuaron en las huellas de rodadura de ambos carriles, considerándose cuatro huellas en total (huella interna y externa por cada carril). Como resultado de este procedimiento, se obtuvo un total de 2400 observaciones para el procesamiento y análisis correspondiente.

3.7.2 Análisis de las unidades de muestras tomadas

3.7.2.1 Tramo 01: km 0+000 al km 0+425

En este tramo se identificó un badén de 20.50 m de longitud (véase Figura 15), en el cual no se realizaron mediciones debido a que la superficie de rodadura es de concreto. De manera similar, no se realizaron mediciones en tres gibas de 1.50 m de ancho cada una, ya que el puntero del equipo MERLIN excedía el rango de la escala gráfica del tablero, imposibilitando la obtención de lecturas confiables.

Las demás singularidades presentes durante el proceso de medición, como buzones y baches, fueron incluidas dentro del conjunto de los 200 datos requeridos para el cálculo de la rugosidad por huella, considerando que la metodología contempla la depuración del 10% de los registros con baja significancia estadística o alta variabilidad.

En consecuencia, al no haberse realizado mediciones en los 20.50 m del badén ni 4.50 m correspondientes a las gibas, para el Tramo 01 se consideró una longitud efectiva de 425 m, suficiente para completar los 200 datos por huella necesarios para el análisis.

Figura 15

Badén de concreto de 20.50m de longitud



Este badén se localiza en la intersección del desvío hacia el centro poblado Puyllucana, zona por la que transitan principalmente vehículos de transporte público provenientes de Tartar Chico con destino a Los Baños del Inca. Debido a la alta intensidad de tráfico en este sector, el Tramo 01 presenta una degradación más acentuada de la capa de rodadura en comparación con los otros tramos evaluados.

3.7.2.2 Tramo 02: km 0+425 al km 0+827.50

En este tramo se identificó la presencia de una giba de 2.50 m de longitud que, durante la medición con el equipo MERLIN ocasionó que el puntero quedara fuera del rango de la escala gráfica, impidiendo la obtención de lecturas en ese punto. Por ello, se continuó con el proceso de medición hasta completar los 200 datos por huella, considerando como límites del tramo las progresiva km 0+425 y km 0+ 0.827.50.

Al igual que en el Tramo 01, se registraron todas las lecturas del puntero cuando el equipo MERLIN coincidió con las demás singularidades presentes a lo largo del recorrido, incorporándolas dentro del conjunto de datos para el análisis.

Figura 16

Giba de 2.50m de ancho



3.7.2.3 Tramo 03: km 0+827.50 al km 1+227.50

En el Tramo 03, no se identificaron singularidades, tales como cambios en el material de la superficie del pavimento ni elementos que pudieran ocasionar que el puntero saliera del rango de la escala gráfica. En consecuencia, el tramo presenta una longitud de 400 m, comprendida entre las progresivas km 0+827.50 y km 1+227.50.

3.7.3 Tratamiento y análisis de datos de cada unidad de la muestra

Se realizó un análisis estadístico descriptivo para el cálculo de la rugosidad a partir de los datos obtenidos en cada unidad de análisis. Estos datos fueron representados en histogramas de frecuencias, lo que permitió identificar la tendencia central y la distribución de los valores registrados. Con el fin de mejorar la robustez del análisis, se descartó el 10% de los valores más alejados, correspondientes a frecuencias muy bajas y con escasa representatividad en la determinación de la medida de dispersión (D).

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación empírica para convertir el valor de D en el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Con base en estos resultados, se elaboraron tablas para la clasificación de la condición del pavimento flexible evaluado.

A continuación se presenta la Tabla 14, la cual permite identificar de manera clara y precisa las unidades de análisis correspondientes a cada huella y carril de los tramos evaluados.

Tabla 14*Unidades de análisis por muestra*

Muestra	Progresiva	Unidad de análisis (Ui)		Datos
Tramo 01	km 0+00 - km 0+425	Carril derecho	U1: Huella externa	200
			U2: Huella interna	200
		Carril izquierdo	U3: Huella externa	200
			U4: Huella interna	200
Tramo 02	km 0+425- km 0+827.5	Carril derecho	U5: Huella externa	200
			U6: Huella interna	200
		Carril izquierdo	U7: Huella externa	200
			U8: Huella interna	200
Tramo 03	km 0+827.50- km 1+227.50	Carril derecho	U9: Huella externa	200
			U10: Huella interna	200
		Carril izquierdo	U11: Huella externa	200
			U12: Huella interna	200
Total		12	2400	

3.7.4 Presentación de Resultados

3.7.4.1 Resultados del IRI

Se presentan los resultados obtenidos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para el tramo Tartar Chico – Empalme PE 08B, el cual fue dividido en tres muestras (tres tramos) conformando un total de 12 unidades de análisis. Cada muestra comprende dos carriles (derecho e izquierdo), evaluándose en cada uno la huella interna y externa correspondiente.

Los resultados se desglosan por unidad de análisis, detallando los valores obtenidos para cada tramo, carril y huella evaluada.

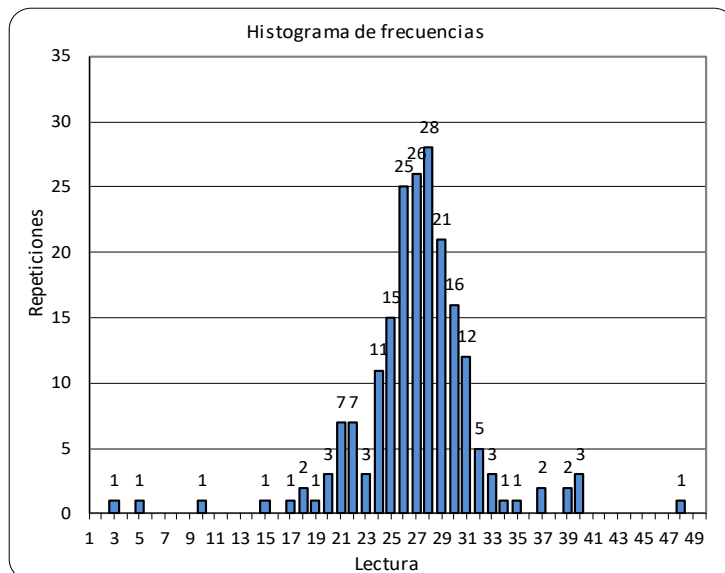
Figura 17

Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U1 Carril Derecho Huella Externa

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	31	25	26	28	27	30	28	24	25	29
2	27	39	19	23	40	32	27	29	26	25
3	26	18	30	24	32	34	33	21	29	15
4	10	25	26	22	27	23	40	37	29	27
5	17	31	28	21	26	27	22	30	24	20
6	29	33	22	30	28	28	31	29	28	37
7	29	31	29	25	30	39	40	33	21	27
8	26	31	29	29	31	27	28	28	27	26
9	28	26	27	30	26	29	28	28	30	30
10	27	30	28	27	26	28	29	27	28	24
11	24	26	31	21	30	26	23	35	28	27
12	29	3	27	28	29	27	21	25	27	28
13	25	25	30	26	28	28	28	20	27	20
14	24	25	26	25	26	21	27	28	22	25
15	25	24	24	25	27	25	30	27	22	28
16	27	26	28	28	28	26	30	32	27	24
17	28	29	30	26	30	27	26	24	32	29
18	31	29	30	26	26	24	28	5	48	29
19	18	22	26	31	28	31	25	22	32	26
20	29	26	29	26	31	27	27	21	29	31

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 66.67 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 65.33 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 3.67 IRI (m/km)

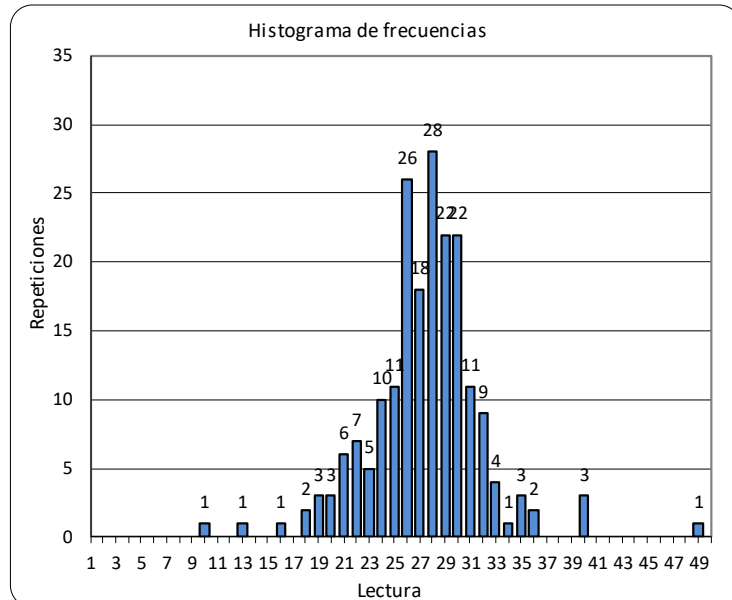
Figura 18

Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U2 Carril Derecho Huella Interna

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	24	29	30	26	30	24	30	13	49
2	35	31	23	27	19	29	21	30	30	28
3	30	27	28	29	19	26	40	27	31	28
4	27	28	21	22	29	35	26	27	31	31
5	29	29	28	33	25	31	28	32	18	31
6	22	40	22	32	26	31	33	30	29	26
7	30	26	25	10	19	25	32	24	27	26
8	24	28	23	25	30	27	29	27	28	29
9	26	25	28	25	29	30	30	29	29	28
10	28	32	29	24	30	28	28	28	27	32
11	23	28	35	33	33	20	22	28	21	26
12	28	29	28	29	21	31	32	29	27	25
13	28	30	26	28	29	26	27	22	26	25
14	26	26	26	26	28	26	31	26	22	26
15	26	30	29	20	29	21	23	26	30	28
16	28	27	27	32	25	28	31	31	30	21
17	34	22	26	29	36	30	29	30	32	27
18	26	27	40	36	18	20	24	24	28	30
19	24	24	26	27	29	28	32	24	25	30
20	26	23	30	16	27	28	30	28	25	26

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 66.67 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 65.33 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 3.67 IRI (m/km)

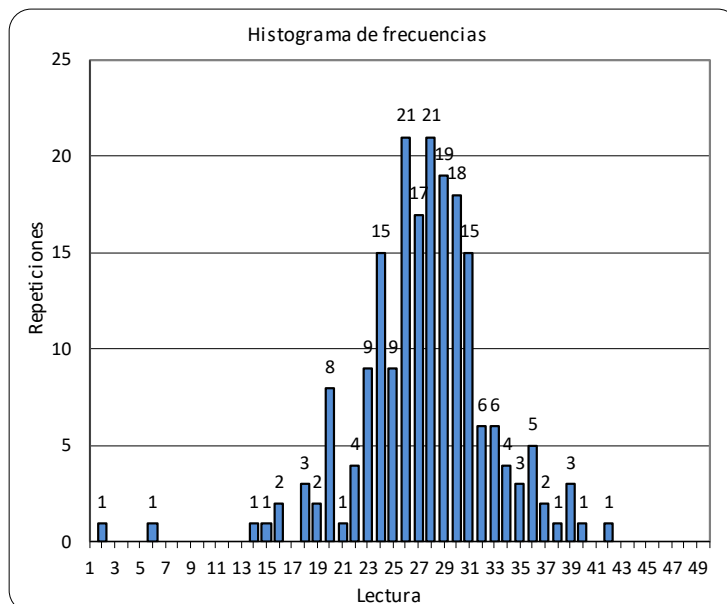
Figura 19

Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U3 Carril Izquierdo Huella Externa

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	28	31	26	24	30	30	27	19	24
2	24	27	26	28	28	26	26	23	27	23
3	29	22	26	28	37	28	31	27	27	20
4	23	30	28	38	39	20	40	42	36	28
5	28	31	24	31	36	31	33	30	39	30
6	15	35	30	24	31	20	14	28	34	23
7	33	31	30	32	18	27	24	26	23	25
8	28	32	29	26	24	23	30	27	28	22
9	30	30	29	28	31	32	24	33	26	30
10	33	25	29	29	28	28	27	27	23	29
11	28	20	26	30	22	18	30	16	2	25
12	6	28	25	24	23	33	28	29	29	31
13	20	24	27	25	20	26	25	32	32	29
14	29	28	26	29	34	30	28	29	20	26
15	24	27	24	30	26	36	36	19	29	29
16	27	25	31	26	24	30	31	31	29	25
17	18	29	20	29	26	27	23	26	36	32
18	22	26	26	26	37	35	39	28	31	34
19	24	21	34	29	30	31	29	28	35	25
20	27	33	27	27	26	16	26	30	24	31

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 85.50 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 83.79 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 4.54 IRI (m/km)

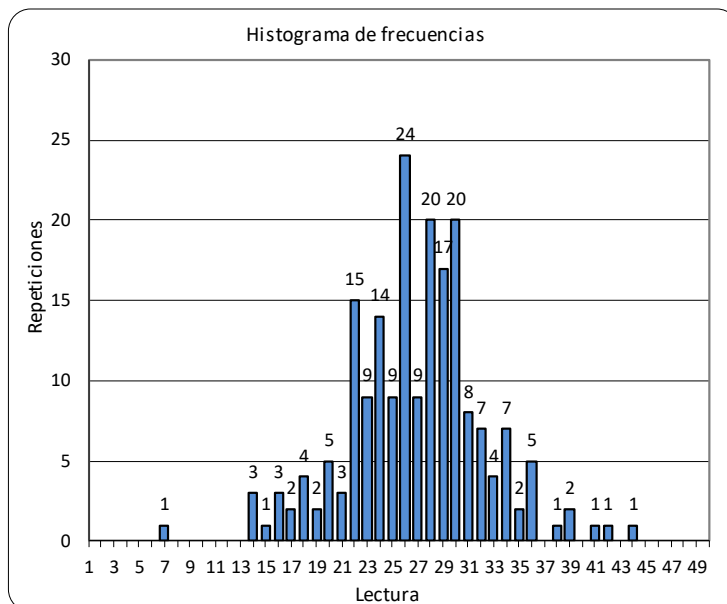
Figura 20

Muestra: Tramo 01-Unidad de Análisis: U4 Carril Izquierdo Huella Interna

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	34	34	28	35	28	28	34	22	23
2	34	22	42	26	17	29	26	24	25	28
3	23	29	22	28	30	31	30	33	31	26
4	26	22	26	34	29	26	19	23	23	25
5	31	22	26	31	24	25	26	23	30	32
6	24	30	24	33	22	23	31	29	26	18
7	34	26	22	28	22	32	16	20	36	32
8	29	14	26	21	25	30	30	27	35	29
9	31	24	26	29	23	25	29	22	28	25
10	28	28	29	26	26	30	28	27	30	27
11	26	24	30	21	23	18	22	27	29	36
12	32	39	24	30	30	28	26	26	33	27
13	25	28	28	16	29	28	21	16	20	22
14	14	17	24	20	30	22	25	30	32	29
15	38	7	22	30	29	28	20	31	20	32
16	34	19	22	25	27	18	24	30	29	27
17	36	30	23	24	32	26	15	39	29	30
18	29	24	26	30	28	28	41	36	44	30
19	36	14	18	33	22	31	26	28	26	24
20	30	28	27	26	28	26	24	24	29	26

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 91.00 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 89.18 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 4.79 IRI (m/km)

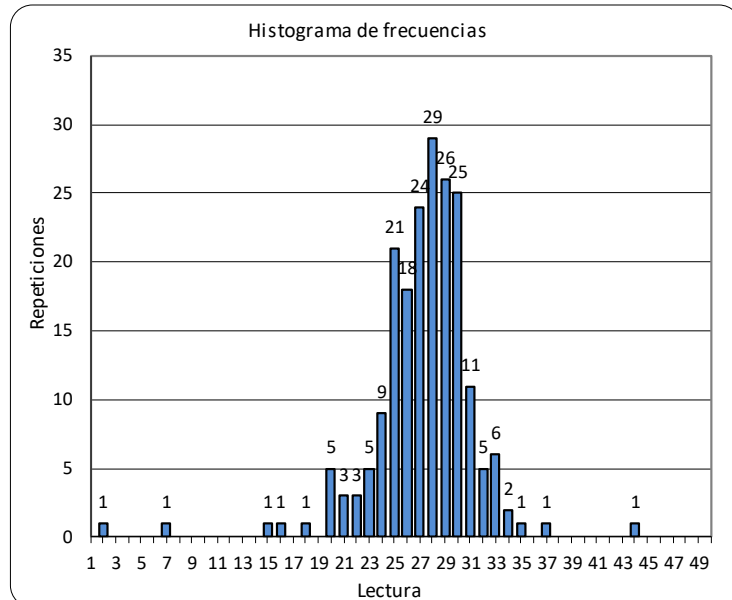
Figura 21

Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U5 Carril Derecho Huella Externa

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	30	28	25	27	25	27	33	31	29
2	29	28	28	26	29	31	25	31	26	25
3	30	29	27	26	30	25	27	29	24	26
4	26	28	30	29	31	28	30	28	29	29
5	29	30	28	31	24	26	24	29	23	21
6	23	28	18	29	29	21	28	29	31	25
7	31	30	27	27	30	29	32	37	27	34
8	21	26	28	28	35	32	30	28	34	29
9	30	28	25	28	26	26	29	23	27	28
10	25	33	30	27	27	26	29	28	33	29
11	27	25	29	25	31	33	28	31	27	28
12	26	32	32	28	28	31	29	30	25	24
13	29	26	30	27	28	23	28	27	30	30
14	25	28	27	26	30	28	25	30	25	29
15	22	27	24	24	28	29	30	28	29	27
16	27	33	26	2	16	32	20	31	30	15
17	20	25	26	27	25	30	28	30	20	23
18	28	7	27	22	27	25	24	26	20	44
19	30	27	22	25	25	25	29	28	30	24
20	33	27	26	29	30	27	30	26	25	24

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 60.83 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 59.62 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 3.40 IRI (m/km)

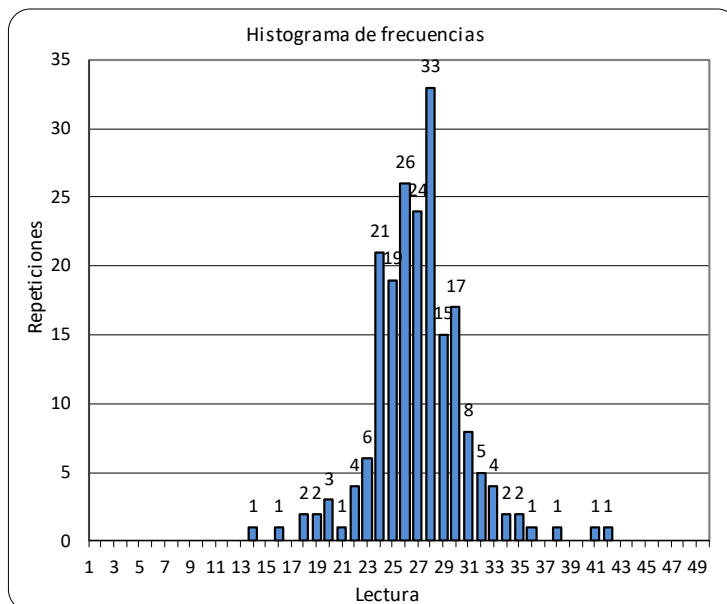
Figura 22

Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U6 Carril Derecho Huella Interna

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	25	25	28	28	29	27	24	24	26
2	30	26	23	28	28	25	25	24	25	29
3	27	28	26	30	28	25	28	24	25	25
4	26	24	24	26	16	26	38	23	25	25
5	26	24	28	30	26	27	24	32	26	28
6	27	30	33	24	29	24	24	28	32	23
7	33	26	19	31	34	27	28	27	28	31
8	18	42	23	28	28	24	22	25	27	29
9	25	31	30	26	27	28	31	26	24	27
10	29	28	28	31	24	28	25	33	28	27
11	28	27	27	28	27	25	25	23	22	28
12	23	30	28	29	26	26	25	27	31	27
13	27	30	29	20	24	30	28	28	28	30
14	28	30	27	24	29	29	27	26	24	26
15	25	29	28	26	26	28	26	31	29	26
16	24	35	14	41	24	18	22	33	24	34
17	26	20	36	30	27	32	27	20	30	19
18	25	30	32	25	22	32	21	26	30	29
19	29	35	30	28	27	26	28	29	27	28
20	27	30	26	24	26	27	28	30	31	29

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 57.50 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 56.35 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 3.25 IRI (m/km)

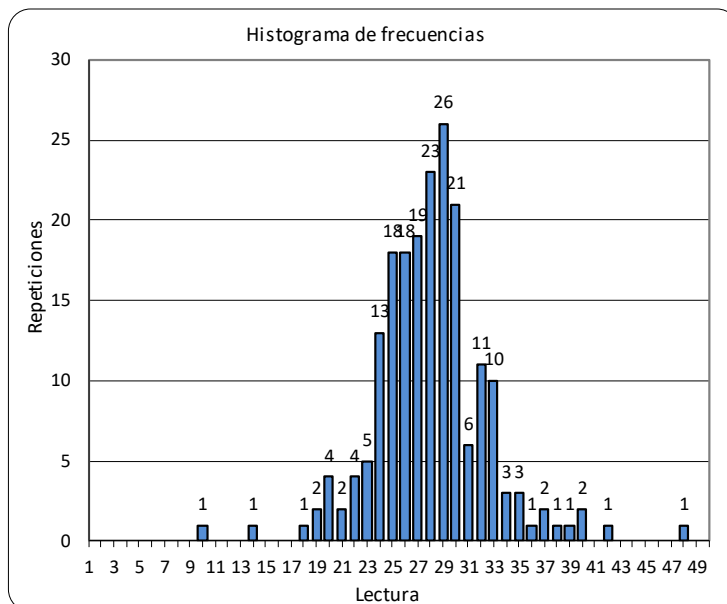
Figura 23

Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U7 Carril Izquierdo Huella Externa

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	27	30	28	29	33	24	33	29	29
2	29	30	29	25	32	30	26	29	27	29
3	30	23	35	26	30	30	29	27	29	28
4	28	27	27	26	27	30	28	32	32	33
5	26	28	22	30	29	30	10	28	28	24
6	30	25	20	29	25	29	30	28	32	31
7	38	23	32	28	23	31	14	29	32	23
8	19	40	33	37	34	33	39	33	29	21
9	26	30	26	31	30	27	33	30	25	34
10	25	22	42	26	20	34	25	21	25	31
11	27	27	30	32	24	30	25	24	27	27
12	30	28	29	29	23	30	26	30	26	18
13	28	29	31	25	27	28	25	28	33	27
14	26	27	24	30	24	29	26	28	28	24
15	26	33	24	32	35	35	24	27	25	24
16	28	29	22	25	30	26	37	32	19	36
17	29	26	29	20	48	33	20	27	26	24
18	22	29	25	40	25	28	29	24	25	28
19	31	26	28	28	29	32	28	29	27	25
20	27	28	26	32	24	27	28	25	29	25

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 70.83 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 69.42 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 3.86 IRI (m/km)

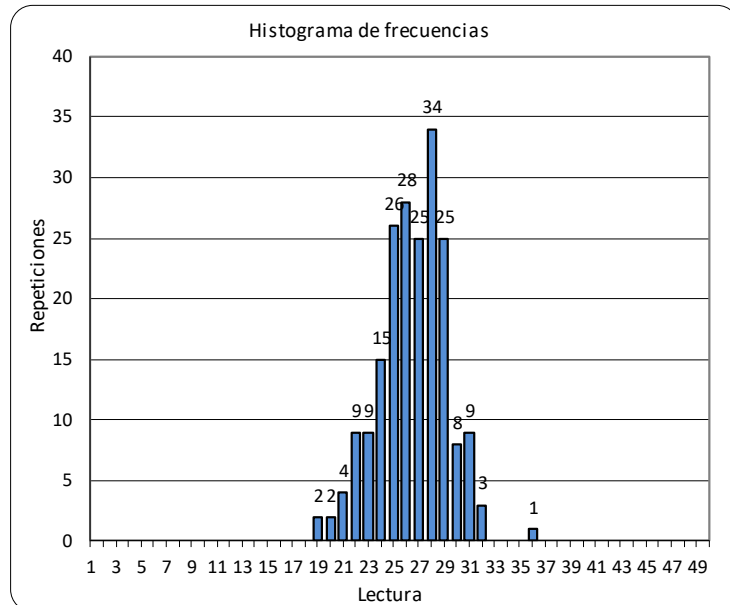
Figura 24

Muestra: Tramo 02-Unidad de Análisis: U8 Carril Izquierdo Huella Interna

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22	25	29	28	27	25	27	24	28	28
2	28	27	30	25	26	27	29	20	29	28
3	28	26	22	25	26	26	23	20	29	27
4	29	25	26	29	22	27	30	28	22	25
5	31	26	26	26	31	30	27	28	24	25
6	24	24	28	26	25	28	27	28	28	25
7	26	27	28	29	31	22	25	23	22	29
8	25	26	21	25	19	23	28	25	27	27
9	28	26	26	24	29	26	29	23	19	25
10	28	23	23	28	27	24	28	22	30	32
11	25	25	24	27	29	26	29	27	26	24
12	29	28	24	25	29	31	24	28	27	21
13	22	28	26	28	36	26	25	27	29	25
14	27	31	26	31	28	21	29	29	30	26
15	24	28	25	21	28	26	28	25	32	24
16	28	29	27	26	28	27	25	29	26	22
17	29	27	25	24	28	28	23	27	29	25
18	26	29	23	29	31	24	28	25	28	29
19	26	30	27	31	26	26	26	27	30	31
20	28	27	24	25	28	32	29	30	27	23

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 45.56 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 44.64 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 2.70 IRI (m/km)

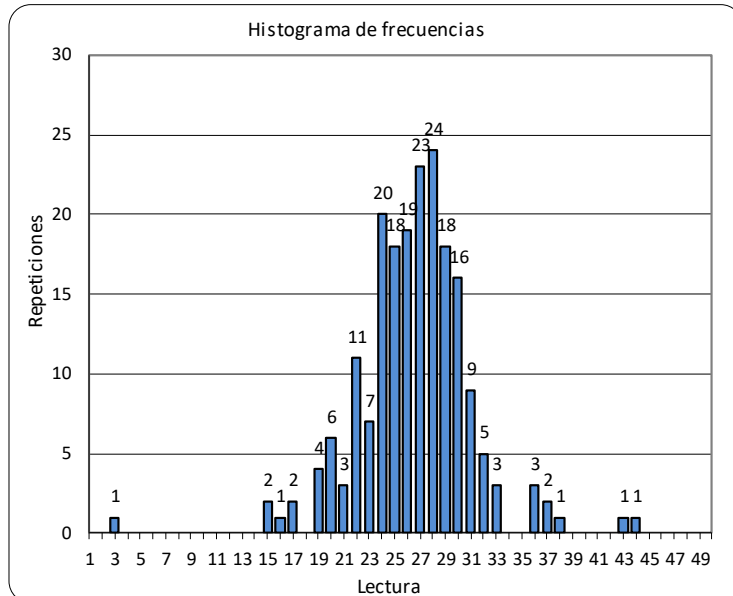
Figura 25

Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U9 Carril Derecho Huella Externa

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	22	21	22	24	25	29	28	28	29
2	26	24	28	33	32	23	30	28	30	15
3	32	27	24	32	22	28	24	25	28	26
4	28	27	31	24	26	28	25	29	26	29
5	29	27	22	24	31	31	30	28	31	28
6	19	20	22	27	29	24	30	28	24	25
7	28	29	25	21	28	27	26	25	30	27
8	29	38	3	25	20	21	23	20	33	19
9	23	36	30	26	23	24	17	17	32	27
10	24	27	29	37	23	30	22	26	28	26
11	28	22	27	30	25	25	23	24	26	30
12	26	24	30	27	28	22	25	36	25	26
13	22	36	27	30	27	31	27	30	22	16
14	26	29	26	29	24	29	25	31	30	28
15	29	27	28	22	27	20	24	44	15	24
16	27	24	28	25	27	29	26	28	29	25
17	30	29	24	31	31	27	37	32	26	33
18	27	26	28	25	27	25	28	29	27	28
19	25	24	19	26	26	31	24	26	30	30
20	27	20	43	20	27	29	24	23	19	25

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 66.67 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 65.33 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 3.67 IRI (m/km)

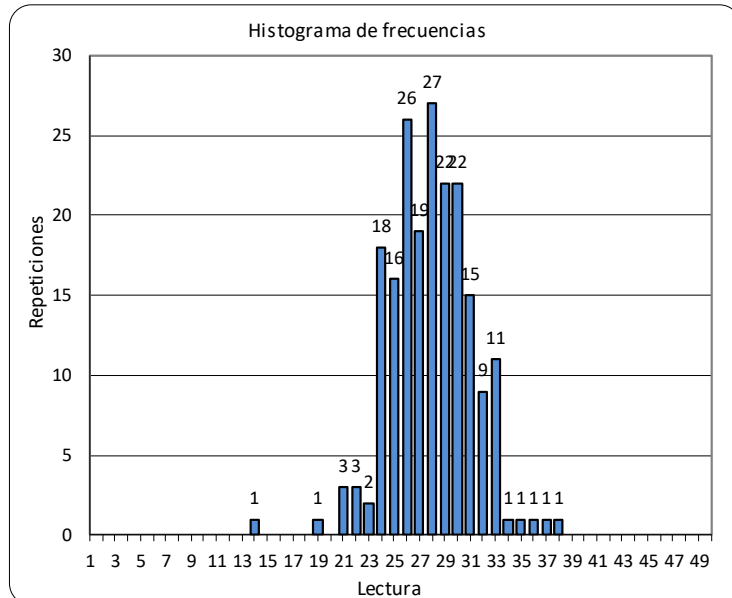
Figura 26

Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U10 Carril Derecho Huella Interna

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32	31	27	30	29	28	25	19	24	32
2	28	31	33	26	25	30	28	26	24	28
3	32	22	23	29	32	27	33	31	24	33
4	28	26	30	29	26	26	30	28	30	28
5	31	29	28	29	31	30	27	26	28	27
6	31	26	28	29	28	26	29	28	24	27
7	33	29	31	31	24	31	29	25	30	29
8	24	21	28	21	29	27	31	30	32	25
9	29	25	33	27	26	29	24	26	27	28
10	28	24	37	32	26	26	28	28	30	26
11	24	29	26	38	29	23	26	33	26	25
12	28	24	28	30	24	32	26	28	27	30
13	24	26	33	28	28	29	29	26	29	24
14	25	24	26	21	36	30	26	33	29	27
15	27	25	31	30	30	33	27	25	25	31
16	25	27	27	34	25	25	27	26	30	35
17	25	31	26	30	30	33	26	26	27	22
18	27	24	32	30	31	27	28	24	24	33
19	14	25	28	25	27	30	29	30	29	26
20	22	32	30	24	28	30	28	29	31	28

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 47.73 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 46.77 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 2.80 IRI (m/km)

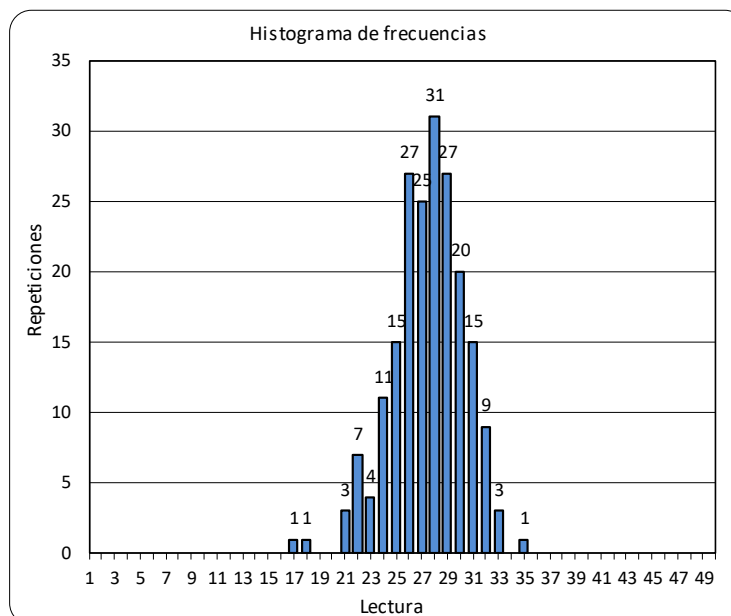
Figura 27

Muestra: Tramo 03-Unidad de Análisis: U11 Carril Izquierdo Huella Externa

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	28	26	33	28	29	27	30	29	27
2	27	26	28	25	29	24	28	29	31	30
3	18	31	29	31	22	27	28	25	27	28
4	29	26	30	26	31	32	25	26	28	27
5	24	29	24	27	31	24	32	26	26	29
6	26	29	21	25	22	30	30	26	31	25
7	27	23	28	26	27	32	26	26	26	27
8	27	28	29	28	25	26	26	27	27	25
9	26	28	21	23	28	24	30	27	26	29
10	30	35	31	30	29	27	29	28	22	28
11	26	27	21	24	26	27	29	27	26	25
12	27	28	25	27	31	28	24	24	26	28
13	32	24	30	29	29	28	26	22	33	27
14	29	25	26	28	33	32	31	27	32	28
15	25	28	29	30	17	23	22	29	29	25
16	29	25	30	22	24	23	24	28	31	28
17	29	25	30	30	28	22	26	28	32	27
18	30	32	28	27	28	31	29	30	30	28
19	26	25	31	29	26	30	31	30	26	28
20	27	29	29	32	31	30	28	31	30	29

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 48.10 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 47.13 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 2.81 IRI (m/km)

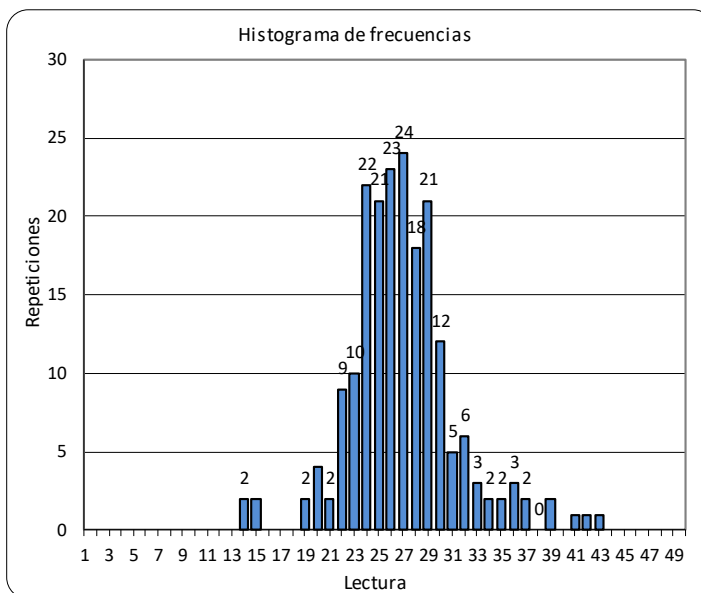
Figura 28

Muestra: Ttramo 03-Unidad de Análisis: U12 Carril Izquierdo Huella Interna

A. Distribución de Frecuencias:

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

Total de
datos 200



DATOS DE CAMPO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	25	31	27	32	22	29	30	29	27
2	30	29	24	27	22	25	39	41	28	26
3	28	25	27	24	26	28	30	30	29	29
4	27	27	32	28	26	22	26	29	27	28
5	24	29	42	32	33	15	34	35	24	26
6	25	21	26	43	36	14	15	31	27	29
7	25	30	22	27	31	19	33	32	24	28
8	27	27	25	28	24	26	29	25	24	28
9	26	35	23	27	30	27	25	28	28	23
10	20	30	24	20	27	26	27	32	21	24
11	25	25	28	30	23	24	28	29	26	27
12	29	25	25	25	24	28	24	26	29	29
13	26	29	28	22	26	23	31	20	26	29
14	29	23	29	24	24	36	30	39	37	24
15	32	33	27	24	37	34	22	23	36	20
16	28	27	29	28	27	23	26	25	25	24
17	27	22	29	27	26	24	24	25	24	28
18	26	29	14	30	30	23	26	23	25	24
19	26	27	22	25	23	30	27	29	25	25
20	27	26	28	26	25	26	19	22	24	31

B. Ancho del histograma:

Número de datos descartados: 20 (10 en cada extremo)

Rango D sin corrección 75.00 mm

Factor de Corrección 0.98

Rango D con corrección 73.50 mm

C. Cálculo de la Rugosidad:

$R = 0.593 + 0.0471D$ ($D > 40$)

R = 4.05 IRI (m/km)

Con base a los datos obtenidos de la medición de la rugosidad con el MERLIN, se calculó el IRI para los carriles de cada tramo, obteniendo los siguientes resultados :

Tabla 15

Resultados de Rugosidad para el Carril Derecho

Rugosidad del Carril Derecho									
Muestras	Progresivas		Ensayo con MERLIN		Rugosidad				
	Inicial (km)	Final (km)	Longitud (m)	Datos	Huella Externa		Huella Interna		IRI del carril ($\overline{IRI}$ promedio)
					D corregido (mm)	IRI (m/km)	D corregido (mm)	IRI (m/km)	
Tramo 01	0+000	0+425	425	200	65.33	3.67	65.33	3.67	3.67
Tramo 02	0+425	0+827.50	402.5	200	59.62	3.4	56.35	3.25	3.33
Tramo 03	0+827.50	1+227.50	400	200	65.33	3.67	46.77	2.80	3.24

Tabla 16*Resultados de Rugosidad para el Carril Izquierdo*

Rugosidad del Carril Izquierdo									
Muestras	Progresivas		Ensayo con MERLIN		Rugosidad				
	Inicial (km)	Final (km)	Longitud (m)	Datos	Huella Externa		Huella Interna		IRI del carril ($\overline{IRI}$ promedio)
					D corregido (mm)	IRI (m/km)	D corregido (mm)	IRI (m/km)	
Tramo 01	0+000	0+425	425	200	83.79	4.54	89.18	4.79	4.67
Tramo 02	0+425	0+827.50	402.5	200	69.42	3.86	44.64	2.70	3.28
Tramo 03	0+827.50	1+227.50	400	200	47.13	2.81	73.5	4.05	3.43

Los valores calculados para obtener el IRI por carril son promediados, resultando en un IRI de 3.60 m/km para el tramo Tartar Chico-Empalme 08B, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17

IRI (m/km) del tramo evaluado

Rugosidad del tramo en unidades IRI (m/km)								
Tramo	Muestras	Progresivas		Rugosidad				
		Inicial (km)	Final (km)	IRI (m/km)		IRI (m/km)		IRI (m/km) de la calzada del tramo
				carril derecho	carril izquierdo	carril derecho	carril izquierdo	
Tartar Chico-Empalme-08B	Tramo 01	0+000	0+425	3.67		4.67		4.17
	Tramo 02	0+425	0+827.50	3.33	3.41	3.28	3.79	3.31
	Tramo 03	0+827.50	1+227.50	3.24		3.43		3.34

3.7.4.2 Índice de Rugosidad Internacional Característico (IRI_c) del tramo evaluado

El valor del IRI característico (IRI_c) para el tramo evaluado se calculó de acuerdo con lo establecido en el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, empleando la siguiente expresión:

$$IRI_c = \overline{IRI} + 1.282 \times ds$$

A continuación, se presentan las siguientes tablas con el IRI_c calculados para el tramo evaluado:

a) IRI Característico por tramos y carril:

Tabla 18

IRI Característico por tramos del Carril Derecho

Muestras	IRI huella externa (m/km)	IRI huella interna (m/km)	$\overline{IRI}$ de la calzada (m/km)	Desviación estándar (ds)	IRI Característico (m/km)
Tramo 01	3.67	3.67	3.67	0.00	3.67
Tramo 02	3.4	3.25	3.33	0.08	3.42
Tramo 03	3.67	2.8	3.24	0.44	3.79

Tabla 19

IRI Característico por tramos del Carril Izquierdo

Muestras	IRI huella externa (m/km)	IRI huella interna (m/km)	$\overline{IRI}$ de la calzada (m/km)	Desviación estándar (ds)	IRI Característico (m/km)
Tramo 01	4.54	4.79	4.67	0.13	4.83
Tramo 02	3.86	2.7	3.28	0.58	4.02
Tramo 03	2.81	4.05	3.43	0.62	4.22

b) IRI Característico por carril del tramo Tartar Chico-Empalme 08-B :

Se procedió a calcular el IRI característico del carril derecho y del carril izquierdo para obtener un valor representativo de la rugosidad para cada carril en su totalidad :

Tabla 20

IRI característico del carril derecho

Tramo	Muestras	IRI de la calzada (m/km)	$\overline{IRI}$ del carril derecho	Desviación estándar (ds)	IRI Característico (m/km)
Tartar	Tramo 01	3.67	3.41	0.19	3.65
Chico-	Tramo 02	3.33			
Empalme- 08B	Tramo 03	3.24			

Tabla 21

IRI Característico del Carril Izquierdo

Tramo	Muestras	IRI de la calzada (m/km)	$\overline{IRI}$ del carril izquierdo	Desviación estándar (ds)	IRI Característico (m/km)
Tartar	Tramo 01	4.67	3.79	0.62	4.59
Chico-	Tramo 02	3.28			
Empalme- 08B	Tramo 03	3.43			

c) IRI Característico del tramo Tartar Chico-Empalme 08-B

El IRI del tramo evaluado es de 4.12 m/km, cuyos cálculos y valor obtenido se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22*IRI Característico del Tramo Tartar Chico-Empalme 08-B*

TRAMO	IRIc Carril Derecho	IRIc Carril Izquierdo	IRIc del Tramo (m/km)
Tartar Chico-Empalme 08-B	3.65	4.59	4.12

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

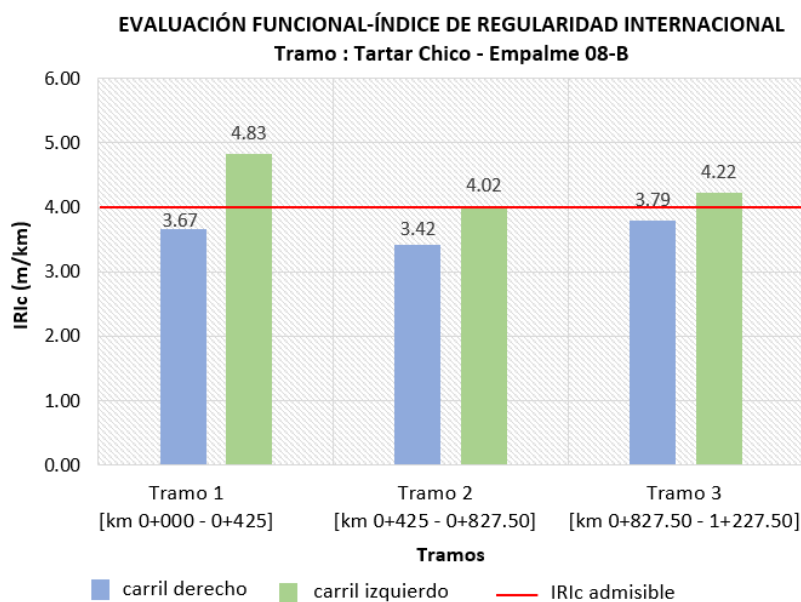
En este apartado se expone el procesamiento de la data recolectada con el rugosímetro MERLIN en el sector Tartar Chico - Empalme 08-B, Baños del Inca. La evaluación comprendió una extensión de 1285.02 metros de pavimento flexible, donde se ejecutaron 12 muestreos técnicos, distribuido entre el carril izquierdo y derecho.

4.1.1 Análisis del IRI característico en relación con el IRI admisible

Para realizar un análisis más detallado de los resultados obtenidos del IRI en los tres tramos de la carretera Tartar Chico - Empalme 08-B, se elaboró el gráfico mostrado en la Figura 29, en el cual se representan los valores del IRI característicos por carril y por tramo, con el fin de visualizar la distribución de los resultados y compararlos con el valor máximo admisible de 4.00 m/km.

Figura 29

IRI Característico por tramo y carril



En el sector delimitado por las progresivas 0+000 – 0+425, se evidencia una disparidad notable en la regularidad superficial entre los dos carriles. El carril derecho, registrando un IRI de 3.67 m/km, cumple con el estándar de 4.00 m/km, validando una condición de rodadura funcionalmente apta. Por el contrario, el carril izquierdo presenta un IRI de 4.83 m/km, superando el límite normativo y manifestando una rugosidad que compromete la serviciabilidad del pavimento.

Dentro del intervalo 0+425 – 0+827.50, la medición en el carril derecho desciende a 3.42 m/km, situándose óptimamente por debajo del límite de 4.00 m/km. Simultáneamente, el eje izquierdo reporta un IRI de 4.02 m/km, excediendo levemente la tolerancia técnica permitida, lo cual advierte un proceso incipiente de degradación en su superficie de rodadura.

Finalmente, en el segmento 0+827.5 – 1+227.50, el carril derecho mantiene su estabilidad con un valor de 3.79 m/km, preservando los niveles de confort recomendados. No obstante, el carril izquierdo alcanza un IRI de 4.22 m/km, superando el criterio de aceptabilidad de 4.00 m/km. Este diagnóstico confirma que el carril izquierdo posee irregularidades en la superficie del pavimento que degradan la calidad del rodamiento y afectan directamente la experiencia de conducción de los usuarios.

4.1.2 Análisis de los resultados según la clasificación del IRI

Para la evaluación del estado superficial del pavimento flexible en el tramo Tartar Chico-Empalme 08-B, se emplearon los valores característicos del IRI correspondientes a cada carril. Seguidamente, dicha información se categorizó siguiendo los umbrales definidos por la AASHTO, cuya distribución se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 23

Rangos de IRI para diferentes condiciones de una superficie de rodadura de pavimento flexible

Rangos de IRI (m/km)	Calificación
0 – 1.0	Muy Buena
1.0 – 1.9	Buena
1.9 – 3.6	Regular
3.6 – 6.4	Mala
> 6.4	Muy Mala

a) Clasificación del estado del pavimento por carril en cada tramo :

Tomando en cuenta los rangos establecidos en la Tabla 23 y los resultados obtenidos en las Tablas 18 y 19 , se procedió a clasificar el estado de los carriles en cada tramo de la carretera Tartar Chico- Empalme 08-B. Dicha clasificación se presenta de manera detallada en las Tablas 24 y 25.

Tabla 24

Clasificación de los tramos del Carril Derecho

Muestra	IRIc Carril derecho	Clasificación
Tramo 01	3.67	Mala
Tramo 02	3.42	Regular
Tramo 03	3.79	Mala

El IRI del Tramo 01, correspondiente al carril derecho, es de 3.67 m/km, valor que lo ubica dentro de la categoría **mala** según los rangos establecidos. Este resultado evidencia un nivel significativo de la rugosidad , lo cual incide de manera directa en la

comodidad de los conductores durante la circulación. Si bien no supera el límite de 4.00 m/km, este valor es suficiente para generar incomodidad en el usuario y refleja una condición funcional desfavorable del pavimento, por lo que se sugiere la ejecución de una intervención de mantenimiento para evitar un mayor deterioro y garantizar condiciones más adecuadas de confort y seguridad en la vía.

En el Tramo 02 del carril derecho, el IRI es de 3.42 m/km, valor que lo clasifica dentro de la categoría **regular**. Este resultado se ubica cercano al límite inferior del rango de 3.6 m/km, lo que indica que la superficie del pavimento presenta una rugosidad moderada. Si bien se encuentra dentro de los valores aceptables, se recomienda la aplicación de mantenimiento preventivo con el fin de evitar el incremento de la rugosidad y preservar las condiciones de servicio. En comparación con el Tramo 01, este sector presenta una condición relativamente mejor, sin embargo, aún es susceptible de mejora para optimizar la comodidad y seguridad en la conducción.

Por su parte, el IRI del Tramo 03 del carril derecho es de 3.79 m/km, valor que también lo clasifica dentro de la categoría **mala**. Este resultado refleja una rugosidad elevada en la superficie del pavimento, lo que podría comprometer el confort de los conductores. Al igual que en el Tramo 01, este valor sugiere la necesidad de ejecutar acciones de mantenimiento orientadas a mejorar la calidad de la superficie de rodadura y prevenir un deterioro progresivo de la vía.

Tabla 25

Clasificación de los tramos del Carril Izquierdo

Muestra	IRIc Carril Izquierdo	Clasificación
Tramo 01	4.83	Mala

Muestra	IRIc Carril Izquierdo	Clasificación
Tramo 02	4.02	Mala
Tramo 03	4.22	Mala

El IRI del Tramo 01 en el carril izquierdo es de 4.83 m/km, valor que lo clasifica dentro de la categoría **mala**. Este resultado supera el límite máximo admisible de 4.00 m/km, lo que evidencia una rugosidad considerable en la superficie del pavimento y repercute de manera directa en la comodidad y seguridad de los conductores. En consecuencia, se hace necesaria una intervención de mantenimiento que permita mejorar el estado de la superficie de rodadura y garantizar condiciones de circulación más seguras.

En el Tramo 02, el IRI en el carril izquierdo es de 4.02 m/km, valor que también lo ubica dentro de la categoría **mala**. Aunque es ligeramente inferior al registrado en el Tramo 01, se mantiene por encima del límite máximo permitido, lo que indica la presencia de una rugosidad significativa que requiere ser atendida. Si bien el deterioro no es tan pronunciado como en el primer tramo, la condición del pavimento continúa afectando la calidad de la conducción, por lo que se recomienda la aplicación de mantenimiento preventivo para evitar un mayor deterioro.

Por su parte, el IRI del Tramo 03 en el carril izquierdo es de 4.22 m/km, valor que igualmente lo clasifica dentro de la categoría de **mala**. Este resultado confirma la presencia de una rugosidad elevada en la superficie, superando el valor límite establecido. Aunque es menor que el registrado en el tramo 01, sigue siendo suficientemente alto como para comprometer la comodidad de los usuarios y las

condiciones de seguridad vial, lo que evidencia la necesidad de acciones de mantenimientos orientadas a mejorar la calidad funcional del pavimento.

4.1.3 Análisis de los Resultados del IRI Característico para el carril derecho y carril izquierdo

De acuerdo con los resultados presentados en las Tablas 21 y 22, se procedió a clasificar los valores de IRI característico para los carriles derecho e izquierdo del tramo Tartar Chico - Empalme 08-B. La clasificación obtenida se presenta a continuación en la Tabla 26.

Tabla 26

Clasificación por carril

Tramo	Carril	IRI Característico	Clasificación
Tartar Chico-	Carril derecho	3.65	Mala
Empalme 08-B	Carril izquierdo	4.59	Mala

El carril derecho del tramo tiene un IRIC de 3.65 m/km, valor que lo ubica dentro de la categoría **mala**. Aunque este valor supera el límite de 3.6 m/km, no alcanza el valor máximo admisible de 4.0 m/km establecido por el MTC para pavimentos en servicio; sin embargo, su condición funcional es desfavorable, por lo que se recomienda la aplicación de mantenimiento preventivo con el fin de evitar deterioro progresivo.

Por otro lado, el carril izquierdo registra un IRIC de 4.59 m/km, lo que lo sitúa claramente en la categoría **mala** y, además, supera el valor máximo admisible de 4.0 m/km. Este resultado evidencia mayor nivel de deterioro superficial, por lo que requiere una intervención prioritaria para mejorar las condiciones de transitabilidad y contribuir

a la seguridad vial. En conjunto, ambos carriles presentan un deterioro considerable; no obstante, el carril izquierdo demanda mayor atención debido a su mayor nivel de rugosidad.

4.1.4 Análisis de los Resultados del IRI Característico para el tramo Tartar Chico-Empalme 08-B

Según los resultados presentados en la Tabla 22, el Índice de Rugosidad Internacional Característico (IRI_c) para el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B es de 4.12 m/km. Este valor ubica a la superficie de rodadura del pavimento flexible en la categoría de **mala**, de acuerdo con la clasificación establecida en la Tabla 23 para la evaluación del estado del pavimento en función del IRI. Asimismo, al compararlo con lo señalado en el Manual de Carreteras del MTC, donde se establece un valor máximo admisible 4.0 m/km para pavimentos en servicio, se evidencia que el tramo evaluado presenta una condición de deterioro superficial.

Si bien el valor obtenido no implica necesariamente la necesidad de una rehabilitación estructural integral, sí pone en evidencia la necesidad de ejecutar acciones de mantenimiento preventivo y correctivo. Estas intervenciones permitirán controlar el avance del deterioro, mejorar las condiciones de transitabilidad y contribuir a garantizar niveles adecuados de seguridad vial para los usuarios.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.2.1 Discusión de resultados contrastados con la hipótesis

La hipótesis general planteada indicaba que el estado superficial del pavimento flexible en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B de la carretera CA-1071 es malo,

fundamentándose en los resultados que se obtendrían mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Los resultados detallados en la Tabla 22 permitieron confirmar esta premisa, ya que el IRI característico (IRI_c) global del tramo evaluado fue de 4.12 m/km,. Este valor sitúa a la vía dentro de la categoría **mala** según la escala de clasificación adoptada en el estudio (rango de 3.6 a 6.4 m/km) y supera el límite máximo admisible de 4.0 m/km establecido por el MTC para pavimentos en periodo de servicio.

Al desglosar el análisis por carriles, se obtuvieron evidencias adicionales que refuerzan la validez de la hipótesis:

El carril derecho obtuvo un IRI_c de 3.65 m/km, lo que lo clasifica técnicamente como **mala** al superar el umbral de 3.6 m/km, aunque se mantiene ligeramente por debajo del límite del MTC.

El carril izquierdo presentó una condición mucho más crítica con un IRI_c de 4.59 m/km, ubicándose claramente en la categoría de **mala** y excediendo de forma significativa el máximo permitido por la normativa nacional.

En suma, se ratifica la hipótesis de la investigación, puesto que las métricas de rugosidad evidencian una degradación crítica en la superficie de rodadura, comprometiendo los estándares de confort y seguridad para el tránsito. Estos hallazgos constituyen el sustento técnico para demandar intervenciones inmediatas, tanto preventivas como correctivas, orientadas a mitigar el deterioro estructural del tramo en estudio.

4.2.2 Discusión de resultados contrastados con los antecedentes teóricos

En relación con el estudio de Sandhya et al. (2020) en la India, se observa una coincidencia metodológica en el uso del rugosímetro MERLIN como una herramienta eficiente para optimizar recursos en la gestión vial rural. Sin embargo, existe una divergencia marcada en los valores de rugosidad, ya que los tramos en la India reportaron un IRI de entre 6.9 y 7.3 m/km, lo que exigió un rediseño estructural de la capa. En contraste, los resultados de esta tesis arrojaron un IRI promedio de 3.60 m/km. La explicación lógica es que la vía en la India presentaba un estado de falla avanzada (condición de rediseño), mientras que el tramo analizado en Baños del Inca se encuentra en un estado de deterioro funcional “malo” que aún permite intervenciones de rehabilitación y mantenimiento preventivo antes de llegar al colapso total.

Respecto a la investigación de Chen et al. (2022) en Taiwán, los resultados presentan una divergencia en cuanto a la calidad final del pavimento. En Nuevo Taipéi, tras un proyecto de nivelación vial, el 76.97% de las secciones alcanzaron una categoría de conducción buena con un IRI menor a 3.5 m/km. En esta tesis, aunque el carril derecho obtuvo un IRIc de 3.65 m/km, el carril izquierdo alcanzó un crítico 4.59 m/km, superando el límite admisible. La diferencia radica en la efectividad de las políticas de mantenimiento: mientras en Taiwán las intervenciones sistemáticas mejoraron la transitabilidad, en el tramo CA-1071 la falta de conservación oportuna ha llevado al pavimento a superar los rangos de comodidad y seguridad establecidos.

Al comparar los resultados con los de Flores y Pilco (2021) en Tacna, se halla una coincidencia significativa, ya que ambos estudios calificaron el estado del pavimento y la transitabilidad como "malos". Mientras que la Av. Gustavo Pinto presentó un IRI de 5.05 m/km y un PSI de 1.987, esta investigación obtuvo un IRI ponderado de 5.05 m/km en el carril izquierdo y un PSI general similar de 1.987. Esta

convergencia sugiere que, independientemente de si la vía es urbana comercial (Tacna) o vecinal rural (Cajamarca), la ausencia de planes técnicos de mantenimiento preventivo y el incremento del flujo vehicular degradan la superficie de rodadura hasta niveles que comprometen seriamente el confort del usuario.

En contraste, los resultados de Sachún (2016) en Trujillo muestran una divergencia clara, pues su estudio en la Panamericana Norte reportó un IRI promedio de 1.77 m/km y una condición de transitabilidad buena. En esta tesis, el tramo Tartar Chico presenta un IRIC global de 4.12 m/km, clasificándose como "malo". La explicación lógica reside en la jerarquización vial: la Panamericana Norte forma parte de la Red Vial Nacional con estándares de diseño y presupuestos de concesión superiores, mientras que la vía CA-1071 es una carretera vecinal que, al no recibir mantenimiento adecuado, presenta baches y deformaciones que elevan drásticamente la rugosidad.

Frente a la tesis de Tingal (2021) sobre la vía Cajamarca – Baños del Inca, se observa una divergencia profunda. Limay reportó un estado "muy bueno" con un IRI promedio de 1.07 m/km y un PSI de 4.12. Por el contrario, esta investigación en la misma zona geográfica determinó un IRIC de 4.12 m/km y un PSI que califica la transitabilidad como "mala". La razón lógica es que la vía evaluada por Limay es un eje principal pavimentado con altos estándares de conservación, mientras que el tramo Tartar Chico analizado en esta tesis presenta baches y cunetas colmatadas, lo que evidencia una gestión de mantenimiento desigual dentro del mismo distrito.

Finalmente, al contrastar con Sangay (2019) y su estudio en la Av. Hoyos Rubio, existe una coincidencia en la tendencia al deterioro, aunque Sangay halló una condición "Aceptable/Regular" con un IRI de 2.648 m/km. Los resultados de esta tesis

son más críticos (IRI de 3.60 m/km), lo que indica que el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B ha sufrido un desgaste funcional más acelerado. La lógica detrás de esto apunta a que la carretera CA-1071, al ser una vía de conexión rural con topografía ondulada y posibles deficiencias de drenaje, es más vulnerable a la formación de irregularidades que las avenidas del casco urbano de Cajamarca.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.1.1 Conclusión general

Se logró determinar el estado superficial del pavimento flexible en el tramo Tartar Chico – Empalme 08-B, concluyéndose que la vía se encuentra en una condición **mala**. Este resultado se sustenta en el valor del Índice de Rugosidad Internacional Característico (IRI_c) global del tramo, el cual fue de 4.12 m/km, superando el umbral de 3.6 m/km que define la categoría "mala" según la escala de la AASHTO y excediendo, además, el límite de 4.0 m/km establecido por el MTC para pavimentos en servicio.

5.1.2 Conclusiones específicas

Medición de la rugosidad con el rugosímetro MERLIN: Se cumplió satisfactoriamente con la medición de las irregularidades siguiendo las especificaciones del MTC y el Manual MERLINER. Para ello, se recolectaron 2400 lecturas (200 por huella) distribuidas en 12 unidades de análisis a lo largo de 1285.02 metros, garantizando la representatividad estadística necesaria para el cálculo del IRI. El uso de este equipo permitió obtener un factor de corrección promedio de 0.98, asegurando la precisión de los datos procesados en gabinete.

Clasificación del estado superficial por carriles y tramos: El objetivo de clasificación se alcanzó plenamente utilizando los rangos de la AASHTO. Se determinó que el carril derecho tiene un IRI_c de 3.65 m/km (condición "**mala**"), mientras que el carril izquierdo presenta un estado más crítico con un IRI_c de 4.59 m/km (condición "**mala**"). De los tres tramos evaluados, solo el carril derecho del segundo tramo (km

0+425 – 0+827.50) mostró una condición "regular" con un IRI de 3.42 m/km; todos los demás segmentos fueron clasificados como deficientes debido a la presencia de baches, parches en mal estado y desgaste superficial.

Comparación con el límite máximo admisible del MTC: Se identificó con precisión que el tramo evaluado incumple los estándares normativos para carreteras de segunda clase en servicio. Al comparar los resultados con el límite de 4.00 m/km establecido por el MTC, se evidenció que el carril izquierdo excede este valor en sus tres segmentos (4.83, 4.02 y 4.22 m/km respectivamente), lo que lo convierte en la zona que requiere intervención inmediata. El carril derecho, aunque se mantiene por debajo del límite admisible con 3.65 m/km, ya se encuentra en un proceso de degradación funcional.

Propuesta de recomendaciones técnicas de conservación: Se logró formular una propuesta de intervención técnica y escalonada basada en los niveles de rugosidad hallados. Para los segmentos con un IRI entre 3.0 y 4.0 m/km (como el carril derecho), se recomendó la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para frenar el deterioro. Para los tramos que superan los 4.0 m/km (especialmente en el carril izquierdo), se concluyó que es necesaria una rehabilitación estructural o mantenimiento correctivo para recuperar la seguridad vial, el confort del usuario y prolongar la vida útil de la carretera.

5.2 Recomendaciones

Sobre la base de los hallazgos y las limitaciones técnicas inherentes a la metodología de esta investigación, se proponen las siguientes recomendaciones para ampliar el conocimiento sobre la gestión de la infraestructura vial en la región:

- Se recomienda al responsable de la Sub Gerencia de Medio Ambiente y desarrollo Urbano de la Municipalidad Distrital de Baños del Inca priorizar la formulación y ejecución de un proyecto de conservación y rehabilitación vial del tramo Tartar Chico – Empalme 08-B, a fin de recuperar las condiciones adecuadas de transitabilidad y seguridad vial y evitar el deterioro progresivo de la infraestructura.
- Se recomienda al Jefe de la Unidad de Transporte y Seguridad Vial de la Municipalidad Distrital de Baños del Inca implementar evaluaciones periódicas del estado superficial del pavimento mediante el uso de equipos de medición de rugosidad, como el rugosímetro MERLIN, con el propósito de contar con diagnósticos técnicos que permitan programar intervenciones oportunas y optimizar la gestión del mantenimiento vial.
- Se recomienda a la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto de la Municipalidad Distrital de Baños del Inca gestionar la asignación de recursos económicos destinados a la conservación vial periódica, garantizando el cumplimiento de los estándares técnicos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y asegurando la sostenibilidad de la vía en el tiempo.
- Se recomienda que la Universidad Nacional de Cajamarca adquiera equipos especializados para la evaluación funcional de pavimentos, tales como el rugosímetro MERLIN, con el objetivo de fortalecer la formación académica y el desarrollo de la investigación en el ámbito de la ingeniería vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM E867-06: Standard terminology relating to vehicle-pavement systems*. ASTM International.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2021). *2021 Report Card for America's Infrastructure: Roads*. <https://infrastructurereportcard.org/cat-item/roads/>
- Asociación Mundial de Carreteras. (2018). *PIARC Databook of Road and Road Transport (2014-2018)*. <https://www.piarc.org/en/order-library/29489-en-PIARC%20Databook%20of%20Roads%20and%20Road%20Transport%20%282014-2018%29>
- Bennett, C. R., Chamorro, A., Chen Chen, De Solminihac, H., & Flintsch, G. W. (2007). *Data collection technologies for road management (Versión 2.0)*. East Asia Pacific Transport Unit, The World Bank. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08bfd40f0b652dd001034/C21--12DataCollectionTechnologiesReport-v20.pdf1988>
- Bloomberg Línea. (2024). *Carreteras en Colombia presentan deterioro creciente por falta de inversión*. <https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/colombia/carreteras-del-invias-grandes-recaudos-minima-inversion-y-deterioro-creciente/>
- Carhuapoma Carlos, J. H. (2019). *Evaluación del nivel de servicio mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando el rugosímetro MERLIN en el pavimento flexible de la carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca – 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1823>

- Chauvet, P., & Albertone, B. (2018). *Transporte de carretera en América Latina: evolución de la infraestructura y de sus impactos entre 2007 y 2015* (Boletín FAL, Edición N° 367, número 7). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/transporte>
- Chen, S.-L., Lin, C., Tang, C.-W., & Hsieh, H.-A. (2022). Evaluation of Pavement Roughness by the International Roughness Index for Sustainable Pavement Construction in New Taipei City. *Sustainability*, 14(12), 6982. <https://doi.org/10.3390/su14126982>
- Contravia. (2024). *Carreteras en México en mal estado: aumentan costos y riesgos*. <https://contravia.com.mx/mexico/carreteras-en-mexico-en-mal-estado-aumentan-costos-y-riesgos/>
- Cundill, M. A. (1991). *MERLIN: A low-cost machine for measuring road roughness in developing countries*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. <https://transport-links.com/wp-content/uploads/2023/10/merlin-low-cost-road-roughness-measuring-device-the.pdf>
- Del Águila, P. M. (1999). *Manual del usuario MERLINER™: MERLÍN equipo para rugosidad*. <https://www.scribd.com/doc/105392186/Manual-Usuario-MERLIN>
- Dynatest Latam. (s. f.). *Dominando el IRI con el Perfilómetro Láser RSP MK-III y/o IV*. Dynatest. https://www.dynatestlatam.com/iri_rsp_mk_guia/
- FHWA. (2020). *Pavement Condition and Performance in the United States*. Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/>

- Flores Jara, E. J., & Pilco Galindo, D. G. (2021). *Análisis funcional del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular, utilizando el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1760>
- Isradi, M., Prasetyo, J., Prasetyo, Y. D., Hartatik, N., & Rifai, A. I. (2023). Prediction of service life base on relationship between PSI and IRI for flexible pavement. *Proceedings on Engineering Sciences*, 5(2), 267–274. <https://doi.org/10.24874/PES05.02.009>
- Menéndez Acurio, J. R. (2016). *Ingeniería de pavimentos: Diseño de pavimentos* (2a ed.). Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Informe Técnico - GTT II Semestre Dic.2012*. <https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/renac.html>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014a). *Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos* (R.D. N.º 10-2014-MTC/14). Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014b). *Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción* (R.D. N.º 22-2013-MTC/14). Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2016a). *Manual de ensayo de materiales* (R.D. N.º 8-2016-MTC/14). Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018a). *Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018* (RD N.º 03-2018-MTC/14). Lima, Perú.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018b). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Glosario_de_Terminos_de_Uso_Frecuente_en_Proyectos_de_Infraestructura_Vial.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2016b). *Manual de carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial* (RD N.º 05-2016-MTC/14). Lima, Perú.
- Oficina de Estadística. (2025). *Boletín estadístico mensual: Julio 2025*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/3960911-estadistica-boletin-estadistico-mensual-del-mtc>
- Prensa Libre. (2025). *Estos son 120 tramos viales en Guatemala que están en muy mal estado*. <https://www.prensalibre.com/tema/carreteras-en-mal-estado/>
- Rojas, C., & Rojas, O. (2021). *Evaluación funcional de pavimentos rígidos y flexibles: Capítulo 12: Equipos de evaluación funcional* [Diapositivas]. Mecanicista Ltda.
- Sachún Quispe, J. E. N. (2016). *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte – Zona Trujillo, para su mantenimiento* [Tesis de maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional de Investigación de la UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/item/7b1b96c5-e5d6-f7ab-e050-010a1c030756>
- Sandhya, M., Divya, P., Sreekala, M., Haritha, K., Purnachand, M., & Kishor, S. (2020). Performance evaluation of pavement roughness: A case study. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(9), 1857–1860. <https://www.irjet.net/archives/V7/i9/IRJET-V7I9326.pdf>
- Sangay Cusquisibán, M. O. (2019). *Determinación del nivel de servicio mediante el índice de rugosidad internacional (IRI) medido con el equipo Merlin en el*

pavimento flexible de la Av. Hoyos Rubio en la ciudad de Cajamarca [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/21958>

Sayers, M. W., & Karamihas, S. M. (1998). *The little book of profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles*. University of Michigan.
<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/21605/90151.pdf>

Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Paterson, W. D. O. (1986). *Technical Paper N.º 46 : Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*. The World Bank.
<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/3133/72764.pdf?sequence>

Surface Systems & Instruments, Inc. (s.f.). *CS8500 California Profilograph*. Recuperado de <https://www.smoothroad.com/equipment/profilographs/cs8500-california-profilograph>

Tingal Limay, H. (2021). *Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlin* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4366>

TRIP – The Road Information Program. (2022). *Rural Roads and Bridges: Conditions and Funding Needs*. https://tripnet.org/wp-content/uploads/2022/10/Rural_Roads_Site-K_Construction_Zone_10-13-2022.pdf

ANEXOS:

7.1 Panel Fotográfico

Figura 30

Registro fotográfico- Punto Inicial del Tramo: km00+000 (referencia: IE N°82133 - Tartar Chico)



Figura 31

Registro fotográfico- Tramo 01(km 00+000 – km 00+425): Baches en Carril Izquierdo



Figura 32

Registro fotográfico- Tramo 01: Baches en Carril Izquierdo



Figura 33

Registro fotográfico- Reductor de Velocidad en km 00+033.30 (Tramo 01)



Figura 34

Registro fotográfico - Badén de Concreto desde el km 00+353.40 hasta el km 00+373.90 (Tramo 01)

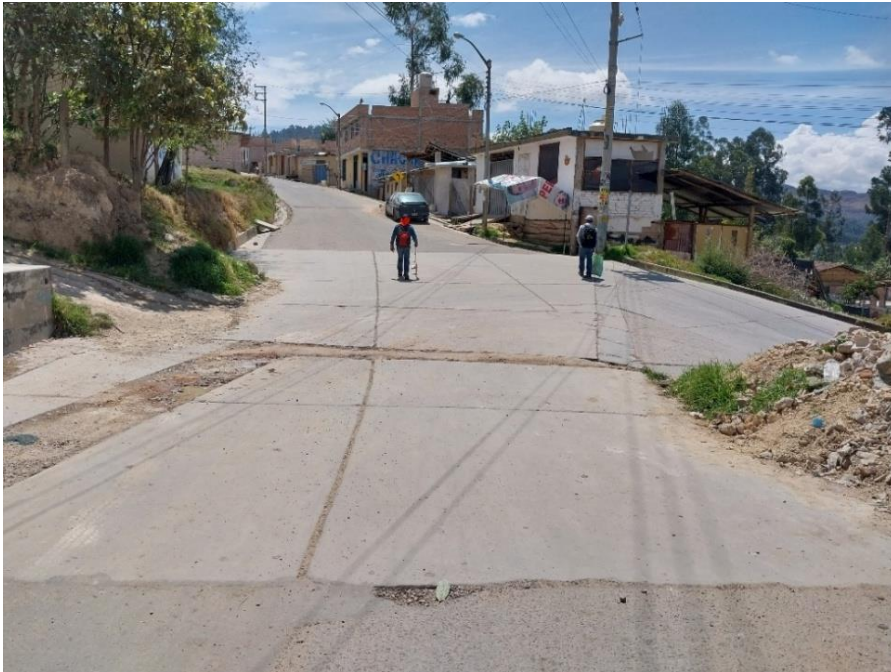


Figura 35

Registro fotográfico - Inicio del Tramo 02(km 00+425-km 00+827.50)



Figura 36

Registro fotográfico - Tramo 02: Bache en Carril Izquierdo



Figura 37

Registro fotográfico - Parche en mal estado en el km 00+565.80 (Tramo 02)



Figura 38

Registro fotográfico - Desgaste de la Superficie de Rodadura y material suelto por arrastre en la Intersección de la Vía (Tramo 02)



Figura 39

Registro fotográfico - Cunetas Colmatadas a lo largo del Tramo 02



Figura 40

Registro fotográfico - Tramo 02: Baches en Carril Derecho



Figura 41

Registro fotográfico - Tramo 03(km 00+827.50- km 1+227.50): Baches y cunetas colmatadas en ambos carriles



Figura 42

Registro fotográfico - Bache (Tramo 03)



Figura 43

Registro fotográfico - Parche en mal estado (Tramo 03)



Figura 44

Registro fotográfico- Punto Final del Tramo: km 01+286.16 (referencia: Empalme PE-08B)



Figura 45

Registro fotográfico - Levantamiento Topográfico en la zona de Inicio del Tramo



Figura 46

Registro fotográfico - Levantamiento Topográfico del Tramo en Estudio



Figura 47

Registro fotográfico - Levantamiento Topográfico en la Zona Final del Tramo



Figura 48

Registro fotográfico - Conteo Vehicular en paradero



Figura 49

Registro fotográfico - Conteo Vehicular



Figura 50

Registro fotográfico - Vista General del equipo MERLIN utilizado para los Ensayos



Figura 51

Registro fotográfico - Primer plano del Patín Móvil ubicado a 10 cm



Figura 52

Registro fotográfico - Mediciones para hallar el Factor de Corrección



Figura 53

Registro fotográfico - Inicio del Ensayo con el Rugosímetro MERLIN



Figura 54

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Derecho (Huella Externa)



Figura 55

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Derecho (Huella Interna)



Figura 56

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Izquierdo (Huella Interna)



Figura 57

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 01, Carril Derecho (Huella Externa)



Figura 58

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Derecho (Huella Externa)



Figura 59

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Derecho (Huella Interna)



Figura 60

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Izquierdo (Huella Externa)

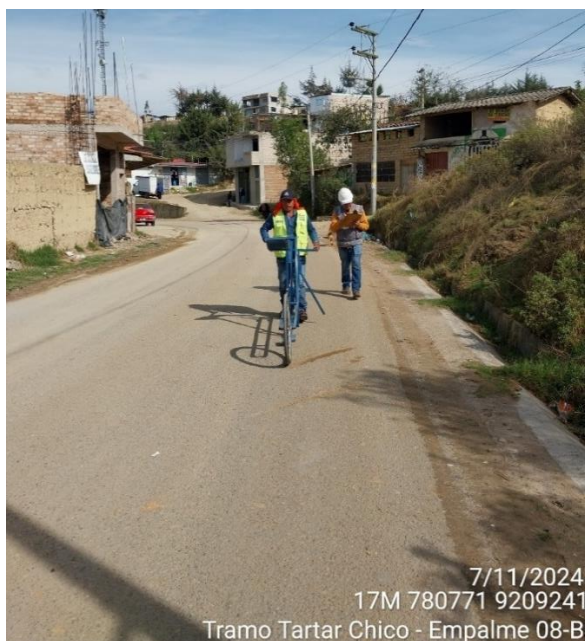


Figura 61

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 02, Carril Izquierdo (Huella Interna)



Figura 62

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Derecho (Huella Externa)



Figura 63

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Derecho (Huella Interna)



Figura 64

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Izquierdo (Huella Interna)



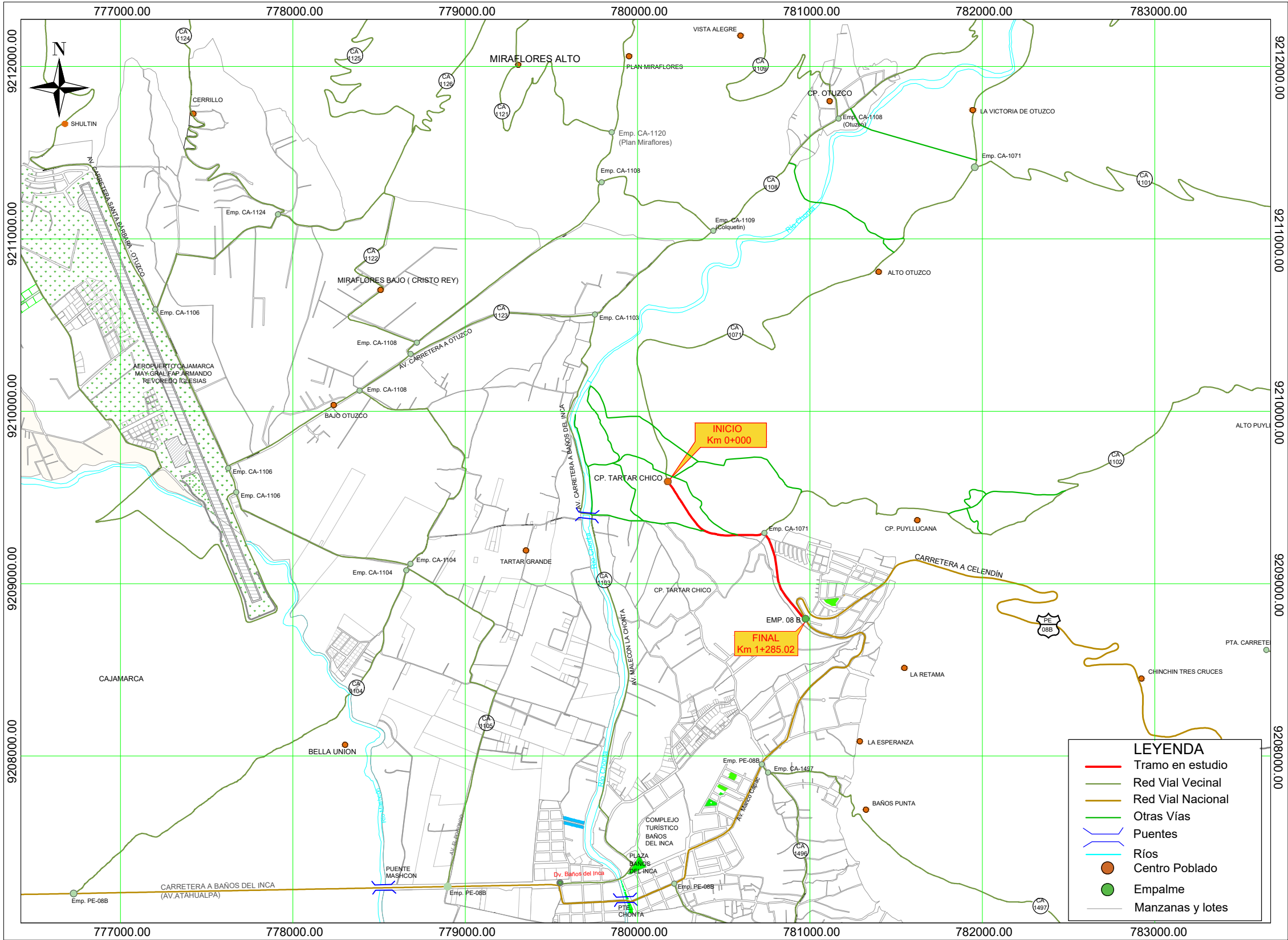
Figura 65

Registro fotográfico - Ensayo en Tramo 03, Carril Izquierdo (Huella Externa)



7.2 Planos

- Plano PU - 01 : Ubicación y Localización
- Plano PP - 01 : Planta – Perfil Longitudinal

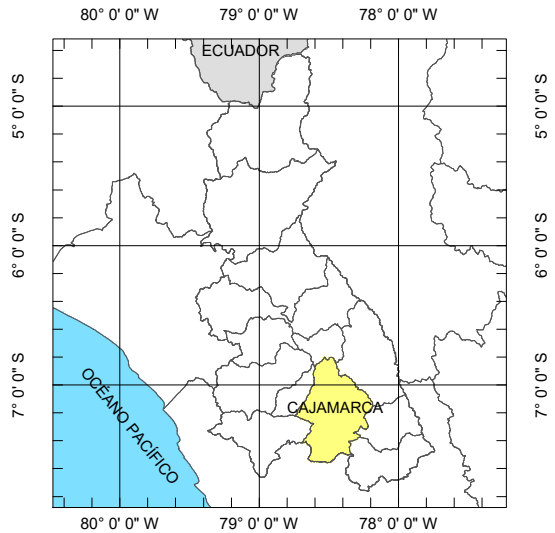


ESCALA :1/25,000

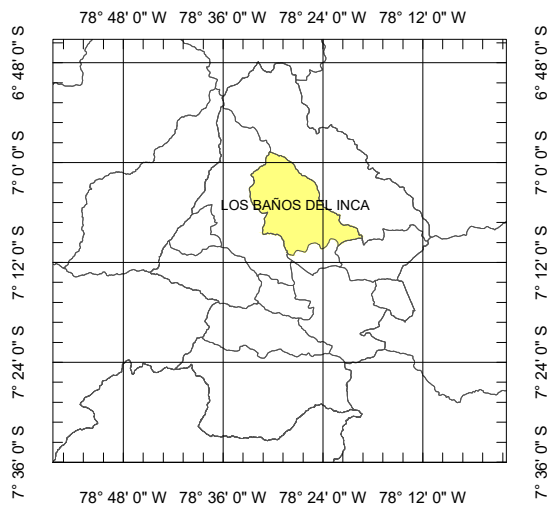
MAPA DE UBICACIÓN A NIVEL DEPARTAMENTAL



MAPA DE UBICACIÓN A NIVEL PROVINCIAL



MAPA DE UBICACIÓN A NIVEL DISTRITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE
CAJAMARCA



TESIS:

"DETERMINACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA VECINAL CA-1071. ROL DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN EL TRAMO TARTAR CHICO-EMPALME 08B, BAÑOS DEL INCA

ELABORADO POR:

LUCANO GARRO CRISTIAN PAÚL

UBICACIÓN :

Departamento: Cajamarca
Provincia : Cajamarca
Distrito : Baños del Inca
RUTA N°: CA - 1071

TRAYECTORIA :

Emp. PE-3N B - Liriopampa - Molino del Arco - Emp.CA-1090 - Otuzco - La Victoria - Alto Otuzco - Tartar Chico - Emp.PE-08B.

TRAMO :

CP. Tartar Chico - Empalme 08 B

SISTEMA DE PROYECCIÓN GEOGRÁFICA: UTM

DATUM : WGS 84 - ZONA :17M

PROGRESIVAS:

Km 0+000 : CP. Tartar Chico
Este: 780167.718
Norte: 9209610.2863

Km 1+285.02 : Empalme PE- 08B
Este: 780972.0100
Norte: 9208793.9335

PLANO:

UBICACIÓN
LOCALIZACIÓN

FECHA :

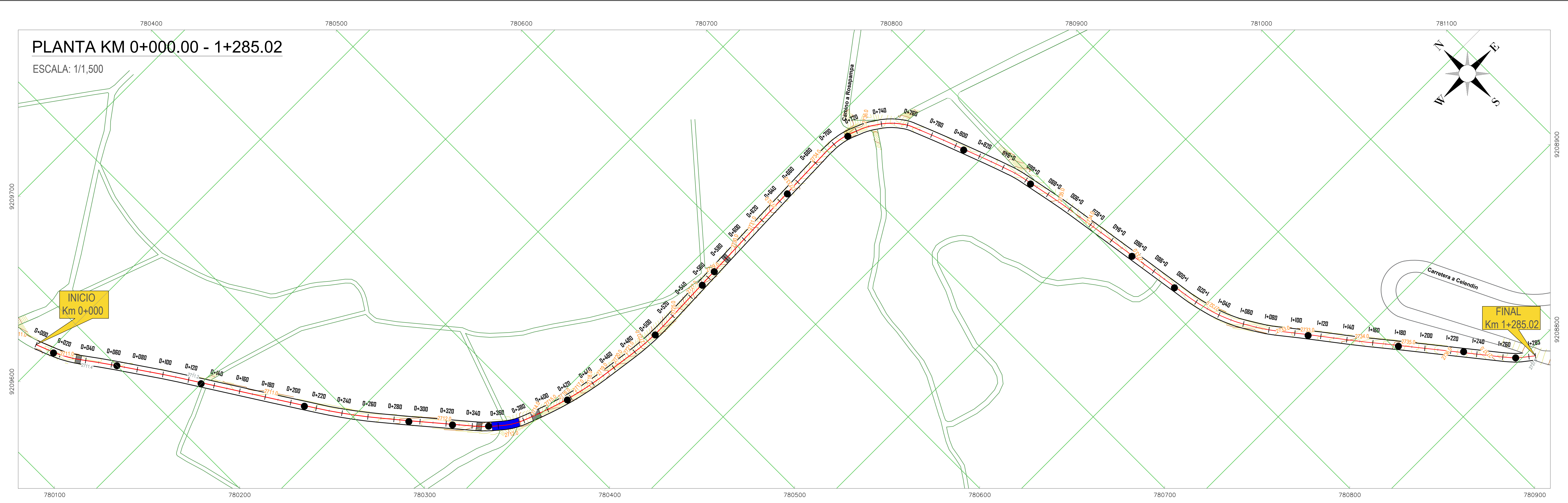
ENERO 2026

ESCALA :

INDICADA

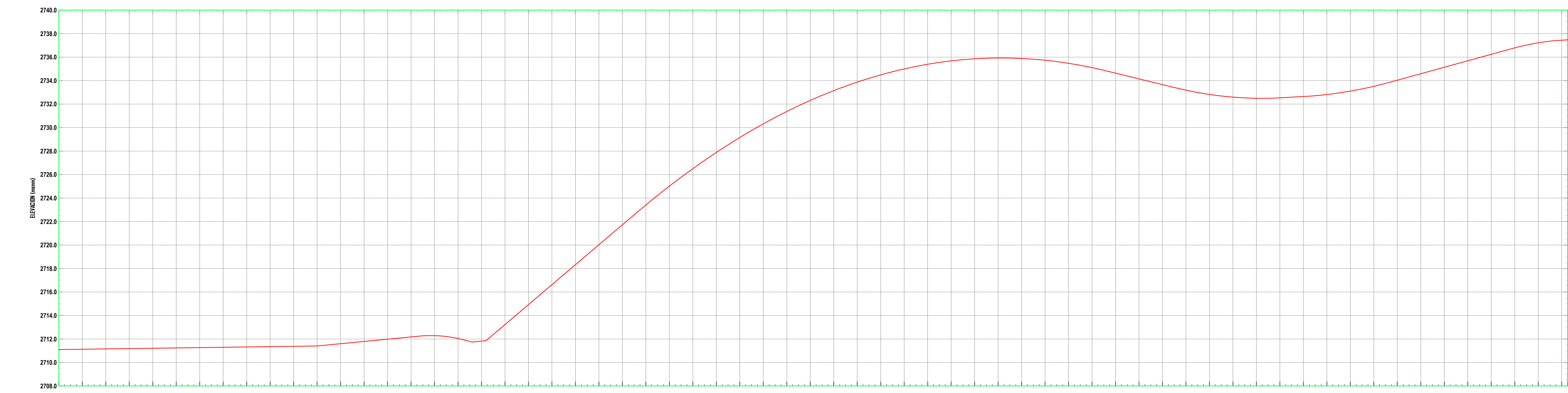
LÁMINA:

PU-01



PERFIL LONGITUDINAL KM 0+000 - 1+285.02

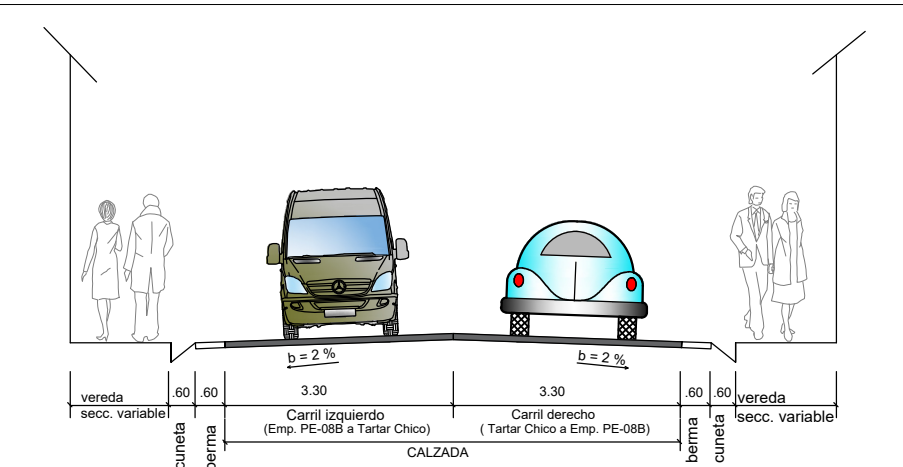
ESCALA HORIZONTAL: 1/2,000
ESCALA VERTICAL: 1/200



PENDIENTE	P=0.14% L=220.00m																				P=0.95% L=86.16m																				P=-2.68% L=5.94m																				P=1.95% L=118.00m																				P=8.50% L=127.85m																				P=-2.44% L=59.55m																				P=0.56% L=18.44m																				P=2.76% L=103.97m																				P=0.42% L=1.41m																			
COTA RASANTE	0+000 - 2711.201	0+020 - 2711.124	0+040 - 2711.152	0+060 - 2711.181	0+080 - 2711.209	0+100 - 2711.237	0+120 - 2711.265	0+140 - 2711.293	0+160 - 2711.321	0+180 - 2711.349	0+200 - 2711.377	0+220 - 2711.405	0+240 - 2711.433	0+260 - 2711.461	0+280 - 2711.489	0+300 - 2711.517	0+320 - 2711.545	0+340 - 2711.573	0+360 - 2711.601	0+380 - 2711.629	0+400 - 2711.657	0+420 - 2711.685	0+440 - 2711.713	0+460 - 2711.741	0+480 - 2711.769	0+500 - 2711.797	0+520 - 2711.825	0+540 - 2711.853	0+560 - 2711.881	0+580 - 2711.909	0+600 - 2711.937	0+620 - 2711.965	0+640 - 2711.993	0+660 - 2712.021	0+680 - 2712.049	0+700 - 2712.077	0+720 - 2712.105	0+740 - 2712.133	0+760 - 2712.161	0+780 - 2712.189	0+800 - 2712.217	0+820 - 2712.245	0+840 - 2712.273	0+860 - 2712.301	0+880 - 2712.329	0+900 - 2712.357	0+920 - 2712.385	0+940 - 2712.413	0+960 - 2712.441	0+980 - 2712.469	1+000 - 2712.497	1+020 - 2712.525	1+040 - 2712.553	1+060 - 2712.581	1+080 - 2712.609	1+100 - 2712.637	1+120 - 2712.665	1+140 - 2712.693	1+160 - 2712.721	1+180 - 2712.749	1+200 - 2712.777	1+220 - 2712.805	1+240 - 2712.833	1+260 - 2712.861	1+280 - 2712.889	1+285 - 2712.917																																																																																																																		
PROGRESIVA	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000	1+020	1+040	1+060	1+080	1+100	1+120	1+140	1+160	1+180	1+200	1+220	1+240	1+260	1+280	1+285																																																																																																																		



SECCIÓN TÍPICA



- LEYENDA**
- CARRETERA DE PAVIMENTO FLEXIBLE- TRAMO CP. TARTAR
 - CHICO- EMP.08B
 - EJE DE LA CARRETERA (RASANTE)
 - CAMINOS VECINALES
 - CARRETERA NACIONAL PE-08B (CARRETERA A CELENDÍN)
 - CURVAS DE NIVEL (CADA 1M)
 - CUVAS DE NIVEL (CADA 0.20M)
 - BUZÓN DE DESAGÜE
 - GIBA
 - BADÉN DE CONCRETO



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE
CAJAMARCA

TESIS:

DETERMINACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA VECINAL CA-1071: ROL DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) EN EL TRAMO TARTAR CHICO-EMPALME 08-B, BAÑOS DEL INCA

ELABORADO POR:

LUCANO GARRO CRISTIAN PAÚL

REGIÓN:

CAJAMARCA

PROVINCIA:

CAJAMARCA

DISTRITO:

LOS BAÑOS DEL INCA

SISTEMA DE PROYECCIÓN GEOGRÁFICA:

UTM

DATUM:

WGS 84

ZONA:

17 M

COORDENADAS:

INICIO:

780167.7180, 9209610.2863

FINAL:

Cota : 2711.201

780972.0100, 9208793.9335

Cota : 2737.467

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

ENERO 2026

PP-01