

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL
PAVIMENTO BASADO EN LA ACELERACIÓN MEDIDA POR
SMARTPHONE E IRI EN LA AVENIDA LOS ANGELES,
PROGRESIVA KM 0+000 – KM 2+750, TACNA – 2023”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. MICHAELL BERRIOS CUTIPA

TACNA – PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
BASADO EN LA ACELERACIÓN MEDIDA POR SMARTPHONE E IRI
EN LA AVENIDA LOS ÁNGELES, PROGRESIVA KM 0+000 – KM
2+750, TACNA – 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 2025, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

SECRETARIO : Mag. MILTON CESAR GORDILO MOLINA

VOCAL : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

ASESOR : Mag. ROLANDO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Michael Berrios Cutipa, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 47972507, así como Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez con DNI declaramos en calidad de autor(es) y asesor que:

1. Soy autor de la tesis titulada: "*Evaluación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por smartphone e Iri en la avenida Los Ángeles, Progresiva KM 0+000 – KM 2+750, Tacna – 2023*" la misma que presento para optar el título profesional de *ingeniero civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumo frente a La Universidad toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, me comprometo ante a La Universidad y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecho a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, acepto todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de las acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 07 de marzo del 2026

Michael Berrios Cutipa
DNI:47972507

Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez
DNI: 00794213

DEDICATORIA

A mis padres, por sus mensajes de aliento, paciencia y amor incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado. Apoyándome en cada paso que doy. Sin ustedes no lo hubiera logrado. Son mi ejemplo a seguir.

Michael Berrios Cutipa

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento primordialmente a Dios, quien nos brindó la fortaleza para perseverar y no rendirnos durante todo este tiempo. Agradecidos por permitirnos superar los innumerables desafíos enfrentados durante este período.

A nuestra Alma Mater, Universidad Privada de Tacna, a los docentes que nos brindaron experiencias y enseñanzas fortalecidas con ética y moral, para nuestra formación que serán reflejados en nuestro camino profesional.

Agradecimiento especial a nuestro asesor, quien con su experiencia y profesionalismo estuvo guiándonos académicamente.

Michael Berrios Cutipa

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del problema.	3
1.2. Formulación del Problema.....	7
1.2.1. Problema general.	7
1.2.2. Problemas específicos	7
1.3. Justificación e importancia	7
1.3.1. Justificación social.....	7
1.3.2. Justificación económica.....	8
1.3.3. Justificación ambiental	8
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo general.	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. Hipótesis.	9
1.5.1. Hipótesis General	9
1.5.2. Hipótesis Específicos	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes de la investigación	10
2.1.1 Artículos científicos	10
2.1.2 Tesis.....	12
2.2 Bases teóricas.....	16
2.2.1 Serviciabilidad	16
2.2.1.1 Determinación de la capacidad de servicio a partir del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	17

2.2.1.2 Escalas y características del IRI.....	17
2.2.2 Evaluación superficial de pavimentos.....	18
2.2.2.1 Mantenimiento y restauración de la superficie del pavimento.....	19
2.2.3 Método del Rugosímetro del MERLIN	20
2.2.3.1 Instrucciones de Uso.....	24
2.2.3.2 Cálculo de la Rugosidad.....	25
2.2.4.1 ROADROID.....	29
2.2.4.2 Aplicación ROADROID en Smartphone.....	30
2.2.4.3 IRI CALCULADO (cIRI).....	32
2.2.4.4 IRI ESTIMADO (eIRI).....	32
2.2.4.5 ÍNDICE ROADROID.....	34
2.3 Definición de términos.....	35
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	37
3.1 Diseño de la investigación.....	37
3.2 Acciones y actividades	37
3.2.1 ¿Cómo se estudió el problema?	37
3.2.2 ¿Qué se hizo?.....	38
3.2.3 ¿Cuándo y dónde se efectuó?	43
3.2.4 ¿Qué variables se midió?	43
3.2.5 ¿Cómo se midió?.....	43
3.2.6 ¿Con qué frecuencia?.....	45
3.2.7 Procesamiento de Datos.....	45
3.2.8 Personal Involucrado	45
3.3 Materiales y/o instrumentos.....	46
3.3.1 Materiales.....	46
3.3.2 Instrumentos.....	46
3.4 Población y/o muestra de estudio.....	46
3.4.1 Población.	46
3.4.2 Muestra.	46
3.5 Operacionalización de variables.....	47
3.5.1 Variable dependiente:.....	47
3.5.2 Variable Independiente:.....	47
3.6 Procesamiento y análisis de datos	49
3.6.1 Técnicas.....	50
3.6.2 Instrumentos.....	50
3.6.3 Análisis de datos.	51
CAPITULO IV: RESULTADOS	52

4.1	Resultados de la rugosidad utilizando el aplicativo ROADROID.	52
4.1.1	Valor IRI de campo obtenido de la aplicación ROADROID.....	52
4.2	Resultados de la rugosidad utilizando el rugosímetro MERLIN.	57
4.2.1	Lecturas obtenidas del rugosímetro MERLIN	57
4.2.2	Cálculo de la rugosidad utilizando la hoja de registro del rugosímetro MERLIN, calzada derecha	58
4.2.3	Cálculo de la rugosidad utilizando la hoja de registro del rugosímetro MERLIN, calzada izquierda	63
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....		70
5.1	Análisis de los resultados obtenidos para el valor IRI mediante la aplicación Roadroid.....	70
5.2	Análisis de los resultados del valor IRI determinados con Rugosímetro Merlin	70
5.3	Análisis estadístico de similitud entre métodos	72
5.3.1	Correlación de Pearson entre Merlin y Roadroid	72
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES.....		77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		78
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valor del PSI	16
Tabla 2.	Serviciabilidad basado en el IRI	17
Tabla 3.	Valores de IRI (m/km).....	18
Tabla 4.	Mediciones de cIRI	32
Tabla 5.	Calificación de la vía según ROADROID.....	35
Tabla 6.	Operacionalización de variables	48
Tabla 7.	Valor IRI, determinado utilizando el software ROADROID, medido cada 100 metros en la calzada derecha.....	53
Tabla 8.	Valor IRI, determinado utilizando el software ROADROID, medido cada 100 metros en la calzada izquierda	55
Tabla 9.	Hoja de registro en campo, segmento de prueba 1 desde el punto 0+000 al 0+400	57
Tabla 10.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 1	58
Tabla 11.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 2	59
Tabla 12.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 3	59
Tabla 13.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 4	60
Tabla 14.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 5	61
Tabla 15.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 6	62
Tabla 16.	Hoja de registro en campo, segmento de prueba 1 desde el punto 0+000 al 0+400	63
Tabla 17.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 1	64
Tabla 18.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 2	65
Tabla 19.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 3	66
Tabla 20.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 4	67
Tabla 21.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 5	68
Tabla 22.	Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 6	69
Tabla 23.	Ponderado de valor eIRI en la avenida Los Ángeles	70
Tabla 24.	Resumen de los resultados de los valores IRI determinado con MERLIN	71
Tabla 25.	Resumen de los resultados de los valores PSI en función del IRI	71
Tabla 26.	Valores de rugosidad (m/km) obtenidos de MERLIN y ROADROID	72
Tabla 27.	Resultados del análisis de correlación de Pearson	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Zona de estudio Av. Los Ángeles, progresiva 0+000 – 2+750 L= 2,75 km.	4
Figura 2.	Inicio zona de estudio Av. Los Ángeles.	4
Figura 3.	Zona de estudio, presencia de rugosidad y parchado de huecos.	4
Figura 4.	Zona de estudio, calzada incompleta.	5
Figura 5.	Zona de estudio, desgaste de la calzada.	5
Figura 6.	Zona de estudio, condiciones de alta rugosidad en la calzada.	6
Figura 7.	Fallas en pavimentos flexibles	19
Figura 8.	Aplicación del Rugosímetro Merlín	21
Figura 9.	Posición del instrumento MERLIN	21
Figura 10.	Partes en vista del MERLIN.....	22
Figura 11.	Desviaciones del pavimento respecto de la cuerda AB	23
Figura 12.	Tablero para registrar las desviaciones.	24
Figura 13.	Formato de campo para MERLIN	25
Figura 14.	Histograma de frecuencias de 200 desviaciones.....	26
Figura 15.	Primer prototipo ROADROID	27
Figura 16.	Segundo prototipo ROADROID	28
Figura 17.	Prueba del software del tercer prototipo ROADROID	29
Figura 18.	Logo ROADROID.	30
Figura 19.	App móvil.....	30
Figura 20.	Representación gráfica de la vía evaluada en Google Maps	31
Figura 21.	Filtro de datos correlaciones.....	33
Figura 22.	Pavimento de asfalto	34
Figura 23.	Pantalla Inicio de la aplicación ROADROID en el vehículo de ensayo	37
Figura 24.	Calibración del equipo MERLIN.....	38
Figura 25.	Configuración de la aplicación ROADROID en el vehículo de ensayo	38
Figura 26.	Ingreso de datos de la vía al aplicativo ROADROID con fotografía	39
Figura 27.	Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID con toma de fotos configurado cada 100 m.	39
Figura 28.	Evaluación de la rugosidad en el tramo final de subida con ROADROID .	40
Figura 29.	Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID en la calzada de bajada.....	40
Figura 30.	Envío de los resultados a la WEB ROADROID	40
Figura 31.	Inicio de evaluación con el MERLIN, calzada de subida.....	41

Figura 32. Evaluación de las irregularidades en la calzada de subida.....	41
Figura 33. Evaluación del tramo final de la Av. Los Ángeles, calzada de subida	42
Figura 34. Inicio de evaluación con el MERLIN, calzada de bajada	42
Figura 35. Evaluación de la rugosidad en el tramo final de subida con ROADROID .	43
Figura 36. Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID en la calzada de bajada.....	44
Figura 37. Evaluación de las irregularidades, calzada de bajada	44
Figura 38. Evaluación del tramo final de la Av. Los Ángeles, calzada de bajada	45
Figura 39. Descarga de la información registrada en ROADROID, utilizando usuario y contraseña obtenida	49
Figura 40. Información de campo para ser analizado	51
Figura 41. Variación de los valores eIRI cada 100 metros en la calzada derecha	54
Figura 42. Movimiento de evaluación a través de la calzada derecha empleando el software ROADROID.....	54
Figura 43. Variación de los valores eIRI cada 100 metros en la calzada izquierda ...	56
Figura 44. Movimiento de evaluación a través de la calzada derecha empleando el software ROADROID.....	56
Figura 45. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 1	58
Figura 46. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 2.....	59
Figura 47. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 3.....	59
Figura 48. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 4.....	60
Figura 49. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 5.....	61
Figura 50. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 6.....	62
Figura 51. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 1	64
Figura 52. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 2.....	65
Figura 53. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 3.....	66
Figura 54. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 4.....	67

Figura 55. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 5.....	68
Figura 56. Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 6.....	69
Figura 57. Relación entre métodos de medición de la rugosidad	73

RESUMEN

En el estudio realizado para evaluar la rugosidad superficial del pavimento en la avenida Los Ángeles, se emplearon tanto un smartphone con la aplicación ROADROID como el rugosímetro MERLIN, obteniéndose resultados relevantes sobre el estado actual del pavimento en el tramo comprendido entre el KM 0+000.00 y el KM 2+750.00. El objetivo fue determinar la influencia de la aceleración medida por el smartphone en relación con los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), evidenciando que la aceleración captada por el sensor del dispositivo móvil se correlaciona de manera efectiva con los valores de IRI, lo que valida su uso como una herramienta viable para monitoreos preliminares y continuos. Se observó, sin embargo, que la precisión de las mediciones mejora considerablemente al mantener una velocidad constante entre 40 y 60 km/h durante la recolección de datos. Los valores de IRI obtenidos reflejan una condición deficiente del pavimento, destacando un IRI de 7,01 m/km en la calzada izquierda, lo que indica la necesidad urgente de intervenciones correctivas para mejorar la transitabilidad y la seguridad vial. Si bien las mediciones mediante smartphone presentan ligeras discrepancias frente al equipo profesional, resultan lo suficientemente confiables para apoyar la planificación del mantenimiento, especialmente en contextos con recursos limitados. Se recomienda establecer un programa regular de monitoreo utilizando smartphones, asegurar velocidades constantes durante las mediciones para obtener datos más precisos, y priorizar la intervención en tramos con altos valores de IRI; además, es fundamental integrar la información de ambas herramientas en la gestión del mantenimiento del pavimento, garantizando la adecuada capacitación del personal y la correcta calibración de los equipos utilizados.

Palabras clave: ROADROID; Teléfono inteligente; IRI; Índice de Rugosidad; Serviciabilidad; Evaluación funcional.

ABSTRACT

In the study conducted to evaluate the surface roughness of the pavement on Los Angeles Avenue, both a smartphone equipped with the ROADROID application and the MERLIN profilometer were used, yielding relevant results regarding the current condition of the pavement along the section between KM 0+000.00 and KM 2+750.00. The objective was to determine the influence of acceleration measured by the smartphone in relation to the International Roughness Index (IRI) values, showing that the acceleration recorded by the mobile device's sensor correlates effectively with the IRI values, thus validating its use as a viable tool for preliminary and continuous monitoring. However, it was observed that measurement accuracy significantly improves when maintaining a constant speed between 40 and 60 km/h during data collection. The IRI values obtained reflect a poor pavement condition, highlighting an IRI of 7.01 m/km on the left lane, indicating an urgent need for corrective interventions to improve ride quality and road safety. Although smartphone-based measurements show slight discrepancies compared to professional equipment, they are sufficiently reliable to support maintenance planning, especially in resource-limited contexts. It is recommended to establish a regular monitoring program using smartphones, maintain consistent speeds during measurements to ensure more accurate data, and prioritize interventions in sections with high IRI values. Additionally, it is essential to integrate data from both tools into pavement maintenance management while ensuring proper personnel training and accurate equipment calibration.

Keywords: ROADROID; Smartphone; IRI; Roughness Index; Serviceability; Functional Evaluation.

INTRODUCCIÓN

La evaluación y mantenimiento continuo de la infraestructura urbana, especialmente la condición del pavimento, es crucial para asegurar un transporte seguro y eficiente. Los avances recientes en tecnología ofrecen nuevas metodologías para evaluar la rugosidad superficial del pavimento, un indicador clave de la calidad de las carreteras que impacta directamente en la transitabilidad vehicular. Tradicionalmente, se han utilizado equipos especializados como el rugosímetro MERLIN para tales evaluaciones. Sin embargo, el surgimiento de la tecnología de smartphones equipados con sensores sofisticados presenta una alternativa prometedora para realizar estas evaluaciones de manera más frecuente y económica.

Este estudio explora el uso de Smartphone, específicamente a través de la aplicación ROADROID, para medir la rugosidad superficial del pavimento en la avenida Los Ángeles. El objetivo es validar la efectividad de los datos obtenidos por Smartphone en reflejar valores precisos del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y evaluar su fiabilidad en comparación con los métodos tradicionales. El tramo de la avenida Los Ángeles desde KM 0+000.00 hasta KM 2+750.00 fue seleccionado como área de enfoque, proporcionando un banco de pruebas variado debido a sus cambios en la configuración de carriles y patrones de tráfico.

La investigación detalla la correlación entre los datos de aceleración recogidos mediante Smartphone utilizando la aplicación ROADROID y el rugosímetro MERLIN, explorando cómo tales tecnologías innovadoras pueden integrarse en las prácticas regulares de gestión del pavimento para mejorar la seguridad y transitabilidad de las carreteras. Se anticipa que los hallazgos aportarán perspectivas valiosas sobre la viabilidad del uso de tecnología móvil para el monitoreo rutinario de la condición del pavimento, transformando potencialmente el enfoque hacia el mantenimiento de la infraestructura en entornos urbanos.

La estructura de la investigación se organiza en cinco secciones principales. En el primer capítulo, se introduce el problema, la formulación del problema, se explica su importancia y se definen los objetivos y hipótesis de la investigación. El segundo capítulo se centra en el marco teórico, donde se revisan las variables de estudio, los antecedentes tanto de investigaciones previas como de literatura científica, y se clarifican los conceptos clave utilizados. En el tercer capítulo, se elabora el marco metodológico, describiendo el diseño y tipo de investigación, las técnicas y herramientas

utilizadas, la selección de la población y muestra, y los métodos para la operacionalización de las variables, así como el procesamiento y análisis de los datos recogidos. El cuarto capítulo se dedica a presentar los resultados obtenidos, específicamente la medición del valor IRI con la aplicación ROADROID y el rugosímetro MERLIN. Finalmente, el quinto capítulo discute estos resultados, proporcionando un análisis crítico y planteando las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema.

En la actualidad, en el Perú existe una falta de infraestructuras de transporte eficientes, lo cual es crucial tanto para el desplazamiento urbano de personas como para el transporte privado. El deterioro de las vías de carga, si no se les da el mantenimiento adecuado, puede ocasionar daños graves que necesiten reparaciones de emergencia y reducir su durabilidad. Durante una evaluación preliminar, se observaron daños y fallos en el pavimento de la avenida Los Ángeles en el distrito de Pocollay, lo cual podría haber resultado en un accidente debido a la incertidumbre sobre el verdadero estado de la vía.

Asimismo, las irregularidades en la superficie de la carretera pueden causar incomodidad e inseguridad al conducir, generando estrés para el conductor. Por ende, comprender las condiciones de la carretera nos permite tomar medidas correctivas o preventivas.

En la Figura 1, se muestra la ubicación de la avenida Los Ángeles, la cual conecta con la avenida Jorge Basadre Grohmann y la carretera nacional PE-040, enlazando el distrito de Tacna con los distritos de Pocollay, Calana y Pachia, y conectándose con la carretera nacional Tacna-Collpa-La Paz. El aumento del tráfico es evidente, y también se debe considerar la presencia de productores agrícolas en los distritos de Pocollay, Calana y Pachia, quienes venden sus productos en el Mercado de Productores en Pocollay. Estos camiones de carga que utilizan la avenida Los Ángeles para acceder al mercado pueden dañar el pavimento, especialmente dadas las condiciones del canal Caplina.

Por lo tanto, durante la inspección de la avenida Los Ángeles, tal como se muestra en las Figuras 2 y 3; se identificaron carriles de subida y bajada divididos por el canal del río Caplina, con un ancho de vía de 6.60m y una longitud aproximada de 2.75 km. En las Figuras 4, 5 y 6 se muestra como encontraron las áreas con tramos dañados significativos, y con base en estos resultados se determinarán las intervenciones necesarias en la vía. Para esto, se utilizó un rugosímetro MERLIN y un Smartphone que permitió analizar y evaluar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) con el fin de comprender la calidad del servicio y comparar los resultados obtenidos mediante ambos métodos para así brindar la solución más adecuada.

Figura 1

Zona de estudio Av. Los Ángeles, progresiva 0+000 – 2+750 L= 2,75 km.



Nota. Tomado del Google Earth Se observan etiquetas de latitud y longitud, como S 17° 59' 47.04" y W 70° 13' 48". Estas coordenadas sitúan la zona en Tacna, Perú.

Figura 2

Inicio zona de estudio Av. Los Ángeles.



Nota. La calle de asfalto o tierra compactada con algo de gravilla suelta en primer plano, lo que coincide con el aspecto de las zonas periféricas de la zona de estudio.

Figura 3

Zona de estudio, presencia de rugosidad y parchado de huecos.



Nota. El trabajador mide una sección rectangular de asfalto nuevo (más oscuro). Este tipo de mantenimiento busca sellar huecos o áreas falladas para evitar que el daño se extienda a la base de la carretera.

Figura 4

Zona de estudio, calzada incompleta.



Nota. La imagen muestra el registro técnico de una inspección vial en la zona de estudio.

Figura 5

Zona de estudio, desgaste de la calzada.



Nota. Se muestra el desprendimiento total del asfalto en secciones laterales (calzada incompleta).

Figura 6

Zona de estudio, condiciones de alta rugosidad en la calzada.



Nota. Se muestra un bache (*pothole*) de gran magnitud penetrado hasta la base granular del pavimento, se realiza la medición del área afectada. El entorno muestra una ausencia total de confinamiento lateral (sardineles o veredas), lo que facilita que el tránsito pesado desmorone los límites de la calzada, dejando el terreno natural expuesto y reduciendo el ancho útil de la vía.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo la aceleración medida por Smartphone e IRI influye en la evaluación de la rugosidad superficial del pavimento flexible en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo la velocidad de evaluación influye en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por Smartphone en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023?
- b) ¿Cuál es el valor del IRI en la evaluación superficial del pavimento utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna -2023?
- c) ¿Existe similitud en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por Smartphone y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023?

1.3. Justificación e importancia

Este estudio se centra en la evaluación de las irregularidades presentes en la superficie asfáltica de la avenida Los Ángeles, específicamente en el tramo que abarca desde el distrito de Pocollay hasta el distrito de Calana. El propósito es determinar el índice de rugosidad, el cual será fundamental para evaluar la adecuada transitabilidad de los vehículos y elaborar planes de intervención que permitan su restauración o reconstrucción. Se propone el uso de aplicaciones para teléfonos inteligentes como un método moderno y económico para determinar el índice de rugosidad de manera oportuna, y se sugiere que los ingenieros de carreteras adopten este enfoque como una herramienta eficiente para calcular los valores del IRI.

1.3.1. Justificación social

También impacta a la sociedad ya que nos permite comprender el estado de nuestras carreteras, mientras que los conductores y peatones son los afectados, ya que el estado

de la avenida Los Ángeles es deficiente y genera incomodidad al viajar. Por lo que proponer una solución para mejorar el confort y seguridad de los involucrados es nuestro objetivo.

1.3.2. Justificación económica

Existen en el mercado equipos muy avanzados que pueden determinar la rugosidad en calles, avenidas o carreteras, los resultados son óptimos pero el costo es muy alto, por lo tanto, aparecen en el mercado la adopción de tecnología mediante aplicativos de teléfonos inteligentes a costos muy bajos con resultados confiables para medir y comparar rugosidades, el aplicativo ROADROID con el rugosímetro MERLIN.

1.3.3. Justificación ambiental

La investigación tiene como objetivo aliviar la congestión vehicular en horas punta de la Av. Celestino Vargas, principal vía del distrito de Pocollay, que genera altos niveles de contaminación, donde la avenida Los Ángeles es una vía de movilización más efectiva que ayudará a cuidar el medio ambiente.

El estudio es factible porque se cuenta con conocimientos metodológicos y prácticos, equipo de campo y asesoría técnica para realizar las actividades para determinar la rugosidad del pavimento. El estudio es posible porque se cuenta con el financiamiento necesario para realizar el trabajo de campo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la aceleración medida por el Smartphone e IRI en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna – 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Analizar cómo la velocidad de evaluación influirá en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por Smartphone en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.

- b. Calcular el valor del IRI en la evaluación superficial del pavimento utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna – 2023.
- c. Encontrar la similitud de los valores de la rugosidad superficial del pavimento obtenidos por Smartphone y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna – 2023.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La aceleración medida por el Smartphone e IRI influye negativamente en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna – 2023.

1.5.2. Hipótesis Específicos

- a. La velocidad de la evaluación influye de manera no satisfactoria en la determinación de la rugosidad superficial medida por Smartphone en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna – 2023.
- b. El valor del IRI en la evaluación superficial del pavimento utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00 Tacna - 2023, resulta no satisfactorio.
- c. Existe poca similitud entre los valores de la rugosidad superficial del pavimento obtenido por Smartphone y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna – 2023.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Los antecedentes relativos al estudio se han obtenido a través de la revisión de artículos científicos y tesis de pregrado que se centran en la evaluación superficial del pavimento. Se han considerado específicamente el método del Rugosímetro de MERLIN y la aplicación ROADROID para teléfonos inteligentes:

2.1.1 Artículos científicos

En el artículo titulado “Caracterización y análisis del método ROADROID en la obtención del índice de rugosidad internacional (IRI) para la gestión de pavimentos”, se centra en exponer las características de una nueva opción para evaluar superficies de pavimentos utilizando el método Roadroid y su correspondiente análisis, además de compararlo con el método Clase 1 Laser Profiler. La propuesta del método Roadroid representa una innovación en las aplicaciones para teléfonos inteligentes, simplificando la evaluación de pavimentos de manera económica y eficiente, reduciendo los requerimientos de equipamiento. Se llevó a cabo un análisis de correlación entre el método Laser Profiler y el Roadroid, demostrando que este último podría ser una herramienta práctica para determinar la regularidad y la pendiente de la superficie del pavimento. A partir de estos métodos, se ha desarrollado una ecuación para calcular un nuevo valor IRI que se acerque más al obtenido mediante el perfilador láser (Velasquez Ramirez, 2021).

En el artículo científico titulado “Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en la metodología del rugosímetro de MERLIN”. Según el artículo publicado en Scielo, la obtención del índice de rugosidad (o IRI) es crucial, ya que proporciona información sobre el estado funcional de la superficie de la carretera. Los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas con MERLIN fueron satisfactorios, lo que permitió reducir tanto los costos operativos como los tiempos necesarios para procesar los datos (Álvarez y Rivero, 2021).

En el artículo científico titulado “Sistema Roadroid en la evaluación de la serviciabilidad vial”. El propósito del programa es emplear los métodos reconocidos Roadroid y Level and View para calcular tanto el índice de rugosidad internacional como el índice de idoneidad propuestos por ambos métodos, con el fin de analizar la correlación entre los resultados obtenidos. Los hallazgos confirman una alta correlación

entre los resultados del IRI producidos por los métodos aplicados, mostrados mediante un coeficiente de Pearson de 0,954. Asimismo, para los resultados del PSI generados por ambos métodos cuando la carretera está completamente extendida, se observan coeficientes de Spearman de 0,772 y 0,553 para los carriles derecho e izquierdo, respectivamente, lo que indica una correlación adecuada. Se concluye que la utilización del sistema Roadroid para evaluar la condición vial en el tramo Huaraz – Carhuaz de la autopista PE-3N es eficiente (Depaz-Huertas y Flores-Granados, 2023).

En el artículo científico titulado “Tecnologías empleadas en la evaluación de pavimentos e impacto que han generado”. Los pavimentos son fundamentales para el progreso de los países, ya que proporcionan un soporte eficaz y permiten el tráfico vehicular sin sufrir daños significativos. La evaluación de estos pavimentos, mediante métodos como el análisis de fallas y rendimiento, proporciona recomendaciones apropiadas para su mantenimiento. La exploración de diversos métodos tradicionales de evaluación, como el IRI, PCI, y SDI, junto con la integración de nuevas tecnologías, nos ayuda a identificar los enfoques más adecuados y rentables para evaluar las carreteras. El objetivo es comprender las fallas comunes de los pavimentos y su vida útil, garantizando un mantenimiento oportuno cuando sea necesario. Es esencial determinar qué métodos y tecnologías son apropiados para una región específica, ya que cada área tiene sus propias características. Se requieren enfoques simples, seguros y económicos para determinar las mejores opciones de mantenimiento o rehabilitación, con el fin de lograr resultados óptimos y prevenir el deterioro de las carreteras. (Castro Chuyo et al., 2021)

En el artículo científico titulado “Medición de la rugosidad del pavimento mediante una aplicación de teléfono inteligente basado en Android”. Esta investigación destaca la versatilidad de los sensores integrados en los dispositivos móviles modernos. El estudio se centra en analizar los datos capturados por los sensores de aceleración y GPS de un smartphone a bordo de un vehículo en movimiento, con el fin de evaluar su correlación con la rugosidad real del pavimento. Los resultados demuestran que las mediciones del acelerómetro mantienen una relación directa con el estado de la vía, aunque dicha correspondencia varía según los rangos de frecuencia analizados. En conclusión, los resultados subrayan el potencial de estos dispositivos como herramientas eficaces para el monitoreo de superficies viales (Douangphachanh y Oneyama, 2018).

En el artículo científico titulado “Estudo da condição de superfície em rodovias por meio do uso de aplicativo para Smartphone”. Mediante la aplicación móvil Roadroid, se evaluó el estado de diversas vías con pavimento asfáltico, tanto en entornos urbanos como rurales. El análisis se centró en la textura y el nivel de deterioro superficial,

revelando que los diagnósticos obtenidos mediante el dispositivo móvil guardan una estrecha similitud con los reportes oficiales de las agencias viales. Se observó que los tramos con mayores coeficientes de variación presentaban una incidencia superior de fallas, particularmente parches y baches. Estos hallazgos validan el uso de smartphones como herramientas fiables para la gestión de infraestructura y la toma de decisiones informadas (Cavalcante de Almeida et al., 2018).

2.1.2 Tesis

Según, Mesa (2023). “Análisis de la medición del IRI utilizando la aplicación para Smartphone ROADROID”. El objetivo de este estudio es contrastar aplicaciones de medición convencionales con ROADROID, que presentan una oportunidad excelente para llevar a cabo mediciones a un coste menor, además de ofrecer diversas ventajas, como la capacidad de realizar mediciones bajo la lluvia, algo que no es posible con las técnicas tradicionales. Además, es accesible para cualquier usuario y no requiere una gran intervención en el vehículo, además de contar con una alta capacidad de procesamiento para realizar mediciones a lo largo de varios kilómetros. Sin embargo, una desventaja es que requiere velocidades superiores a 20 km/h; a velocidades inferiores, pueden surgir picos falsos que deben ser descartados. Los primeros resultados, obtenidos utilizando un soporte universal para teléfono móvil con un brazo largo en el parabrisas, arrojaron un valor negativo y presentaron una correlación limitada con las mediciones convencionales. Posteriormente, se realizaron diez pruebas adicionales en las que fue necesario cambiar los soportes rígidos del parabrisas y realizar ajustes adicionales.

Según, Montalvo (2023). Índice de rugosidad internacional de la carretera Huaraz – Carhuaz para mejorar la serviciabilidad empleando ROADROID, año 2022”. El objetivo de este estudio es calcular el índice de rugosidad de la carretera PE-3N Huaraz-Carhuaz, utilizando métodos como el nivel de burbuja, el método de avistamiento y la aplicación Roadroid en un smartphone para mejorar la eficiencia en la evaluación de la carretera. En términos de metodología, se emplea un enfoque cuantitativo con un diseño transversal no experimental, específicamente un estudio de caso donde la selección de la autopista Huaraz-Carhuaz abarca un tramo de 31 km. En cuanto al programa, se aplican los mencionados métodos para recopilar datos de IRI (índice de rugosidad internacional), seguido de análisis comparativos y propuestas de medidas correctivas. En relación a los resultados, utilizando el método Roadroid, se obtienen valores de eIRI de 3,34 m/km y 3,37 m/km como promedios finales para los carriles derecho e izquierdo,

respectivamente. Además, mediante el método de Nivel y Vista, se determina un IRI de 6,87 m/km para un tramo seleccionado de 320 m. Las correlaciones de Pearson y Spearman resultaron en 0,954 y 0,929, respectivamente, indicando una relación lineal. En resumen, el promedio de eIRI para la carretera es de 3,36 m/km, mientras que el promedio de IRI es de 3.29 m/km. Se observa que el tramo de la vía Huaraz-Carhuaz, específicamente entre los km 580+000 al 611+000, registra un índice de disponibilidad más alto en el carril derecho (2,82) y el PSI más bajo según el IRI. Se concluye que los resultados revelan un estado satisfactorio del PSI con tráfico normal.

Por su parte, Alvarado y Laura (2022), “Evaluación superficial para la mejora de la transitabilidad vehicular en la calle Antúnez de Mayolo mediante el método PCI y Rugosímetro de MERLIN, Tacna – 2022”. Según los datos obtenidos del rugosímetro MERLIN, se estableció que la rugosidad del carril ascendente es de 6,801 m/km y la del carril descendente es de 4,376 m/km, dando como resultado un IRI ponderado de 5,5888 m/km, lo que indica un estado del pavimento muy deficiente. Además, según los resultados del método PCI, el porcentaje para el carril ascendente es del 46,10 % y para el carril descendente es del 55,36 %, lo que arroja un PCI promedio de 50,73 %, señalando un estado deficiente. Al investigar los resultados de IRI y PCI de la carretera y usar el valor ponderado del rugosímetro MERLIN para evaluar la transitabilidad, se obtuvo un valor PSI de 1,81, lo que indica una transitabilidad deficiente. Siguiendo la clasificación estándar de pavimentos, se pueden sugerir recomendaciones de intervención para mejorar la transitabilidad de la calle Antúnez de Mayolo, incluyendo la rehabilitación con refuerzo estructural.

Asimismo, Lozano y Mamani (2021), “Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna. 2021”. El objetivo fue evaluar la rugosidad mediante teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad en la Avenida Antúnez de Mayolo en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa de Tacna. Esta investigación, de naturaleza aplicada y enfoque cuantitativo, se orienta a la resolución de problemas prácticos mediante la generación de conocimiento técnico. El estudio se llevó a cabo en un tramo de 2,000 metros, empleando las aplicaciones ROADROID y ABAKAL para la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). La recolección de datos se realizó mediante un dispositivo móvil (Samsung Galaxy S7) a una velocidad constante de 40 a 50 km/h en ambos sentidos de la vía. Los resultados arrojaron valores promedio de 4,58 m/km (ROADROID) y 5,06 m/km (ABAKAL), niveles que categorizan la superficie como pobre. Ante este diagnóstico, se recomienda la intervención de la capa de rodadura mediante el uso de emulsiones o mezclas asfálticas en frío

En concordancia con Niño y Torres (2021). “Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la Av. Sáenz Peña, JLO”. Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el estado de pavimentos flexibles mediante la integración de los índices PCI (Pavement Condition Index) e IRI (International Roughness Index), facilitando así la propuesta de estrategias de mantenimiento que optimicen el flujo vehicular. Tras la inspección superficial, el método PCI identificó ocho tipologías de fallas, donde la desintegración o pérdida de agregado fue el defecto predominante (34 % de incidencia con severidad baja). El valor resultante del PCI fue de 39,39 %, categorizando la vía en estado “Malo”. De manera complementaria, las mediciones con el rugosímetro MERLIN registraron un IRI de 5,46 m/km, confirmando un nivel de rugosidad también calificado como “Malo”. La convergencia de ambos diagnósticos ratifica la necesidad urgente de intervención en el tramo evaluado.

También, Staniek (2021). “Road pavement condition diagnostics using Smartphone-based data crowdsourcing in smart cities”. Presentado por Marcin Staniek, 2021. Esta investigación tiene como propósito integrar la información capturada por dispositivos móviles en los sistemas de gestión de tráfico para diagnosticar el estado de la superficie rodante. Mediante herramientas analíticas avanzadas, es posible detectar y evaluar patologías viales a partir del comportamiento dinámico de los vehículos en la red. Los usuarios, actuando como sensores móviles, registran parámetros de aceleración lineal, velocidad y posicionamiento geográfico, los cuales se transmiten a los servidores del Sistema de Control de Tráfico (RCT) para su procesamiento funcional. Esta arquitectura tecnológica permite un monitoreo continuo y a escala global de la infraestructura vial, garantizando diagnósticos actualizados y masivos

Asimismo, Gonzalo y Beingolea (2021), “Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021”. El objetivo de esta investigación es determinar la rugosidad en pavimentos flexibles mediante un análisis comparativo entre la aplicación móvil ABAKAL y el rugosímetro MERLIN. Los resultados obtenidos con el método convencional reportaron un Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de 4,07 m/km y 5,14 m/km para los carriles derecho e izquierdo, respectivamente, alcanzando un valor ponderado de 4,60 m/km (calificación Mala). Por su parte, las mediciones realizadas con la aplicación ABAKAL en un dispositivo Samsung Galaxy Note 10 arrojaron valores de 4,38 m/km y 4,49 m/km, con un promedio ponderado de 4,44 m/km. La estrecha correspondencia entre ambos métodos confirma la fiabilidad de la tecnología móvil para la auscultación de pavimentos frente a instrumentos tradicionales.

El estudio de Zeballos y Vizcarra (2020). “Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El peligro – Emp. PE-40, Tacna - 2020”, esta investigación tiene como objetivo evaluar la rugosidad en pavimentos flexibles mediante un análisis comparativo entre la tecnología móvil (aplicación ROADROID) y el método convencional (rugosímetro MERLIN). El estudio, de alcance descriptivo, se centró en el tramo Puente El Peligro – Emp. PE-40 de la carretera TA-615. Los resultados obtenidos arrojaron un Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de 3,73 m/km en el carril derecho y 3,53 m/km en el izquierdo, estableciendo un valor ponderado de 3,63 m/km. Dichos hallazgos son consistentes con los estándares de condición esperados para pavimentos convencionales en los 3 km de longitud evaluados.

Según Mozo (2019) “Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y ROADROID en el circuito humedal Lucre – Huacarpay”, en este estudio, se llevó a cabo la evaluación del pavimento flexible a lo largo de una distancia de 8,27 km, obteniendo un Índice de Condición del Pavimento (PCI) de 22,87 %, lo que clasifica el estado del pavimento flexible como “muy deficiente” según el método PCI. Por otro lado, se empleó la aplicación para teléfonos inteligentes ROADROID para calcular la rugosidad y determinar los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), a partir de los cuales se evaluó la adecuación de la carretera investigada. Se registraron valores de PSI de 2,814 para la ida y 2,813 para la vuelta, lo que califica la capacidad de servicio como “regular”. Basándose en estos resultados, se recomienda llevar a cabo reparaciones a nivel de la capa superficial del pavimento, lo que incluye la aplicación de mezcla asfáltica en caliente.

Asimismo, Lloclla y Sánchez (2019) “Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para Smartphone ROADROID, rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A y rugosímetro de MERLIN”, se llevó a cabo una comparación de los resultados de la rugosidad superficial evaluada en la Avenida La Cultura utilizando diferentes métodos y dispositivos, como el rugosímetro MERLIN, el rugosímetro electrónico Bump Integrator B1100A y la aplicación innovadora para teléfonos inteligentes ROADROID. La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque cuantitativo, un nivel descriptivo y un enfoque hipotético-deductivo, con un diseño no experimental. Los dispositivos mencionados determinaron que los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para los carriles de bajada fueron de 7,31 m/km, 6,75 m/km y 6,79 m/km respectivamente, con un valor ponderado de IRI de 6,95 m/km.

Para los carriles de subida, los valores de IRI fueron de 3,88 m/km, 3,98 m/km y 3,04 m/km, con un IRI ponderado igual a 3,63 m/km. Estos resultados indican que los carriles de bajada califican funcionalmente la vía como “mala”, mientras que los carriles de subida también se clasifican como “malos”. Se encontró que los resultados obtenidos fueron similares entre los diferentes dispositivos, con una diferencia del 18.92% entre la aplicación para smartphone ROADROID, el rugosímetro MERLIN y el rugosímetro electrónico Bump Integrator B1100A.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Serviciabilidad

Lo que significa que la carretera está disponible para su uso, es decir, el transporte público no está cerrado debido a una “emergencia en la carretera”. Uno o más lugares a lo largo de la ruta están cerrados debido a daños severos causados por fuerzas naturales como deslizamientos de tierra de material acuífero (“waikos”), desprendimientos de rocas, pérdida de plataformas viales y erosión. Por ejemplo, estos problemas tienen el mayor impacto en la vida de las personas y ocurren principalmente durante la temporada de lluvias.

El concepto de servicialidad está intrínsecamente ligado a la percepción del usuario sobre la calidad del rodamiento; por ello, su valoración es un insumo crítico. No obstante, calificar un pavimento presenta una complejidad conceptual alta, ya que requiere distinguir entre su integridad estructural y su estado funcional superficial. Para mitigar esta ambigüedad y permitir la comparabilidad técnica entre distintos tramos o evaluadores, es indispensable el empleo de metodologías y herramientas estandarizadas.

Para medir el rendimiento en servicio de un pavimento, se emplea un parámetro conocido como Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) (Tabla 2), el cual determina la condición funcional o el rendimiento actual en servicio de un pavimento. Este concepto fue desarrollado por el equipo de tecnología de la AASHO Road Testing en 1957. En la Tabla 1 se muestran los valores del PSI, los mismos que se evalúan en una escala del 0 al 5, donde el valor máximo corresponde a la mejor condición. (Pomasonco De la Cadena, 2010)

Tabla 1

Valor del PSI

Valor	Calidad
-------	---------

5	Muy buena
4	Muy buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota. Adaptado de Guía AASHTO

2.2.1.1 Determinación de la capacidad de servicio a partir del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Es necesario recolectar los datos de campo de la sección en estudio según el intervalo de desviación establecido. Posteriormente, se determina el rango “D” para analizar la distribución de frecuencia de las lecturas registradas y se aplica el factor de corrección adecuado conforme a la calibración del equipo. (Sologorre, 2005).

Tabla 2

Serviciabilidad basado en el IRI

PSI	Transitabilidad
0 – 1	Muy mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Nota. Adaptado de Sachún (2016)

2.2.1.2 Escalas y características del IRI

En la Tabla 3 se muestra el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), expresado en metros por kilómetro (m/km) y varía en un rango de 0 a 20 m/km. Una medida de 0 m/km indica una superficie de carretera perfectamente lisa, mientras que un valor de 20 m/km indica una superficie de carretera extremadamente irregular.

Tabla 3

<i>Valores de IRI (m/km)</i>					
País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE. UU	< 2.4	2.4 – 4.7	> 4.7		
España	0 – 2.5	2.5 – 4.0	> 5.0	2.85	1.85
Chile	0 – 3.0	3.0 – 3.6	> 4.0	2.50	2.5
Honduras	< 3.5	3.5 – 6.0	> 6.0		
Uruguay	< 3.9	4.0 – 6.0	> 4.6		
Perú	< 2.5	2.5 – 4.5	> 4.5	> 2.5	

Nota. Adaptado de Alvarenga (2002) para pavimentos nuevos.

2.2.2 Evaluación superficial de pavimentos

La evaluación de pavimentos se concreta en un informe que detalla el estado actual de la superficie y la estructura del pavimento, con el objetivo de identificar las medidas necesarias de reparación y mantenimiento. Este proceso busca determinar la mejor manera de intervenir en el pavimento para prolongar su durabilidad. La relevancia de esta evaluación radica en la capacidad de detectar de forma oportuna los deterioros presentes en la superficie, lo que permite realizar las correcciones necesarias para garantizar una óptima serviciabilidad para los usuarios (Leguía, P; Pacheco, H, 2016).

Importancia de Evaluación de pavimentos.

La evaluación de pavimentos es crucial, ya que nos ayuda a detectar y corregir el deterioro presente en la superficie para garantizar la mejor experiencia para el usuario. Al realizar evaluaciones periódicas de los pavimentos, podemos anticipar la duración de la red o proyecto. Además, una evaluación adecuada del pavimento puede contribuir a optimizar los costos de reparación, ya que abordar los problemas de deterioro de manera temprana puede prolongar su vida útil, generando así mayores ahorros.

Clases de defecto en la superficie del pavimento.

Los daños al pavimento se pueden dividir en dos categorías amplias: daños superficiales y estructurales.

a. Daños de Superficie

Estos problemas afectan la superficie de la carretera y son resultado de fallos en la capa de rodadura, sin relación con la estructura subyacente de la vía. La

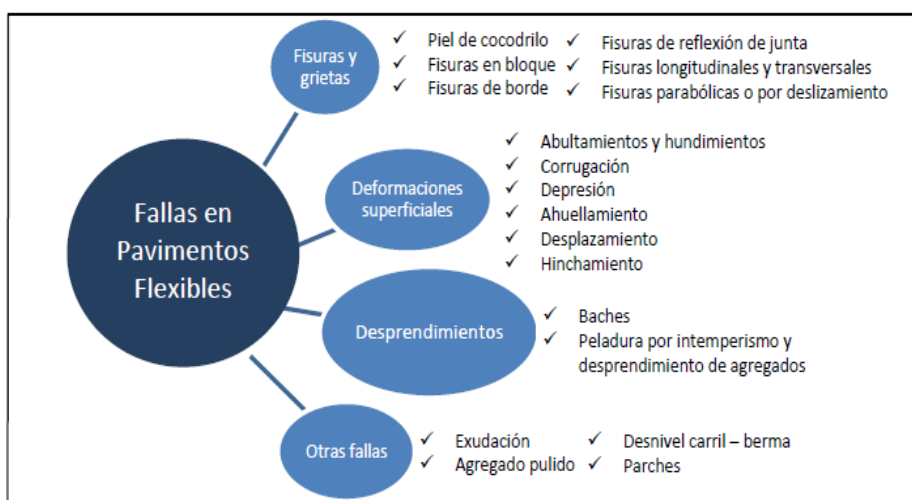
solución a estos defectos implica ajustar simplemente la superficie y proporcionar la impermeabilización y textura necesarias.

b. Daños Estructurales

Se refiere a fallas en la superficie de la carretera que resultan del deterioro de la estructura del pavimento, lo que implica que una o más de las capas que lo componen no pueden soportar las tensiones generadas por el tráfico y las condiciones climáticas. Para corregir este tipo de daño, se requiere reforzar el pavimento existente para que pueda cumplir con los requisitos de tráfico actuales y futuros previstos. (Corros, 2015).

Figura 7

Fallas en pavimentos flexibles



Nota. Adaptado de Paucara-Rojas (2018), se muestra las patologías o fallas comunes en los pavimentos flexibles (asfalto). El diagrama organiza estas fallas en cuatro categorías principales para facilitar su diagnóstico técnico.

2.2.2.1 Mantenimiento y restauración de la superficie del pavimento

a. Mantenimiento

Son actividades, labores, tareas, intervenciones y medidas, ya sean planificadas o realizadas de manera regular o en situaciones de emergencia, con el propósito de asegurar que la infraestructura vial conserve las condiciones superficiales, funcionales, estructurales y de seguridad necesarias para satisfacer las necesidades y expectativas generales de los usuarios.

- **Mantenimiento rutinario**

Se trata de acciones y proyectos de menor escala, constantes y recurrentes, cuyo objetivo principal es salvaguardar y mantener principalmente la superficie y el funcionamiento óptimo de la infraestructura vial, contribuyendo así a prolongar su vida útil de acuerdo con el diseño original, sin que se vea notablemente afectada por modificaciones en el diseño o cambios naturales en las demandas de carga previstas, entre otros factores, lo que podría resultar en una disminución de sus capacidades estructurales.

- **Mantenimiento periódico**

Se trata de proyectos temporales, poco comunes, preventivos y de gran escala, llevados a cabo según lo planificado o debido a alguna circunstancia previamente establecida, con el fin de retardar el deterioro natural de la condición estructural o funcional de la infraestructura vial. Su objetivo es mantener la calidad del desgaste y la seguridad de la carretera para prolongar su vida útil más allá del período para el cual fue diseñada inicialmente. Este tipo de mantenimiento regular también implica el tratamiento y la actualización de la capa de rodadura.

- **Rehabilitación**

Estas son las actividades necesarias para devolver una estructura de pavimento a las condiciones de carga en las que fue originalmente construida, así como para mantener los niveles de servicio en cuanto a seguridad y comodidad. Los trabajos de reparación de la capa de rodadura pueden dividirse en dos categorías: reparaciones superficiales y reparaciones estructurales. La finalidad de las reparaciones superficiales consiste en aplicar una capa delgada de mezcla asfáltica fría o caliente sobre la superficie existente. Esta opción suele ser la más sencilla, ya que requiere poco tiempo para completarse y causa un impacto mínimo en los usuarios de la vía. Por otro lado, las reparaciones estructurales pueden implicar una reconstrucción completa.

2.2.3 Método del Rugosímetro del MERLIN

Es un dispositivo adaptable, fácil de usar y rentable, desarrollado para su aplicación en países en desarrollo. Fue introducido en el Perú en 1993 y para junio de 1999 había más de 15 unidades en uso, distribuidas entre varias empresas constructoras y

consultoras.

El método de medición empleado por MERLIN se basa en un perfilómetro estático y se clasifica como un método de Clase 2 debido a su alta precisión en los resultados (ver Figura 8 y 9). El coeficiente de determinación de la correlación entre los resultados obtenidos con MERLIN y el IRI es prácticamente 1 ($R^2=0.98$). Dada su precisión excepcional, solo superada por los métodos topográficos tradicionales como miras y niveles, algunos fabricantes de equipos sensibles, como el Bump Integrator y el Mays Meter, lo recomiendan para calibrar sus propios dispositivos.

Figura 8

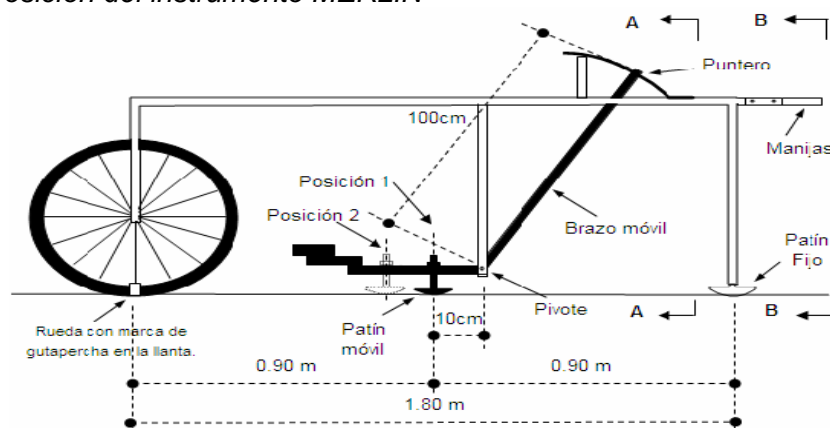
Aplicación del Rugosímetro Merlín



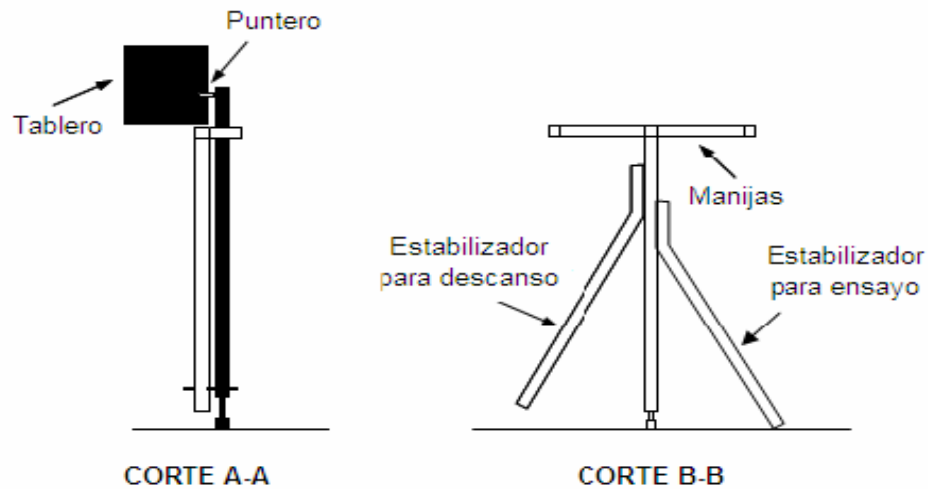
Nota. Se representa un trabajo de auscultación de pavimentos, esencial para determinar el estado de servicio de la vía y detectar fallas mediante el Rugosímetro Merlín.

Figura 9

Posición del instrumento MERLIN



Del Aguila (1999). El rugosímetro funciona como una "balanza" mecánica: mientras la rueda y el patín fijo definen una línea imaginaria, el patín móvil registra qué tanto sobresale o se hunde el pavimento respecto a esa línea en cada intervalo de medición.

Figura 10*Partes en vista del MERLIN*

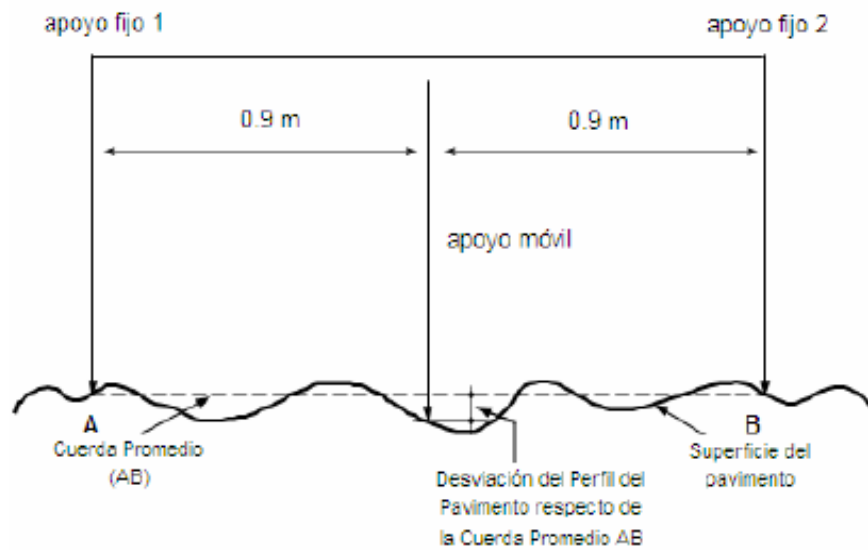
Nota. Adaptado de Del Aguila (1999). En esta Figura, las lecturas acumuladas en el tablero permiten generar un histograma de frecuencias. A partir de la dispersión de estas marcas, se calcula estadísticamente el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), que determina si una carretera es cómoda y segura para el tránsito.

MERLIN registra la distancia vertical entre la superficie del pavimento y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante, conocida como “desviación de la cuerda media”, en la Figura 10 se muestra la instrumentología del Merlin. Esta medición se realiza mediante dos pies separados por 1,8 metros y apoyados en la carretera, a lo largo de las huellas de las ruedas. Utilizando un patín de prueba extraíble posicionado en el centro de la carretera entre los pies, MERLIN registra la distancia vertical “y” entre la superficie de la carretera y el punto medio de una línea imaginaria conectando las bases de los pies.

Los resultados se registran en un tablero en el equipo, y se realizan mediciones repetidas a lo largo de la vía de la rueda. Una vez completada la observación, se retira la tabla y se genera un histograma basado en los datos obtenidos. En la Figura 11 se muestra el ancho del histograma representando la rugosidad en la escala MERLIN, medida en milímetros (Del Aguila, 1999).

Figura 11

Desviaciones del pavimento respecto de la cuerda AB



Nota. Adaptado de Del Aguila (1999); se ilustra el principio de funcionamiento del instrumento en ingeniería vial para medir la irregularidad superficial o rugosidad de un pavimento. En términos técnicos, describe el concepto de un Perfilómetro de base fija (similar al funcionamiento de la viga Benkelman o un rugosímetro tipo California, pero simplificado).

Cerca del centro del componente horizontal, sobresale hacia abajo una varilla vertical que no llega al suelo, y el brazo móvil gira en torno al extremo inferior de esa varilla.

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el suelo a través de un patín ajustable asegurado con tornillos para adaptarse a las irregularidades del terreno. El extremo superior del brazo termina en un puntero o indicador que se desliza a lo largo del borde de una tabla, dependiendo de la posición que adopte el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con la carretera.

La relación de brazo entre el pivote del patín móvil y la porción del extremo inferior del puntero es de 1 a 10, lo que significa que un movimiento vertical de 1 mm del extremo inferior del patín móvil provoca un desplazamiento de 1 cm del puntero (Figura 13). Para registrar el movimiento del puntero, se emplea una escala gráfica con 50 divisiones, cada una con un grosor de 5 mm, que se fija en el borde de la placa por la que se desliza el puntero (Del Aguila, 1999).

Figura 12

Tablero para registrar las desviaciones.



Nota. Adaptado de Del Aguila (1999). Formato de registro donde se marcan las desviaciones medidas; la escala suele estar ampliada mecánicamente (generalmente en una proporción 1:10).

2.2.3.1 Instrucciones de Uso

Para llevar a cabo la prueba, se requieren dos personas: un operador que maneja el dispositivo y toma las lecturas, y un asistente que registra las mediciones. Se debe elegir un tramo de 400 metros de longitud en uno de los carriles de la carretera, basado en la huella exterior del flujo vehicular. Para determinar la rugosidad, se realizaron 200 observaciones de las “irregularidades en la superficie de la carretera”, cada una detectada por el patín móvil del MERLIN y mostrada sucesivamente. Se toma una lectura desplazando el puntero sobre la escala del tablero. El equipo se detiene periódicamente para la observación, generalmente cada 2 metros, utilizando como referencia la circunferencia de la rueda MERLIN, aproximadamente del mismo tamaño, realizando una rotación de la rueda después de cada prueba.

Durante cada observación, el instrumento se coloca sobre la superficie de la carretera apoyado en tres puntos fijos: la rueda, el caballete trasero y el estabilizador para la prueba. La posición del puntero se correlaciona con una lectura entre 1 y 50, que se registra en un formato de campo en una cuadrícula de 20 filas por 10 columnas, el cual se muestra en la Figura 13; completando los datos de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. (Del Aguila, 1999).

Figura 13

Formato de campo para MERLIN

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO : _____ OPERADOR : _____
 SECTOR : _____ SUPERVISOR : _____
 TRAMO : _____ FECHA : _____
 CARRIL : _____

ENSAYO N° KM + HORA :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											AFERMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPERMEADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. MECAN. <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECUBR. ASFALTICO <input type="checkbox"/>
9											SEAL <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : _____

Nota. Adaptado de Del Aguila (1999); situado entre los mangos, es donde el operador marca la posición del puntero. Como detalle importante, el recuadro inferior izquierdo de la imagen indica que 1 división = 5 mm (o la unidad de escala correspondiente), lo cual permite traducir el movimiento mecánico a una medida física de desviación.

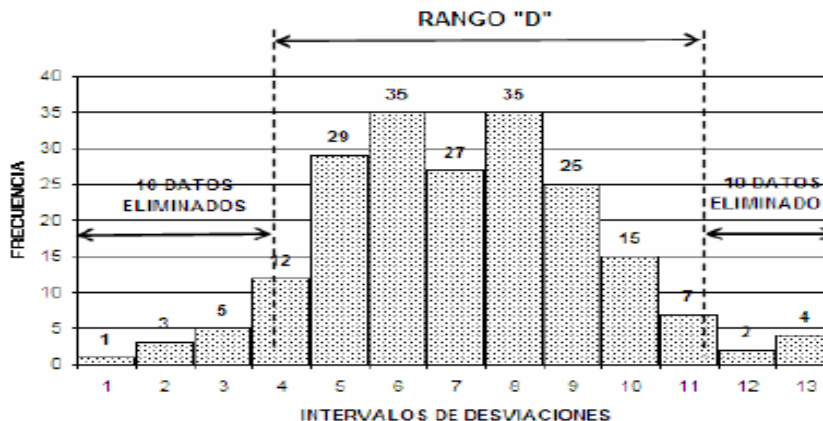
2.2.3.2 Cálculo de la Rugosidad

Como se mencionó anteriormente, se utilizan 200 datos para calcular la rugosidad, registrados a través de una escala de 50 unidades en el tablero, que coincide con los 200 movimientos del puntero del medidor de rugosidad. Si el perfil del terreno coincide con la línea central, la división 25 de la escala debería alinear con la posición central del puntero en el tablero. Cuando las posiciones del puntero se centran alrededor de la división 25 o están cerca de ella, indica un perfil de carretera relativamente plano (baja rugosidad). Por otro lado, si el puntero se aleja repetidamente del número 25, sugiere un perfil con muchos cambios en la superficie de la carretera (alta rugosidad). La dispersión de los datos se analiza mediante un histograma (Figura 14), donde se establece un rango de valores agrupados por intervalo de frecuencia (D) después de excluir el 10 % de los datos que no son representativos o estables, eliminando el 5%

inferior y el 5 % superior del histograma. (Del Aguila, 1999).

Figura 14

Histograma de frecuencias de 200 desviaciones.



Nota. Adaptado de Del Aguila (1999); el histograma de frecuencias muestra la distribución de "Intervalos de Desviaciones". Es una herramienta clásica de control estadístico para identificar el comportamiento central de un proceso.

Una vez que se han eliminado los datos, se procede a calcular el "ancho del histograma" en unidades normalizadas, considerando las posibles fracciones que resultan de la eliminación de datos. Por ejemplo, en la Figura 14, en el extremo inferior del histograma, los intervalos 1, 2 y 3 se descartan debido a la exclusión de 10 datos, mientras que 1 de los 12 datos pertenece al intervalo 4, lo que resulta en un valor de $11/12 = 0,92$. Una situación similar se observa en el extremo superior del histograma, donde las unidades decimales equivalen a $3/7 = 0,43$. Por lo tanto, nuestro rango es igual a $0,92 + 6 + 0,43 = 7,35$ unidades. Para expresar el Rango D en milímetros, se multiplica el número de unidades calculado por el valor milimétrico de cada unidad.

Rango D = $7,35 \times 5\text{mm} = 36,75\text{mm}$.

Calibración mediante el Factor de Corrección.

$$F.C. = (EP \times 10) / (Li - Lf) \times 5$$

Donde:

EP = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial del puntero.

Lf = Posición final del puntero.

Determinación del Rango D corregido.

$$D_c = D \times FC$$

Determinación del valor IRI

$$IRI = 0,593 + 0,047D_c$$

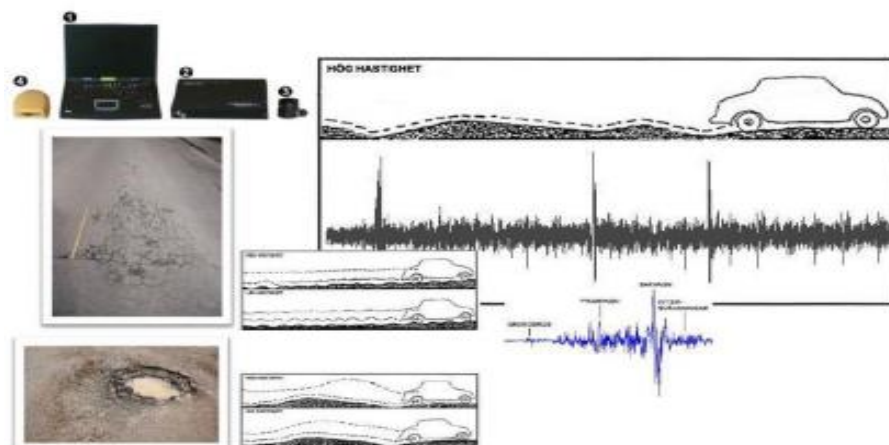
2.2.4 Aplicación del ROADROID en Smartphone.

Un grupo de ingenieros suecos ha estado inmerso en el desarrollo de dispositivos móviles y sistemas GPS desde 1997, concentrándose en mediciones de fricción, adaptación dinámica de velocidad y la recolección de datos de trayectoria. La concepción inicial de ROADROID surgió en 2001, cuando la Junta de Investigación del Transporte (TRB) en Washington estaba supervisando un proyecto que implicaba que los camiones operaran a velocidades más bajas debido a las deficientes condiciones de las carreteras. Esta observación dio origen al concepto de utilizar las vibraciones de los vehículos para evaluar el estado de las carreteras.

El primer prototipo se construyó en 2002 en colaboración con el Real Instituto de Tecnología (Figura 15). En ese momento, los teléfonos inteligentes aún no estaban disponibles, por lo que se utilizaron computadoras personales, acelerómetros externos, GPS y amplificadores de señal. El dispositivo se empleaba mediante software para analizar la señal.

Figura 15

Primer prototipo ROADROID



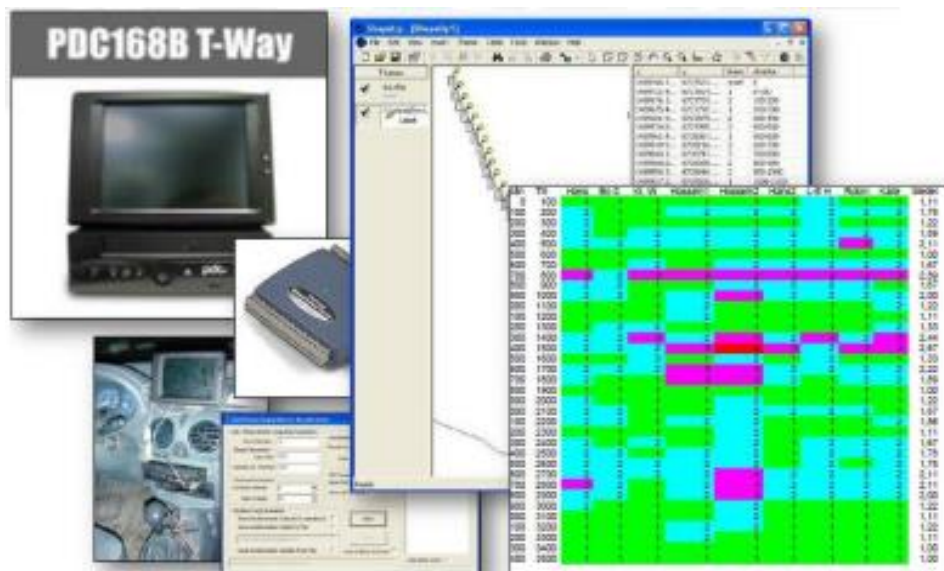
Nota. Adaptado de Roadroid (2014). Se ilustra un sistema de monitoreo y diagnóstico de pavimentos mediante el análisis de vibraciones y señales acústicas. Básicamente, muestra cómo se utiliza un vehículo equipado con sensores para detectar imperfecciones en la carretera mientras circula.

Debido al éxito obtenido con el prototipo inicial, la Administración Nacional de Carreteras de Suecia (SNRA) proporcionó financiamiento para la continuación del proyecto, que se enfoca en caminos de grava sin pavimentar.

El sistema se desarrolló utilizando una computadora personal con sistema operativo Windows instalado en el vehículo, junto con un sistema GPS y un acelerómetro instalado en el eje trasero del vehículo (ver Figura 16). Además, se recopilaron datos de movilidad y se implementó un sistema de información geográfica en red para visualizar la calidad de la carretera utilizando colores.

Figura 16

Segundo prototipo ROADROID



Nota. Adaptado de Forslôf (2013). Se muestra un sistema avanzado de evaluación de pavimentos en tiempo real que utiliza sensores acústicos y de vibración. El sistema parece ser el PDC168B T-Way, diseñado para automatizar la detección de daños en las carreteras sin necesidad de inspecciones manuales lentas.

El segundo prototipo alcanzó su límite en 2006 debido a varias limitaciones, como la susceptibilidad de los cables y sensores al entorno, lo que resultaba en resultados poco confiables en diversas condiciones climáticas. En 2010, con la llegada de los teléfonos inteligentes que incluían acelerómetros, procesadores de datos, memoria y capacidades de datos móviles, se abrió un nuevo horizonte para el equipo de ROADROID.

Decidieron orientar su proyecto utilizando la experiencia acumulada a lo largo de muchos años, pero surgieron nuevas preguntas: cómo aprovechar las vibraciones del

vehículo, definir la frecuencia de muestreo, comprender la sensibilidad del acelerómetro del teléfono móvil y distinguir entre diferentes tipos de vehículos para la recolección de datos.

La aplicación se desarrolló específicamente para teléfonos móviles con sistema operativo Android, seleccionando esta plataforma sobre iPhone (iOS) debido a consideraciones de arquitectura y relación precio-rendimiento. Las pruebas de campo comenzaron en 2011 (ver Figura 17). Los usuarios de la aplicación pueden recolectar datos sin necesidad de conexión a Internet, ya que la información se comprime y se envía a la nube. A través del portal de Google Maps, se visualizan las condiciones de la carretera analizadas en cinco colores asociados al IRI calculado.

Figura 17

Prueba del software del tercer prototipo ROADROID a través de los técnicos



Nota. Adaptado de Forslôf (2013). Un equipo de técnicos circula por la vía, mientras el software registra cada anomalía. Esto reemplaza la inspección visual humana por un método objetivo, rápido y mucho más seguro, ya que no requiere cerrar carriles ni exponer a trabajadores al tráfico.

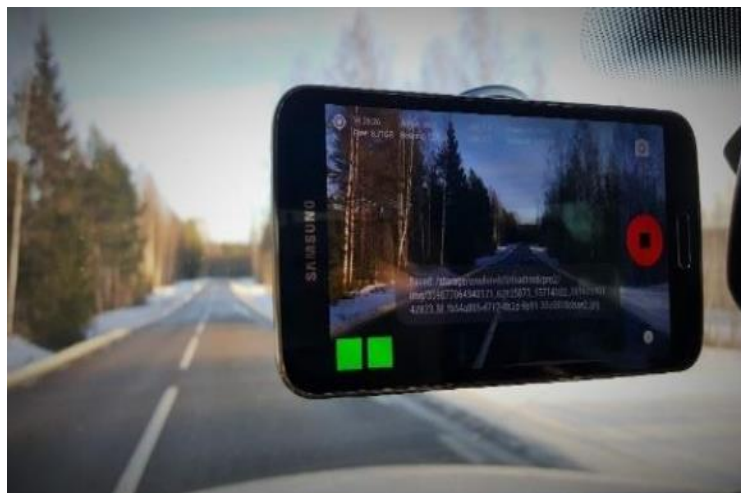
2.2.4.1 ROADROID

ROADROID es una aplicación diseñada para dispositivos móviles que tiene como objetivo supervisar las condiciones de las carreteras utilizando el acelerómetro del teléfono. Este dispositivo registra las vibraciones del vehículo y las convierte en valores IRI (m/km) mediante ecuaciones o modelos relacionados con la dinámica del automóvil (Figura 18). Además, emplea el GPS y los datos móviles para enviar información sobre el estado de las carreteras, la cual puede ser utilizada para diversas finalidades, como la gestión del mantenimiento vial.

Figura 18*Logo ROADROID**Nota.* Adoptado de Roadroid (2020).

2.2.4.2 Aplicación ROADROID en Smartphone

El sistema ROADROID examina la carretera a una frecuencia de 100 veces por segundo (registrando una señal cada 25 centímetros a una velocidad de 90 km/h). A partir de esta información, calcula el IRI y registra las condiciones de la carretera junto con sus coordenadas GPS. Estos datos se almacenan en el dispositivo móvil y luego se transfieren a la nube (ver Figura 19).

Figura 19*App móvil**Nota.* Adaptado de Roadroid (2020)

Las aplicaciones móviles generan archivos CSV que contienen una gran cantidad de datos por segundo. Sin embargo, para obtener una visión más general y conveniente, es más adecuado utilizar conexiones a datos agregados y calcular promedios de muestras. Dependiendo de la base de datos de carreteras utilizada, existen diversas oportunidades para refinar los datos y agregar información de atributos como el ancho de la carretera, el volumen de tráfico, entre otros. En Suecia, por ejemplo,

han estado empleando la Base de Datos Nacional de Carreteras de Suecia (NVDB).

En todo el mundo, los datos de tráfico se pueden exportar a otros sistemas en formato shapefile, principalmente utilizando geometría de Open Street Maps (OSM) o Google Maps. Utilizando la información obtenida y a través del sitio web (Google Maps) es posible visualizar las rutas analizadas y el estado de la vía utilizando los siguientes colores: verde para mejores condiciones, amarillo para satisfactoria, rojo para insatisfactoria y negro para malas condiciones de la vía. A nivel mundial, se utilizan principalmente la geometría de Open Street Map (OSM) o Google Maps para exportar datos de tráfico a otros sistemas en formato shapefile. Con la información recopilada y mediante el uso de plataformas web como Google Maps (Figura 20), es posible visualizar las rutas analizadas y el estado de las carreteras mediante un código de colores: verde para condiciones óptimas, amarillo para condiciones aceptables, rojo para condiciones deficientes y negro para carreteras en mal estado.

Figura 20

Representación gráfica de la vía evaluada en Google Maps



Nota. Adaptado de Roadroid (2020).

En el portal www.roadroid.com.pe se indica que el equipo dirigido por el CEO, el Ingeniero Lars Forslöf, se esfuerza constantemente por mejorar ROADROID, ofreciendo aplicaciones más dinámicas, fáciles de usar y rentables para la comunidad. El Ingeniero Lars Forslöf comparte documentos de investigación y evaluaciones a través de su perfil en la red social LinkedIn (www.linkedin.com) o en su sitio web personal www.roadroid.com.pe.

2.2.4.3 IRI Calculado (cIRI)

Las pruebas del IRI calculado (cIRI) se realizan a velocidades entre 60 y 80 km/h para confirmar su adecuada calibración. Se utiliza un modelo de un cuarto de automóvil junto con datos de entrada, incluyendo dos pesos (amortiguados y no amortiguados) y el movimiento del vehículo, para simular el comportamiento de la carrocería. De esta manera, se pueden estimar los datos de los acelerómetros utilizados en la calibración, lo que permite a los usuarios realizar esta tarea sin dificultades.

La obtención de datos de cIRI mediante ROADROID requiere la configuración previa y detallada de todas las variables dentro de la plataforma. El cálculo de la rugosidad se ejecuta mediante una simulación por tramos, la cual promedia los valores en segmentos de longitud definida, oscilando estos entre los 20 y 200 metros.

Para garantizar la validez de las pruebas, es imperativo mantener una velocidad constante dentro del rango de 60 a 80 km/h. De acuerdo con los parámetros de Roadroid (2020), la configuración permite seleccionar diversos tipos de vehículos, tales como autos compactos, sedanes convencionales, camionetas 4x4 o bicicletas. Cabe destacar que la eficacia de la medición del cIRI ha sido validada mediante múltiples muestreos internacionales, cuyos criterios de configuración previa se sintetizan en la Tabla 4:

Tabla 4

Mediciones de cIRI

Vía	Pavimentado	Afirmado	Terreno natural
Velocidad (km/h)	80	60	40
Sensibilidad cIRI	1.6	2.2	2.8
Longitud tramo cIRI (m.)	40	100	200

Nota. Adaptado de Roadroid (2020). Basado en los datos proporcionados y la relación con el sistema de medición de irregularidad (cIRI) que se han analizado en las imágenes, aquí se tiene un resumen organizado de los parámetros de operación según el tipo de vía.

2.2.4.4 IRI Estimado (eIRI)

El IRI estimado representa una adaptación del cálculo del IRI propuesto por el Banco Mundial, utilizando una correlación lineal entre instrumentos de medición de alta precisión. Además, el eIRI es sugerido por (Sayers, M. ; Karamihis, S., 1998).

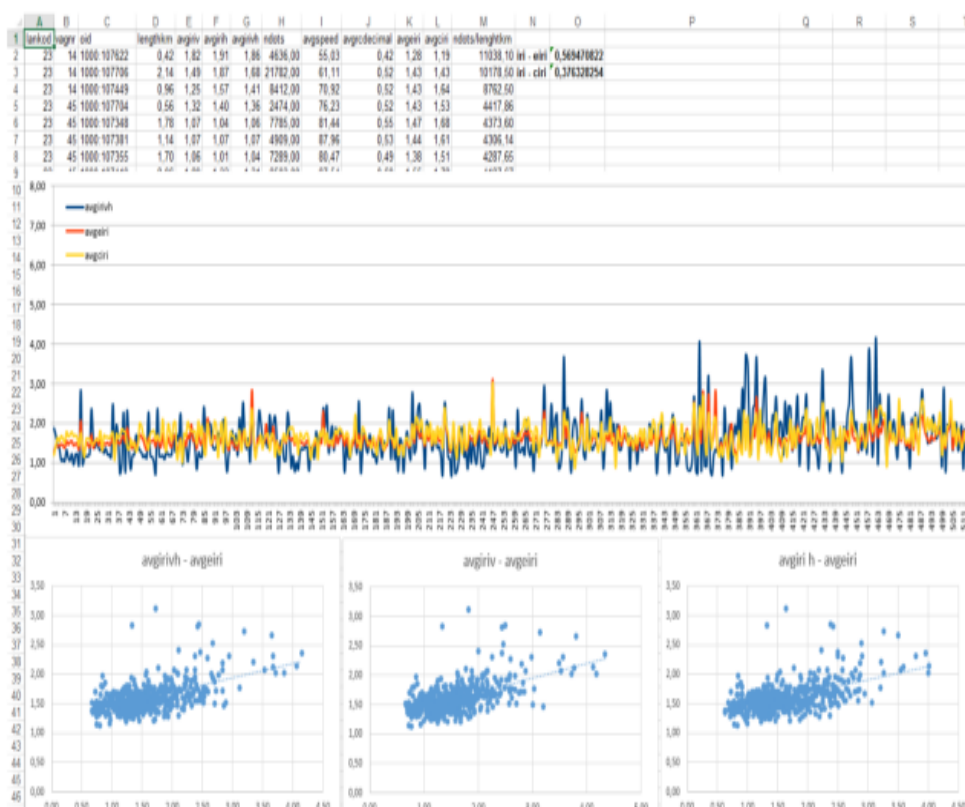
El análisis se fundamenta en la medición de segmentos de 20 metros en distintas secciones de la carretera mediante un perfilómetro láser y ROADROID.

Durante las comparaciones, se estableció un coeficiente de correlación para calcular el IRI. El coeficiente de determinación (R^2) es 0,5, indicando una correlación moderada (Figura 21). No obstante, este análisis presenta algunas limitaciones en superficies de carretera en mal estado y vehículos pequeños, los cuales son más susceptibles que los automóviles estándar.

Diversas instituciones como el Banco Mundial, UNOPS, la empresa SpeaAutostrade y varias universidades continúan investigando para hallar soluciones. Por ejemplo, la Universidad de Auckland identifica una correlación del 81% entre los datos obtenidos mediante la aplicación ROADROID y los perfilómetros de nivel 1.

Figura 21

Filtro de datos correlaciones



Nota. Adaptado de Forslóf, et al., 2015. Las líneas de tendencia (puntos discontinuos) en los gráficos de dispersión confirman que cuando una medida sube, las otras también lo hacen. Sin embargo, el "ruido" aumenta en los valores más altos, lo cual es común en sensores: las mediciones pierden precisión cuando la intensidad del movimiento es muy fuerte.

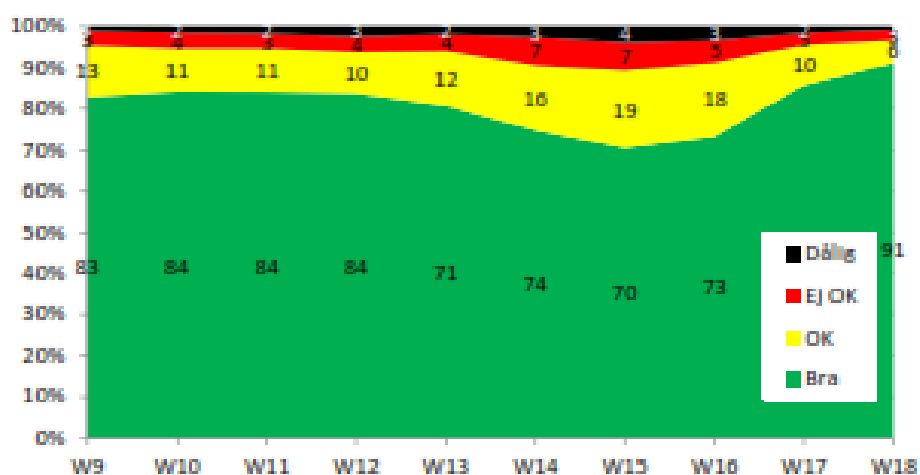
2.2.4.5 Índice ROADROID

ROADROID categoriza las carreteras evaluadas según el IRI (calculado o estimado) en cuatro niveles, representados por colores (verde, amarillo, rojo y negro), con el propósito de ofrecer una presentación de datos comprensible y adaptable. El índice ROADROID exhibe el porcentaje de cada categoría de carretera a través de la base de datos obtenida al analizar las vías. Por ejemplo, en un tramo de carretera inspeccionado, el 94,6% fue clasificado como bueno (verde), el 3,3% como satisfactorio (amarillo), el 1,5% como insatisfactorio (rojo) y el 0,6% como malo (negro) (Figura 22).

La ventaja de este índice radica en su capacidad para consolidar datos de múltiples mediciones a lo largo del tiempo, permitiendo la generación automática de informes que facilitan la comparación de los resultados de calidad del pavimento para diversas longitudes de carretera.

Figura 22



Pavimento de asfalto



Nota. Adaptado de Forslôf et al., 2015. El diagrama de áreas apiladas al 100%, que muestra la evolución de la calidad o el rendimiento a lo largo de 10 semanas (de la W9 a la W18). Los términos están en sueco, lo que nos da una escala de "Excelente" a "Malo".

La Tabla 5 integra la información recopilada con el fin de proyectar resultados y analizar su evolución temporal. Para garantizar un monitoreo eficaz de las tendencias anuales, resulta indispensable establecer un sistema de reportes periódicos. En este sentido, la captura de datos queda a cargo del personal operativo o cuadrillas de mantenimiento, quienes ejecutan inspecciones visuales frecuentes, con una periodicidad habitual de una a tres veces por semana.

Tabla 5*Calificación de la vía según ROADROID.*

Calificación	IRI	Color
Buena	< 2.5	
Satisfactoria	2.5 – 4,0	
No satisfactoria	4.0 – 6,0	
Pobre	> 6,0	

Nota. Adaptado de Roadroid (2014). Un valor representaría una superficie en cuatro calificaciones. A medida que el número aumenta, la comodidad del conductor disminuye y el costo de operación de los vehículos aumenta.

2.3 Definición de términos

2.3.1. Índice de serviciabilidad

Estado de una superficie o pavimento rígido tal como lo percibe el usuario en un momento dado (AASHTO, 1993).

2.3.2. MERLIN

Machine for evaluating roughness using low-cost instrumentation (Del Aguila, 1999).

2.3.3. ROADROID

Aplicación móvil que utiliza los sensores de aceleración y geolocalización de los teléfonos inteligentes para medir la rugosidad del pavimento, proporcionando valores aproximados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (Forsslöf, L.; Jones, H., 2015).

2.3.4. Evaluación superficial

Es el desnivel longitudinal y transversal de la pendiente del pavimento (Huang, 2004).

2.3.5. Rugosímetro de MERLIN

Dispositivo económico creado especialmente para cuantificar la distancia vertical entre la superficie de la carretera y una línea imaginaria de longitud fija, tomando como

referencia el punto medio (Del Aguila, 1999).

2.3.6. IRI

Indicador estandarizado que mide la rugosidad longitudinal de un pavimento en términos de su efecto sobre un vehículo de referencia, expresado en metros por kilómetro (m/km) (Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Queiroz, C., 1986).

2.3.7. Rehabilitación

Conjunto de actividades de mantenimiento mayor orientadas a restablecer las condiciones de funcionalidad y estructura de la vía, basadas en criterios técnicos como el IRI (FHA, 1998).

2.3.8. Evaluación funcional del pavimento

Análisis del comportamiento superficial del pavimento, incluyendo rugosidad, fricción, textura y defectos visibles, sin considerar su estructura interna (Huang, 2004).

2.3.9. Acelerómetro

Sensor incorporado en smartphones que detecta cambios en la aceleración tridimensional, útil para estimar la rugosidad al registrar vibraciones inducidas por el pavimento (Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G., y Selavo, L., 2011).

2.3.10. Velocidad de operación

Velocidad a la que se recomienda realizar las mediciones de rugosidad con aplicaciones móviles, generalmente entre 40 y 60 km/h para obtener datos confiables (Jain, S. S., Parida, , y Ghosh, 2017).

2.3.11. Índice de rugosidad

Es el indicador de irregularidad más representativo de las condiciones de la superficie de la carretera (ASTM, 2013).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

Se empleará un enfoque de diseño no experimental, en el cual no se manipularán deliberadamente los datos de estudio respecto a las variables independientes para analizar sus efectos sobre otras variables (Maldonado, 2015).

3.2 Acciones y actividades

Para abordar el problema de la evaluación de las condiciones de una carretera utilizando la técnica de recolección de datos con la aplicación ROADROID y el equipo MERLIN, se seguirán las siguientes acciones y actividades, detalladas por objetivos y variables analizadas:

3.2.1 ¿Cómo se estudió el problema?

El problema se estudió mediante la recolección y análisis de datos relacionados con la condición de la carretera en la avenida Los Ángeles del distrito de Pocollay. Se utilizarán dos técnicas principales: la aplicación ROADROID y el equipo MERLIN, tal como se muestran las figuras 23 y 24.

Figura 23

Pantalla Inicio de la aplicación ROADROID en el vehículo de ensayo



Figura 24*Calibración del equipo MERLIN*

Nota. Se muestra el uso de pastillas de Bronce colocados en el patín móvil y fijo.

3.2.2 ¿Qué se hizo?

Se llevarán a cabo las siguientes acciones para la recolección y análisis de datos:

a. Configuración y Calibración del Equipo

- ROADROID:
 - Equipo Utilizado: Teléfono Samsung Galaxy S9, modelo SM-G9600.
 - Montaje: Instalación del teléfono en el parabrisas de una camioneta SUV Toyota.
 - Configuración Inicial:
 - Instalación de la aplicación ROADROID Pro3.
 - Registro del número IMEI del teléfono en el sitio web de ROADROID.
 - Configuración del modelo del teléfono y del vehículo.
 - Calibración: Ajuste de los valores de X, Y y Z lo más cercanos a cero posible hasta que el botón se vuelva verde (Figura 25).

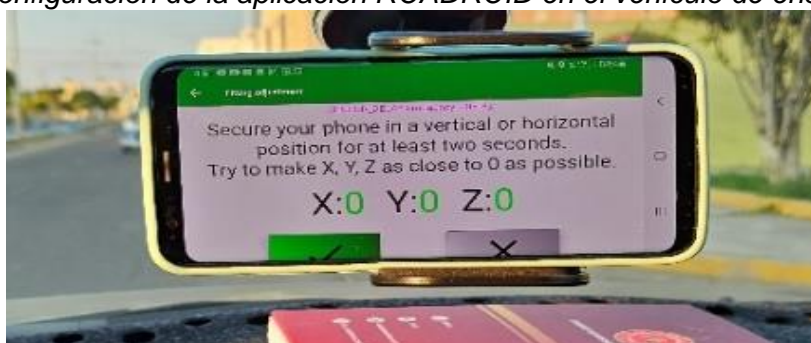
Figura 25*Configuración de la aplicación ROADROID en el vehículo de ensayo*

Figura 26

Ingreso de datos de la vía al aplicativo ROADROID con fotografía



b. Recolección de Datos

- ROADROID:
 - Inicio de la Recolección: Una vez calibrado el equipo, iniciar la recolección de datos cada 100 m (Ver Figuras 27 y 28).
 - Almacenamiento: Los datos se guardarán automáticamente en la carpeta "ROADROID" del teléfono en formato Zip.
 - Carga de Datos: Transferencia de los archivos a la carpeta "roadroid/backup" y carga en la web de ROADROID hasta recibir el mensaje "carga completa".

Figura 27

Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo

ROADROID con toma de fotos configurado cada 100 m.



Nota. La Figura 27 muestra el inicio del ensayo calzada de subida

Figura 28

Evaluación de la rugosidad en el tramo final de subida con ROADROID



Nota. La Figura 28 muestra la evaluación cada 100 m. en la zona investigada

Figura 29

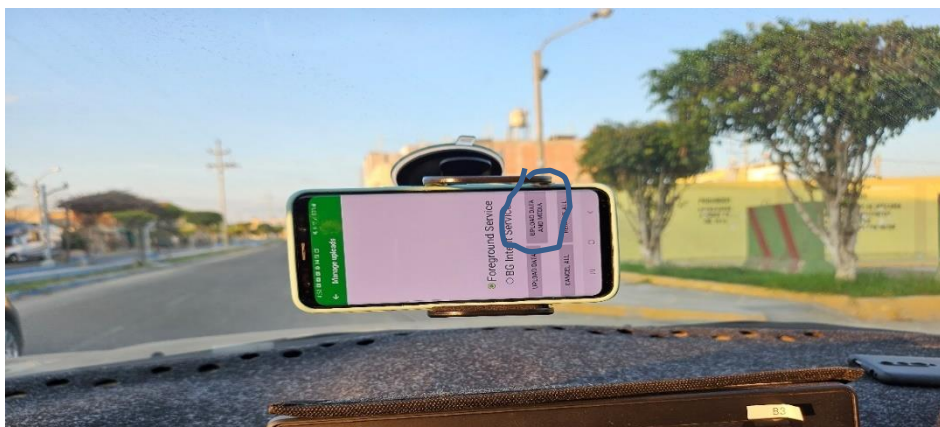
Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID en la calzada de bajada.



Nota. La Figura 29 muestra el inicio del ensayo calzada de bajada

Figura 30

Envío de los resultados a la WEB ROADROID



- MERLIN:
 - Medición: Evaluación de la avenida Los Ángeles en una longitud de 2,750 m. (Figura 31).
 - Frecuencia de Medición: 200 datos cada dos metros a lo largo de toda la vía para un tramo de ensayo de 400 m. (ver Figuras 32, 33 y 34).

Figura 31

*Inicio de evaluación con el MERLIN,
calzada de subida*



Figura 32

Evaluación de las irregularidades en la
calzada de subida



Figura 33

*Evaluación del tramo final de la Av. Los
Ángeles, calzada de subida*



Nota. Se continua con la evaluación en la calzada de subida cada 2 metros

Figura 34

*Inicio de evaluación con el MERLIN,
calzada de bajada*



3.2.3 ¿Cuándo y dónde se efectuó?

- Periodo de Recolección de Datos: Se determinará un periodo adecuado para la recolección de datos, considerando factores como el tráfico y las condiciones climáticas, la medición de la rugosidad con el MERLIN se efectuó el día 09 de marzo de 2024, y la aplicación ROADROID se efectuó el día 20 de abril de 2024.
- Ubicación: Avenida Los Ángeles, distrito de Pocollay.

3.2.4 ¿Qué variables se midió?

- Variables a Medir:
 - Índice de Rugosidad Internacional (IRI): Medido en m/km.
 - Coordenadas de la carretera: Utilizando la tecnología GPS del teléfono.
 - Aceleraciones en los ejes X, Y y Z: Capturadas por el sensor del teléfono.
 -

3.2.5 ¿Cómo se midió?

- Tecnología y Herramientas:
 - ROADROID: Utiliza sensores del teléfono para medir las aceleraciones y GPS para las coordenadas (ver Figura 35 y 36).

Figura 35

Evaluación de la rugosidad en el tramo final de subida con ROADROID



Figura 36

Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID en la calzada de bajada.



Nota. La Figura 36 muestra el inicio del ensayo calzada de bajada.

- MERLIN: Realiza mediciones manuales a lo largo de la vía, tal como se muestra en la Figura 37 y 38.

Figura 37

Evaluación de las irregularidades, calzada de bajada



Nota. La Figura 37 continua con la evaluación en la calzada de bajada cada 2 metros.

Figura 38

Evaluación del tramo final de la Av. Los Ángeles, calzada de bajada



Nota. Se muestra la culminación de la evaluación en la calzada de bajada.

3.2.6 ¿Con qué frecuencia?

- Frecuencia de Medición:
 - ROADROID: Recolección continua de datos durante el recorrido cada 100 m.
 - MERLIN: Medición cada dos metros a lo largo de los 2,750 m evaluados en tramos de 400 m.

3.2.7 Procesamiento de Datos

- Software Utilizado: Hojas de cálculo EXCEL.
- Procesamiento: Cálculo del IRI ponderado y análisis de las aceleraciones y coordenadas capturadas.

3.2.8 Personal Involucrado

- Investigador Principal: Responsable de la configuración y recolección de datos.
- Asistencia Técnica: Personal especializado en el uso de la aplicación y del equipo MERLIN.

Con esta metodología se asegura una recolección precisa y consistente de datos, permitiendo evaluar adecuadamente las condiciones de la carretera en estudio x.

3.3 Materiales e instrumentos

3.3.1 Materiales

- Smartphone, es el teléfono inteligente a utilizarse Samsung Galaxy
- Aplicativo ROADROID de origen sueco.
- Soporte para Smartphone en el parabrisas del vehículo
- Cámara fotográfica, para el registro de los ensayos a realizarse.
- Camioneta para la evaluación con el aplicativo ROADROID, cualquier modelo de vehículo.

3.3.2 Instrumentos

- Rugosímetro MERLIN mide el perfil longitudinal del pavimento
- Programa Microsoft Excel
- Acelerómetro del Smartphone, detecta y registra aceleraciones durante el movimiento del vehículo.
- Formato autorizado de observación para el uso del equipo MERLIN.

3.4 Población y muestra de estudio

3.4.1 Población

En términos funcionales, la población del estudio corresponde a todas las unidades longitudinales de pavimento que integran la calzada de la avenida Los Ángeles, operativa como vía colectora de tránsito urbano, cuya superficie presenta desgaste superficial visible y tránsito constante de vehículos livianos y pesados. La elección de este tramo se justifica por su relevancia vial y por las condiciones observadas de deterioro que pueden comprometer la transitabilidad y seguridad.

3.4.2 Muestra

La selección de la muestra en el presente estudio se basó en criterios de accesibilidad, representatividad y viabilidad operativa. Se eligió evaluar el tramo de la avenida Los Ángeles comprendido entre el KM 0+000 y el KM 2+750, debido a que constituye una vía urbana de alto tránsito vehicular en el distrito de Pocollay, y presenta signos visibles de deterioro superficial, lo que la convierte en un área de interés para el análisis de la rugosidad del pavimento.

Además, la longitud total del tramo permite una aplicación efectiva del método de muestreo sistemático, con registros cada 2 metros, lo que garantiza una cobertura adecuada para obtener datos representativos de las condiciones reales del pavimento. La elección de este tramo también consideró la factibilidad técnica para la toma de datos tanto con el rugosímetro MERLIN como con smartphones, maximizando así la eficiencia del trabajo de campo y la calidad de los resultados obtenidos.

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable dependiente

Aceleración medida por smartphone e IRI

- Definición conceptual.

Reacción de un automóvil al transitar por una sección de carretera a ser evaluada, en comparación con otra sección basada en la evaluación del perfil de la carretera.

- Definición operacional.

La aplicación ROADROID junto con el rugosímetro MERLIN determina el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del pavimento.

Indicadores:

- Parámetros de evaluación
- Smartphone
- Metodología ROADROID
- Índice eIRI y cIRI.
- Equipo MERLIN
- Determinación del rango D
- Correlación D en función del IRI

3.5.2 Variable Independiente

Evaluación de la rugosidad superficial del pavimento

- *Definición conceptual.*

Irregularidades en la superficie de la carretera en comparación con una superficie nivelada que influyen el comportamiento del vehículo, la comodidad de conducción, las tensiones dinámicas y el drenaje.

- *Definición operacional.*

La determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se realiza mediante la medición de la rugosidad acumulada en un tramo de 1 km utilizando dispositivos adecuados, y se utiliza el valor de 2.5 m/km como referencia para evaluar la calidad del pavimento, distinguiendo entre condiciones favorables y desfavorables.

Indicadores:

- Pavimento flexible
- Evaluación superficial de pavimentos
- Cálculo de la rugosidad
- Análisis funcional
- Evaluación de la condición del asfalto
- Serviciabilidad basado en el IRI

La Tabla 6 muestra las dos variables con sus respectivas dimensiones y sus indicadores.

Tabla 6

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores
Aceleración medida por smartphone e iri	Reacción de un automóvil al transitar por una sección de carretera a ser evaluada, en comparación con otra sección basada en la evaluación del perfil de la carretera	Parámetros de evaluación	Aplicativo ROADROID Índice eIRI y cIRI Rugosímetro de MERLIN
		Cálculo del IRI	Cálculo del eIRI y cIRI mediante Smartphone Determinación del rango D e IRI mediante el rugosímetro Correlación del IRI ponderado
Evaluación de la rugosidad superficial del pavimento	Irregularidades en la superficie de la carretera en comparación con una superficie nivelada que influyen el comportamiento del vehículo, la comodidad de conducción, las tensiones dinámicas y el drenaje	Parámetros de evaluación	Pavimento flexible Evaluación de la condición del asfalto Análisis funcional
		Calificación	Calificación del estado del pavimento Serviciabilidad en función del IRI

3.6 Procesamiento y análisis de datos

Se emplearon los datos de campo del informe de rugosidad, obtenidos tanto con el rugosímetro de MERLIN como con la aplicación ROADROID, teniendo en cuenta los índices eIRI y cIRI. Estos datos fueron procesados utilizando una hoja de cálculo en Excel para calcular el IRI ponderado en toda la avenida Los Ángeles.

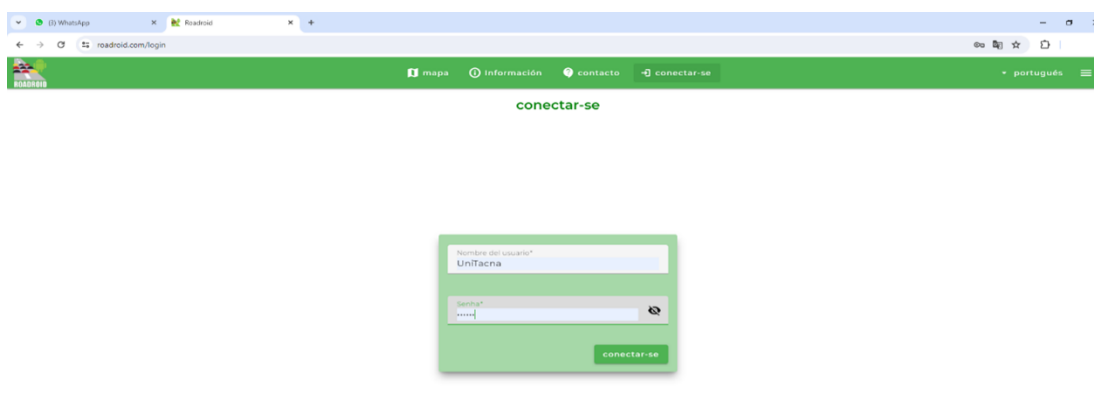
El análisis de la rugosidad en la avenida Los Ángeles se realizó utilizando el rugosímetro MERLIN y la aplicación ROADROID, con mediciones realizadas cada 100 metros en ambas calzadas. Estos datos también fueron procesados con Excel.

Con los resultados obtenidos del IRI y el eIRI, se pudo evaluar la rugosidad superficial del pavimento en la avenida Los Ángeles, ubicada en el distrito de Pocollay.

Usando la información recopilada de los informes generados por la aplicación ROADROID sobre el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), los datos del aplicativo fueron analizados mediante una hoja de cálculo en Excel para calcular el valor del IRI y evaluar la transitabilidad vehicular (Figura 39).

Figura 39

Descarga de la información registrada en ROADROID, utilizando usuario y contraseña obtenida



Nota. Usuario obtenido UniTacna ROADROID. Se muestra la pantalla de inicio de sesión de Roadroid en portugués ("conectar-se"). El usuario ingresado es UniTacna.

Los registros están disponibles en el sitio web de ROADROID, accesibles mediante el usuario y contraseña asignados a la aplicación. Al hacer clic en el enlace "detalle", se despliega la opción para descargar los datos, y al seleccionar "Generar", se obtiene el valor de IRI en intervalos de 20, 50, 100, 160 y 200 metros. Posteriormente, al presionar el botón "Generar", se procede a descargar los valores de IRI calculados y estimados en formato TXT.

Al final, se utilizan los datos del IRI para evaluar las condiciones de tráfico vehicular en la Avenida Los Ángeles, ubicada en el distrito de Pocollay.

3.6.1 Técnicas

- Observación.
- Aplicación directa del rugosímetro MERLIN
- Aplicación directa del aplicativo ROADROID mediante Smartphone

3.6.2 Instrumentos

- Smartphone, es el teléfono inteligente a utilizarse Samsung Galaxy S-9
- Aplicativo ROADROID de origen sueco
- Soporte para Smartphone en el parabrisas del vehículo
- Cámara fotográfica, para el registro de los ensayos a realizarse.
- Camioneta para la evaluación con el aplicativo ROADROID, cualquier modelo de vehículo.
- Formatos de campo

Se empleó la técnica de recolección de datos utilizando la aplicación ROADROID, instalada en un teléfono Samsung Galaxy S9, modelo SM-G9600 29 montado en el parabrisas de una camioneta SUV Toyota. Se utilizó la versión Pro3 de la aplicación, donde se registró el número IMEI del teléfono en el sitio web, se proporcionó una dirección de correo electrónico y se configuraron adecuadamente el modelo del teléfono y del vehículo. En el contexto de esta investigación, el investigador obtuvo una licencia gratuita con propósitos educativos e investigativos.

El proceso de inicio con ROADROID implicó seleccionar la opción “Ajuste” para calibrar el teléfono. Se ajustaron los valores de X, Y y Z lo más cercanos a cero posible hasta que el botón se volvió verde, indicando que la configuración estaba correcta y permitiendo continuar con la recolección de datos. Una vez finalizada la recolección, todos los archivos se cargaron en la página web de ROADROID. Los archivos generados se guardaron automáticamente en la carpeta “ROADROID” del teléfono en formato Zip, y luego se transfirieron a la carpeta “roadroid/backup”, una vez cargados en la web. Una vez completada la carga, se mostró el mensaje “carga completa” en la pantalla del teléfono.

También se utilizó la técnica del equipo MERLIN para recopilar datos en las dos calzadas de la avenida Los Ángeles del distrito de Pocollay, en una longitud de evaluación de 2 750 m y medir continuamente 200 datos cada dos metros a lo largo de toda la vía para tramo de ensayo de 400 m. para obtener el valor IRI ponderado en m/km. Los datos obtenidos son procesados y calculados mediante hojas de cálculo EXCEL.

3.6.3 Análisis de datos

Para examinar los datos recopilados en el informe proporcionado por el equipo MERLIN, se evalúan los índices de IRI en segmentos de 400 metros de la vía. Esto se realiza utilizando una hoja de cálculo en Excel para generar gráficos, tablas y resúmenes con el fin de calcular el IRI promedio. Estos valores IRI se aplican específicamente a la avenida Los Ángeles. Por otro lado, también se tiene los datos recopilados por la metodología de la aplicación ROADROID para determinar los valores del IRI cada 100 m. Este análisis busca proporcionar una evaluación objetiva de la circulación vehicular y sugiere posibles intervenciones para mejorar la accesibilidad en la zona. La Figura 40 muestra el registro de los datos de campo obtenido del MERLIN

Figura 40

Información de campo para ser analizado

ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN												
HOJA DE CAMPO												
PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO BASADO EN LA ACELERACIÓN MEDIDA POR SMARTPHONE E IRI EN LA AVENIDA LOS ANGELES, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 2+750, TACNA - 2023"											
SECTOR:	0+000 al 0+400			Nº DE ENSAYO:			1					
CALZADA:	DERECHO			FECHA:			9/03/2024					
	LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:	
1	48	26	26	19	20	14	22	30	24	25	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	35	19	26	24	30	29	20	5	23	24	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	25	20	20	18	20	22	14	1	20	26	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	6	20	21	20	26	25	49	1	22	24	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	31	30	6	20	25	23	24	10	24	18	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	15	25	25	22	20	16	8	12	16	18	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	2	31	24	20	20	24	21	17	21	24	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	22	18	35	24	26	24	30	28	28	24	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	18	30	29	25	16	18	24	24	22	26	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	26	34	15	16	14	26	13	24	21	28		
11	26	35	18	19	19	21	23	30	29	29		
12	22	30	22	36	24	24	31	18	20	22		
13	42	18	13	20	9	24	29	14	8	25		
14	20	12	19	22	22	14	26	32	17	32		
15	26	11	19	22	22	29	11	26	14	28		
16	21	21	22	22	20	24	18	22	14	21		
17	26	16	23	20	22	20	27	14	28	24		
18	22	23	19	26	50	24	25	21	27	22		
19	28	25	26	30	28	12	28	24	16	24		
20	21	23	22	22	1	22	12	26	28	22		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados de la rugosidad utilizando el aplicativo ROADROID.

4.1.1 Valor IRI de campo obtenido de la aplicación ROADROID

Se detallan los datos obtenidos mediante el uso del software ROADROID para determinar los valores del IRI, los cuales son altamente confiables si la calibración es correcta. El cIRI se basa en el modelo del “cuarto coche” propuesto por el Banco Mundial, y para la recopilación de datos se recomienda mantener velocidades constantes entre 40 y 80 km/h.

En este estudio, las velocidades registradas al calcular el cIRI no fueron constantes, lo que llevó a optar por el eIRI como la aproximación más cercana al IRI real de la avenida Los Ángeles. En la presente investigación, los valores del IRI expuestos en la Tabla 7 y Figura 41, se recopilaron a velocidades de entre 40 y 60 km/h, adecuadas para la zona urbana del distrito de Pocollay.

Tabla 7

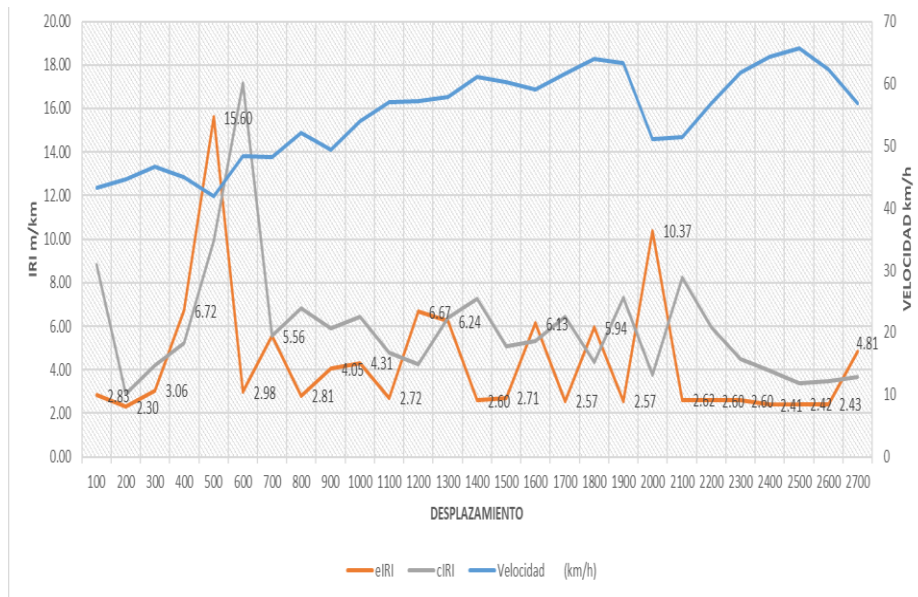
Valor IRI, determinado utilizando el software ROADROID, medido cada 100 metros en la calzada derecha

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
20/04/2024 07:40	-17.9965690	-70.2258660	100	43	689.59	0	2.83	8.80	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9960506	-70.2252016	200	45	690.72	1	2.30	2.91	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9953856	-70.2244547	300	47	692.5	2	3.06	4.22	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9946746	-70.2238338	400	45	694.52	2	6.72	5.21	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9941185	-70.2230911	500	42	697.19	3	15.60	9.92	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9938223	-70.2223444	600	48	700.17	3	2.98	17.15	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9933733	-70.2213582	700	48	702.38	2	5.56	5.58	... 002angeles sub
20/04/2024 07:41	-17.9928557	-70.2207456	800	52	702.91	1	2.81	6.81	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9920705	-70.2202447	900	49	705.41	2	4.05	5.88	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9913338	-70.2194716	1000	54	709.26	4	4.31	6.45	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9908267	-70.2189242	1100	57	712.43	3	2.72	4.79	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9899672	-70.2182121	1200	57	714.76	2	6.67	4.24	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9894109	-70.2175816	1300	58	717.71	3	6.24	6.38	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9889878	-70.2168055	1400	61	720.79	3	2.60	7.27	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9884784	-70.2159802	1500	60	724.12	3	2.71	5.09	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9879469	-70.2152285	1600	59	724.61	0	6.13	5.31	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9873658	-70.2145220	1700	62	729.47	5	2.57	6.44	... 002angeles sub
20/04/2024 07:42	-17.9867908	-70.2137228	1800	64	732.62	3	5.94	4.35	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9863454	-70.2131562	1900	63	735.6	3	2.57	7.31	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9856996	-70.2123775	2000	51	738.89	3	10.37	3.75	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9851309	-70.2116940	2100	51	742.19	3	2.62	8.23	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9845134	-70.2109677	2200	57	745.61	3	2.60	5.93	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9839575	-70.2103391	2300	62	747.77	2	2.60	4.51	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9832327	-70.2096810	2400	64	750.07	2	2.41	3.95	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9823607	-70.2090964	2500	66	752.42	2	2.42	3.40	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9817040	-70.2087346	2600	62	754.93	3	2.43	3.47	... 002angeles sub
20/04/2024 07:43	-17.9808404	-70.2082812	2700	57	758.05	3	4.81	3.69	... 002angeles sub

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID, calzada derecha. Reporte de evaluación de pavimentos, generado específicamente por la aplicación Roadroid. Los datos corresponden a un tramo de 2.7 kilómetros medido el 20 de abril de 2024.

Figura 41

Variación de los valores eIRI cada 100 metros en la calzada derecha



Nota. La Figura 41 ilustra la variación de las mediciones eIRI en la calzada derecha de acuerdo a la velocidad imprimida. La gráfica es la representación visual de la tabla anterior y nos permite ver mucho mejor el comportamiento del pavimento.

Figura 42

Movimiento de evaluación a través de la calzada derecha empleando el software ROADROID



Nota. En la Figura 42 se visualiza el desplazamiento observado durante el ensayo registrado por el ROADROID en la calzada derecha.

Tabla 8

Valor IRI, determinado utilizando el software ROADROID, medido cada 100 metros en la calzada izquierda

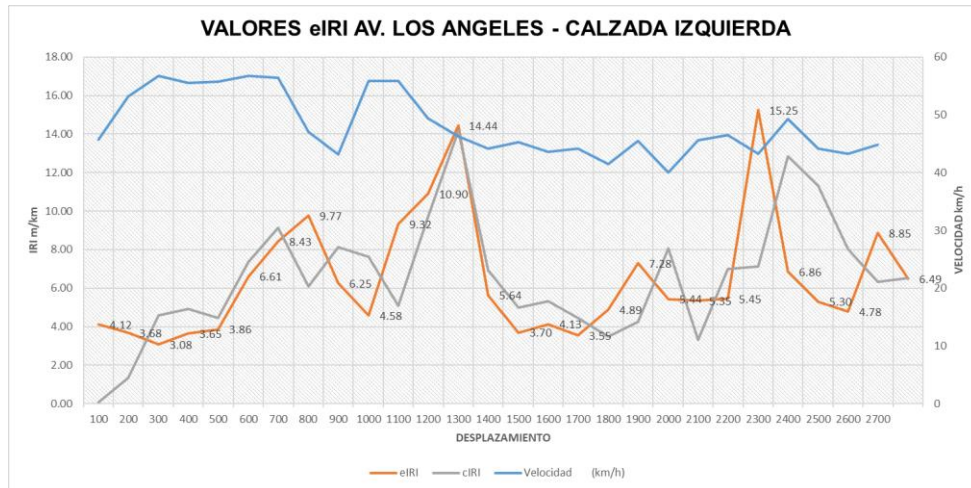
Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
20/04/2024 07:34	-17.9797150	-70.2077580	100	46	760.67	0	4.12	0.09	... 001angeles baj
20/04/2024 07:34	-17.9804527	-70.2081658	200	53	757.66	-3	3.68	1.34	... 001angeles baj
20/04/2024 07:34	-17.9813346	-70.2086334	300	57	755.08	-3	3.08	4.59	... 001angeles baj
20/04/2024 07:34	-17.9820623	-70.2090330	400	56	751.93	-3	3.65	4.92	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9829663	-70.2095655	500	56	748.63	-3	3.86	4.47	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9835803	-70.2100569	600	57	746.11	-3	6.61	7.37	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9841617	-70.2106553	700	56	743.42	-3	8.43	9.13	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9848800	-70.2115090	800	47	740.4	-3	9.77	6.08	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9854671	-70.2122088	900	43	738.79	-2	6.25	8.13	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9860419	-70.2129086	1000	56	736	-3	4.58	7.62	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9865556	-70.2135265	1100	56	732.77	-3	9.32	5.09	... 001angeles baj
20/04/2024 07:35	-17.9871915	-70.2144064	1200	49	729.18	-4	10.90	9.71	... 001angeles baj
20/04/2024 07:36	-17.9877648	-70.2150925	1300	46	726.46	-3	14.44	14.19	... 001angeles baj
20/04/2024 07:36	-17.9883214	-70.2158823	1400	44	721.86	-5	5.64	6.93	... 001angeles baj
20/04/2024 07:36	-17.9888041	-70.2166461	1500	45	718.65	-3	3.70	5.00	... 001angeles baj
20/04/2024 07:36	-17.9892313	-70.2174689	1600	44	716.36	-2	4.13	5.33	... 001angeles baj
20/04/2024 07:36	-17.9898536	-70.2182346	1700	44	714.55	-2	3.55	4.44	... 001angeles baj
20/04/2024 07:37	-17.9903926	-70.2186976	1800	42	711.73	-3	4.89	3.50	... 001angeles baj
20/04/2024 07:37	-17.9911002	-70.2193290	1900	45	708.17	-4	7.28	4.26	... 001angeles baj
20/04/2024 07:37	-17.9917046	-70.2201090	2000	40	706.61	-2	5.44	8.06	... 001angeles baj
20/04/2024 07:37	-17.9925235	-70.2206202	2100	46	703.8	-3	5.35	3.31	... 001angeles baj
20/04/2024 07:37	-17.9931838	-70.2211896	2200	46	700.98	-3	5.45	6.98	... 001angeles baj
20/04/2024 07:37	-17.9936452	-70.2220677	2300	43	698.79	-2	15.25	7.13	... 001angeles baj
20/04/2024 07:38	-17.9939128	-70.2229684	2400	49	697.05	-2	6.86	12.84	... 001angeles baj
20/04/2024 07:38	-17.9944594	-70.2237152	2500	44	694.75	-2	5.30	11.30	... 001angeles baj
20/04/2024 07:38	-17.9950764	-70.2243375	2600	43	692.45	-2	4.78	8.03	... 001angeles baj
20/04/2024 07:38	-17.9957091	-70.2249191	2700	45	689.83	-3	8.85	6.34	... 001angeles baj

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID, calzada izquierda. La Av. Los Ángeles presenta un estado de conservación Deficiente. Mientras que la calzada derecha (subida) concentra sus fallas al inicio (metro 500-600), la calzada de bajada muestra una degradación más distribuida con picos críticos en los metros 1300 y 2300.

Debido a las notables fluctuaciones detectadas en los gráficos del cIRI, cuya estabilidad depende de mantener velocidades constantes entre 60 y 80 km/h, se ha determinado que el eIRI es un indicador más fiable. Por consiguiente, se han empleado los valores de eIRI para establecer el promedio ponderado del Índice de Rugosidad Internacional, mitigando así el sesgo provocado por las variaciones de velocidad durante las pruebas.

Figura 43

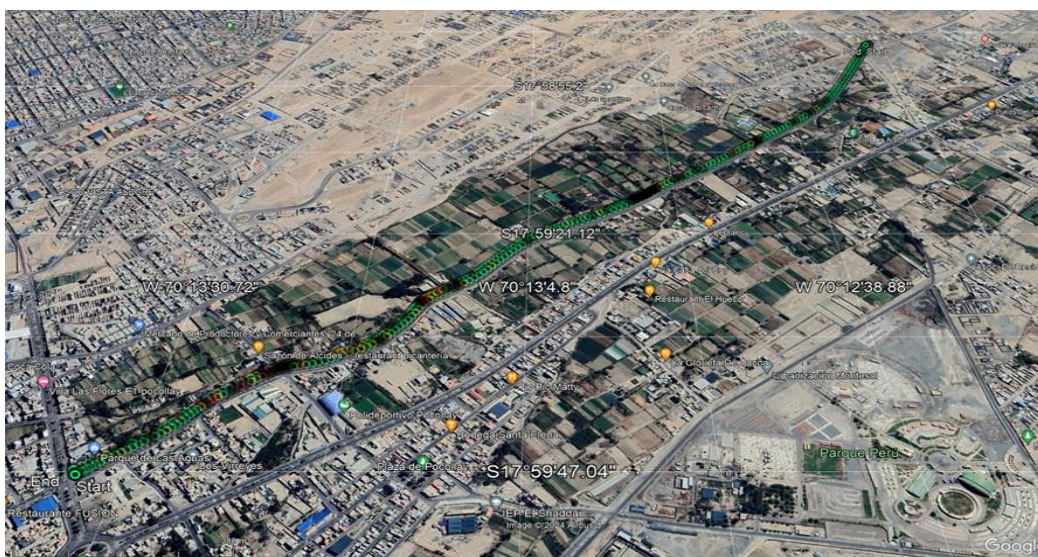
Variación de los valores eIRI cada 100 metros en la calzada izquierda



Nota. Figura 43 ilustra la variación de las mediciones eIRI en la calzada izquierda de acuerdo a la velocidad imprimida.

Figura 44

Movimiento de evaluación a través de la calzada derecha empleando el software ROADROID



Nota. La Figura 44 presenta el desplazamiento observado durante el ensayo registrado por el ROADROID en la calzada izquierda.

4.2 Resultados de la rugosidad utilizando el rugosímetro MERLIN

La recolección de datos en campo se efectuó mediante el rugosímetro MERLIN, evaluando tramos de 400 metros con una frecuencia de muestreo de dos metros hasta completar 200 lecturas por sección. La información obtenida fue procesada en hojas de cálculo para determinar la rugosidad en 12 segmentos de prueba, distribuidos equitativamente entre las calzadas derecha e izquierda (seis por cada una) de la avenida Los Ángeles, en el distrito de Pocollay, Tacna.

4.2.1 Lecturas obtenidas del rugosímetro MERLIN

En cada segmento evaluado, correspondiente a las lecturas de las calzadas de ingreso y salida, se describen y presentan en el ANEXO II los ensayos realizados cada 400 metros:

Calzada Derecha

Tabla 9

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 1 desde el punto 0+000 al 0+400

1	48	26	26	19	20	14	22	30	24	25
2	35	19	26	24	30	29	20	5	23	24
3	25	20	20	18	20	22	14	1	20	26
4	6	20	21	20	26	25	49	1	22	24
5	31	30	6	20	25	23	24	10	24	18
6	15	25	25	22	20	16	8	12	16	18
7	2	31	24	20	20	24	21	17	21	24
8	22	18	35	24	26	24	30	28	28	24
9	18	30	29	25	16	18	24	24	22	26
10	26	34	15	16	14	26	13	24	21	28
11	26	35	18	19	19	21	23	30	29	29
12	22	30	22	36	24	24	31	18	20	22
13	42	18	13	20	9	24	29	14	8	25
14	20	12	19	22	22	14	26	32	17	32
15	26	11	19	22	22	29	11	26	14	28
16	21	21	22	22	20	24	18	22	14	21
17	26	16	23	20	22	20	27	14	28	24
18	22	23	19	26	50	24	25	21	27	22
19	28	25	26	30	28	12	28	24	16	24
20	21	23	22	22	1	22	12	26	28	22
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

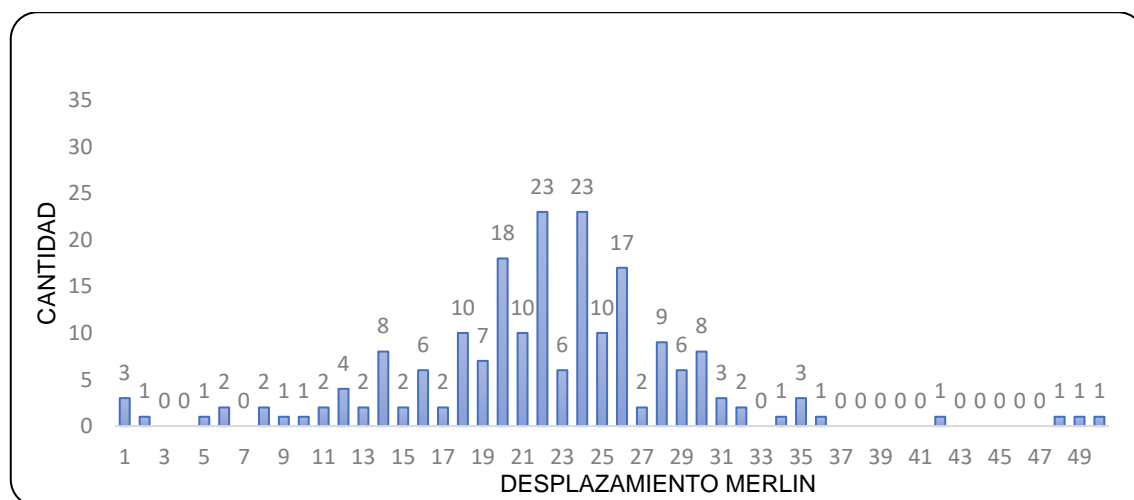
Nota. La Tabla 9 muestra las lecturas de la prueba 1 en la calzada derecha, inicio de la Av. Los Ángeles. La HRC muestra una cuadrícula de mediciones directas, obtenidas de un método manual (como la viga Benkelman, parches, o conteo de fallas por cuadrantes) para validar los datos tecnológicos de Roadroid.

4.2.2 Cálculo de la rugosidad utilizando la hoja de registro del rugosímetro MERLIN, calzada derecha

La Figura 45 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI, y en la Tabla 10

Figura 45

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 1



Nota. La Figura 45 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. La gráfica muestra una distribución normal (campana de Gauss) con un sesgo hacia el centro, lo que permite entender la salud general del pavimento evaluado.

Tabla 10

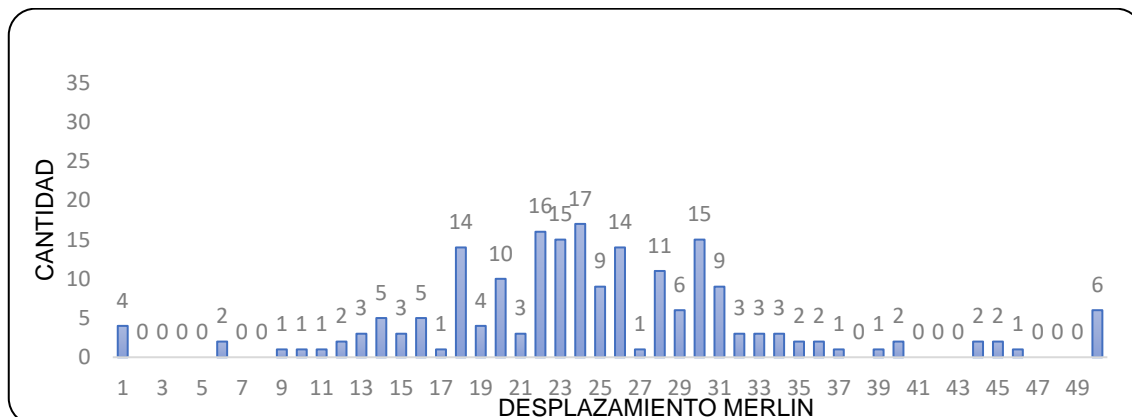
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 1

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	112,50	mm
Factor de Corrección	1,01	
Rango D corregido	113,63	mm
Valor IRI - Rugosidad	5,94	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	1,70	

Nota. La Tabla 10 muestra los resultados del valor IRI 5,94 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,70, calificación MALO

Figura 46

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 2



Nota. La Figura 46 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

Tabla 11

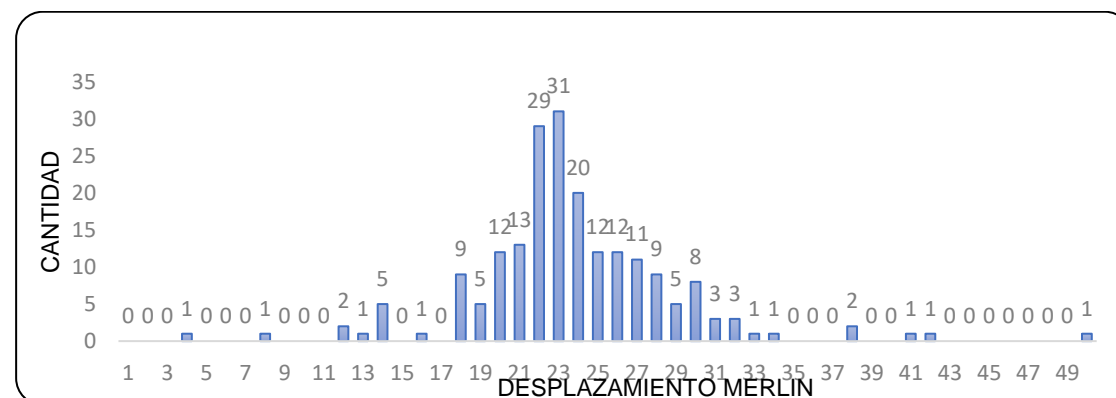
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 2

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	140,00	mm
Factor de Corrección	1,01	
Rango D corregido	141,40	mm
Valor IRI - Rugosidad	7,25	m/km
Valor PSI - Transitabilidad	1,34	

Nota. La Tabla 11 muestra los resultados del valor IRI 7,25 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,34, calificación MALO

Figura 47

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 3



Nota. La Figura 47 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

Tabla 12

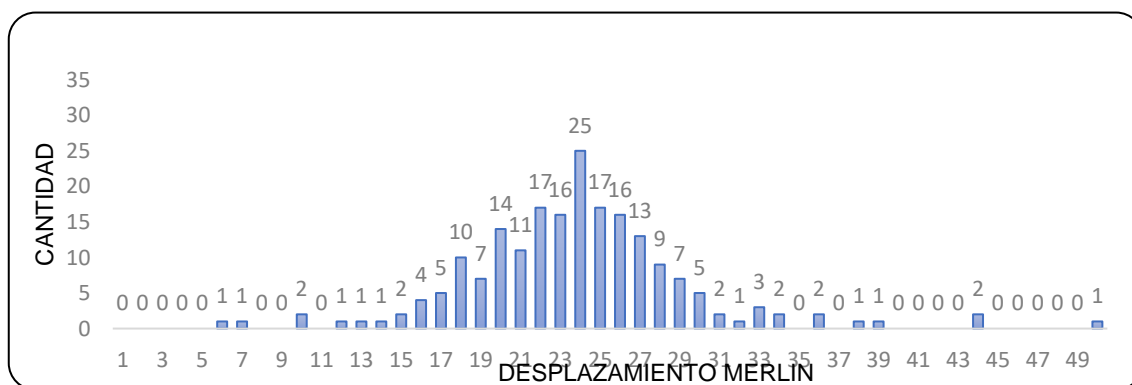
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 3

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	75,00	mm
Factor de Corrección	1,01	
Rango D corregido	75,75	mm
Valor IRI - Rugosidad	4,16	m/km
Valor PSI - Transitabilidad	2,35	

Nota. La Tabla 12 muestra los resultados del valor IRI 4,16 m/km, calificación del pavimento REGULAR y la transitabilidad (PSI) igual a 2,35, calificación REGULAR

Figura 48

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 4



Nota. La Figura 48 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. Los datos demuestran que la Av. Los Ángeles requiere una intervención diferenciada. Mientras que la calzada de subida necesita reparaciones puntuales de gran escala (bacheo profundo).

Tabla 13

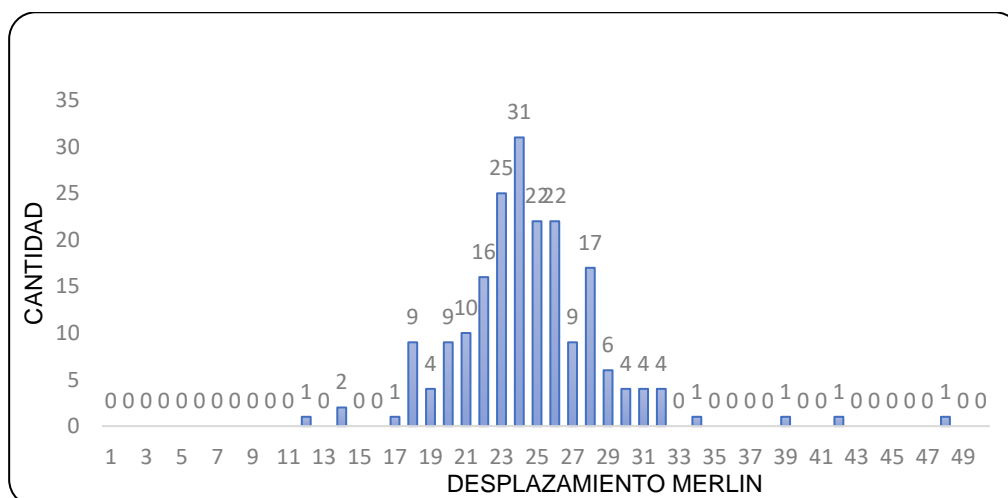
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 4

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	87,08	mm
Factor de Corrección	1,01	
Rango D corregido	87,95	mm
Valor IRI - Rugosidad	4,74	m/km
Valor PSI - Transitabilidad	2,11	

Nota. La Tabla 13 se muestra los resultados del valor IRI 4,74 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 2,11, calificación REGULAR

Figura 49

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 5



Nota. La Figura 49 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. La distribución es notablemente simétrica alrededor del 24, lo que facilita el cálculo de tolerancias o márgenes de error. El 85% de todos los desplazamientos ocurren entre 20 y 28. Si esto fuera un proceso industrial, se consideraría bastante controlado.

Tabla 14

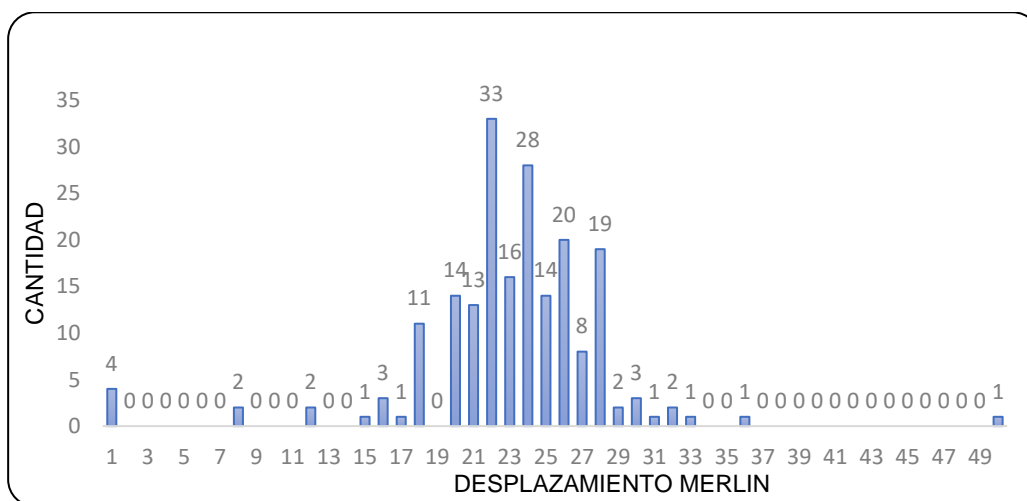
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 5

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	64,17	mm
Factor de Corrección	1,01	
Rango D corregido	64,81	mm
Valor IRI - Rugosidad	3,65	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	2,58	

Nota. La Tabla 14 muestra los resultados del valor IRI 3,65 m/km, calificación del pavimento REGULAR y la transitabilidad (PSI) igual a 2,58, calificación REGULAR. En términos viales, un IRI de 3,65 se sitúa generalmente en un rango Regular. No es una alfombra (que sería < 2,0), pero tampoco es una trocha intransitable. El usuario empezará a sentir vibraciones, pero la circulación aún es cómoda a velocidades moderadas.

Figura 50

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 6



Nota. La Figura 50 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. El gráfico indica que el proceso o fenómeno que estás midiendo es bastante estable y predecible. Aunque el rango total es de 1 a 50, casi todo el "movimiento" real sucede entre 20 y 28. Los valores por debajo de 15 o por encima de 35 son extremadamente raros.

Tabla 15

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 6

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	60,83	mm
Factor de Corrección	1,01	
Rango D corregido	61,44	mm
Valor IRI - Rugosidad	3,49	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	2,65	

Nota. La Tabla 15 muestra los resultados del valor IRI 3,49 m/km, calificación del pavimento REGULAR y la transitabilidad (PSI) igual a 2,65, calificación REGULAR

Calzada izquierda

Tabla 16

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 1 desde el punto 0+000 al 0+400

1	26	28	25	25	22	18	24	29	18	24
2	22	28	23	18	20	50	22	26	24	33
3	22	26	29	24	24	13	24	29	27	25
4	26	25	25	24	28	25	20	30	19	24
5	32	26	23	29	24	26	30	32	30	21
6	20	25	24	25	23	31	28	27	20	24
7	26	24	22	30	25	23	20	26	34	22
8	25	22	25	24	26	30	38	24	26	24
9	24	35	26	25	26	21	28	34	20	22
10	20	41	22	25	23	30	24	26	20	25
11	22	32	18	23	26	19	20	26	24	31
12	28	28	26	26	28	20	27	25	24	25
13	30	25	28	22	28	22	25	20	12	28
14	26	20	20	31	22	28	22	18	23	27
15	20	50	20	23	26	24	29	21	27	28
16	26	46	22	28	25	21	22	22	26	28
17	28	32	24	17	23	23	18	18	22	26
18	25	12	24	21	22	24	18	18	24	31
19	23	24	22	26	25	24	24	24	31	26
20	26	24	26	26	22	20	24	25	24	38
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

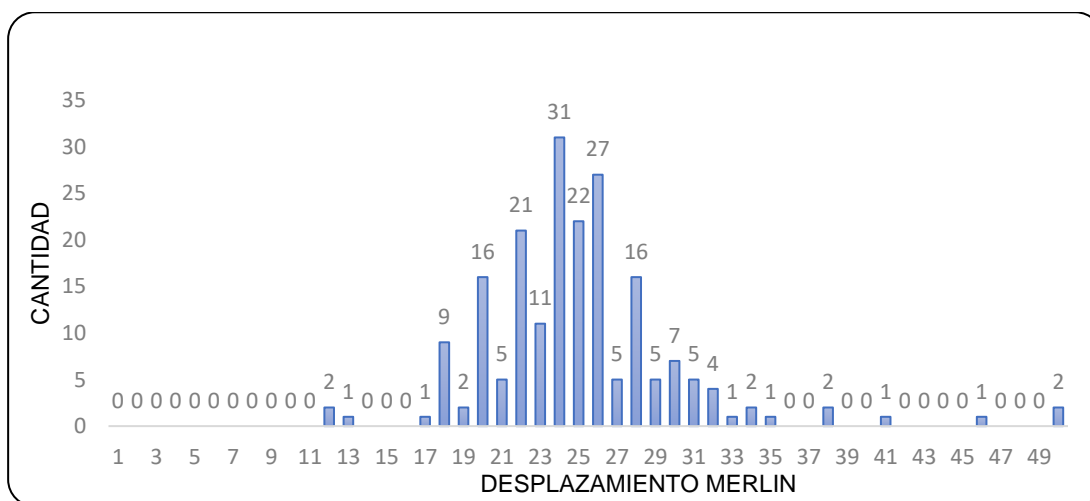
Nota. La Tabla 16 muestra las lecturas de la prueba 1 en la calzada izquierda. Se tienen algunos picos altos (como 50, 46 y 41) y algunos valores bajos (como 12 y 13) que podrían ser puntos de interés dependiendo de qué estés midiendo.

4.2.3 Cálculo de la rugosidad utilizando la hoja de registro del rugosímetro MERLIN, calzada izquierda

La determinación de la rugosidad superficial es un indicador crítico para evaluar la serviciabilidad y la calidad del rodamiento de una infraestructura vial. En la Figura 51 y Tabla 17, se evidencia el histograma de los datos obtenidos mediante el rugosímetro MERLIN, específicamente para la calzada izquierda del tramo en estudio.

Figura 51

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 1



Nota. La Figura 51 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

Tabla 17

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 1

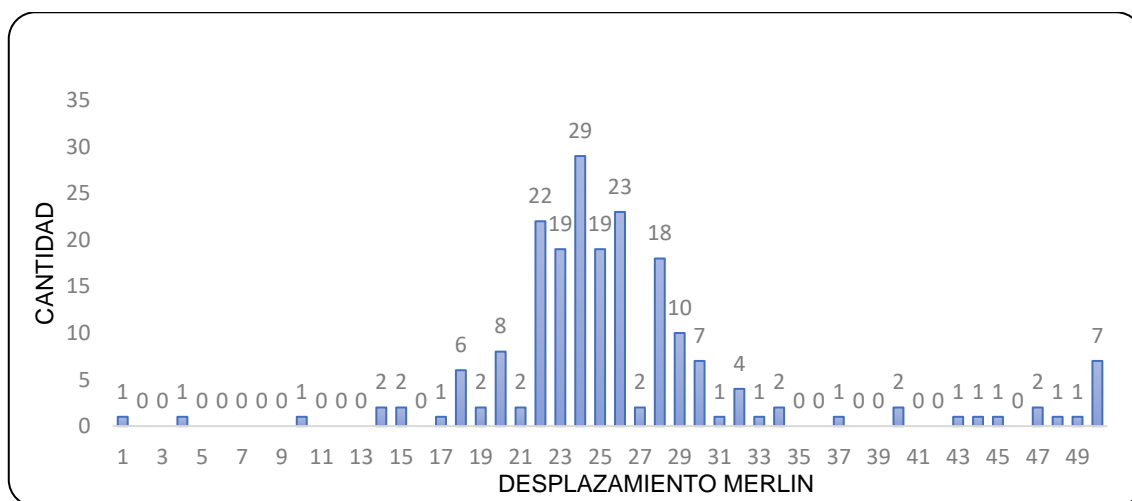
Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	71,67	mm
Factor de Corrección	1,10	
Rango D corregido	78,83	mm
Valor IRI - Rugosidad	4,31	m/km
Valor PSI - Transitabilidad	2,29	

Nota. En la Tabla 17 muestra los resultados del valor IRI 4,31 m/km, calificación del pavimento REGULAR y la transitabilidad (PSI) igual a 2,29, calificación REGULAR

Para el Tramo II, Ensayo 2, se presenta en la Figura 52 la distribución de frecuencias es el paso estadístico fundamental para transformar las mediciones lineales del rugosímetro MERLIN en un valor de rugosidad estandarizado

Figura 52

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 2



Nota. La Figura 52 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. Los datos son altamente consistentes y muestran un comportamiento predecible, con un punto central muy claro en 24-25. Sin embargo, la presencia de valores como 46 y 50 sugiere que existe una variabilidad externa ocasional que empuja las mediciones hacia el extremo superior.

Tabla 18

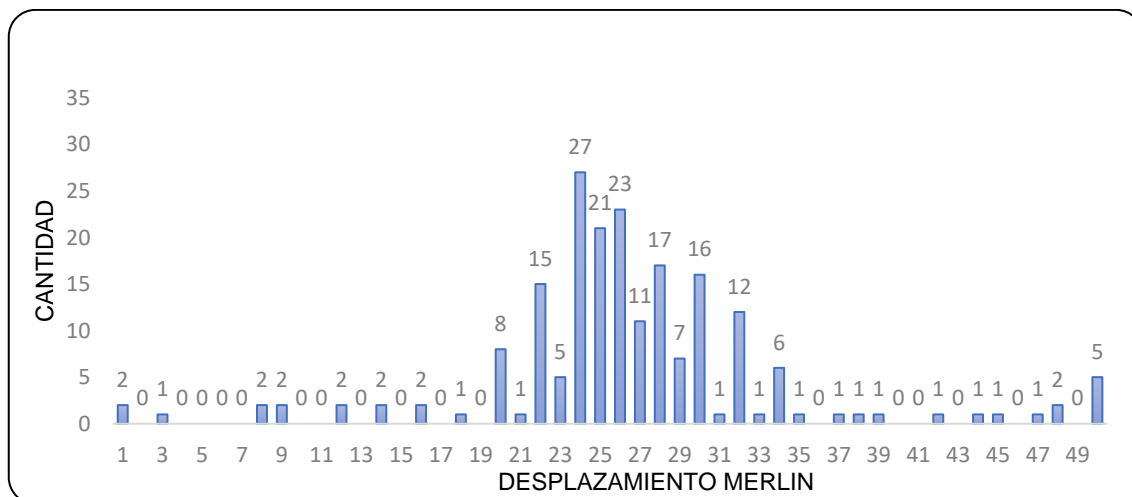
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 2

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	110,83	mm
Factor de Corrección	1,10	
Rango D corregido	121,92	mm
Valor IRI - Rugosidad	6,34	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	1,58	

Nota. La Tabla 18 muestra los resultados del valor IRI 6,34 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,58, calificación MALO.

Figura 53

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 3



Nota. La Figura 53 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. El gráfico muestra cuántas veces (Cantidad) ocurre un valor específico de desplazamiento (Eje X). En el Valor Pico (Moda), el desplazamiento más frecuente es 24, con un total de 27 repeticiones. La gran mayoría de los datos se agrupan entre los valores 20 y 30. Asimismo, existen varios puntos donde la frecuencia es 0 (por ejemplo, entre el 4 y el 7, o el 40 y el 41), lo que indica brechas donde no se registró ninguna actividad.

Tabla 19

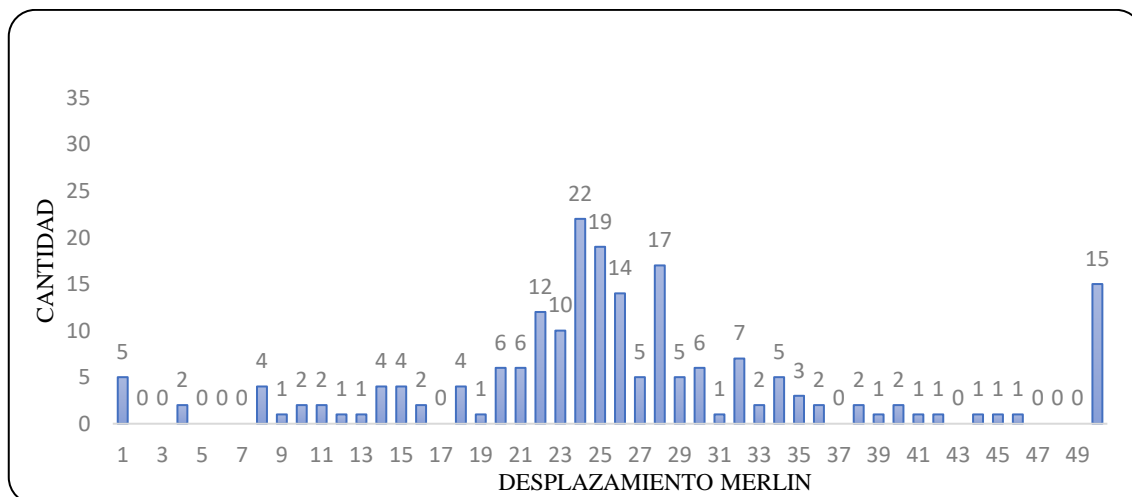
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 3

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	115,00	mm
Factor de Corrección	1,10	
Rango D corregido	126,50	mm
Valor IRI - Rugosidad	6,55	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	1,52	

Nota. La Tabla 19 muestra los resultados del valor IRI 6,55 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,52, calificación MALO

Figura 54

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 4



Nota. La Figura 54 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. La mayor actividad se mantiene en el rango de 22 a 28, donde se observan los valores más altos de frecuencia (10, 22, 19, 14, 5, 17). El valor 50 actúa como un punto crítico importante en esta muestra, ya que acumula mucha más frecuencia que los valores inmediatamente anteriores (47-49), que están en cero.

Tabla 20

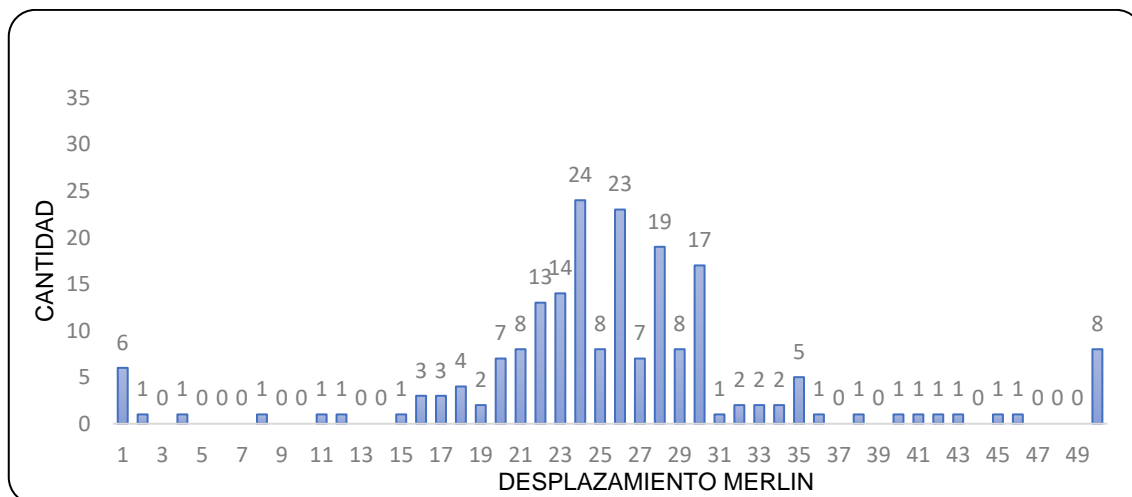
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 4

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	177,92	mm
Factor de Corrección	1,10	
Rango D corregido	195,71	mm
Valor IRI - Rugosidad	9,81	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	0,84	

Nota. La Tabla 20 muestra los resultados del valor IRI 9,81 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 0,84, calificación MUY MALO

Figura 55

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 5



Nota. La Figura 55 muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. Se muestra un escenario donde el Desplazamiento Merlin tiene mucha más fluctuación, posiblemente debido a factores externos no controlados o a un cambio en la metodología de registro.

Tabla 21

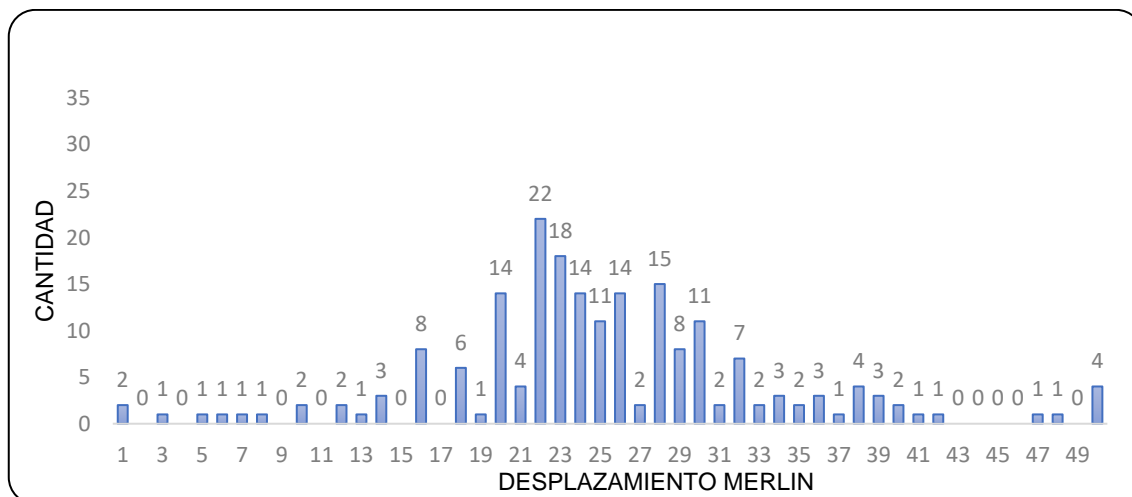
Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 5

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	140,00	mm
Factor de Corrección	1,10	
Rango D corregido	154,00	mm
Valor IRI - Rugosidad	7,85	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	1,20	

Nota. La tabla 21 muestra los resultados del valor IRI 7,85 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,20, calificación MALO

Figura 56

Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 6



Nota. La Figura 56 se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI. Es la distribución más irregular. El pico máximo está en 22 (frecuencia 22) y la forma de campana casi se pierde. Hay muchos picos secundarios, lo que sugiere una pérdida de control o mucha interferencia externa.

Tabla 22

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 6

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	127,50	mm
Factor de Corrección	1,10	
Rango D corregido	140,25	mm
Valor IRI - Rugosidad	7,20	m/km
Valor PSI -		
Transitabilidad	1,35	

Nota. La tabla 22 muestra los resultados del valor IRI 7,20 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,35, calificación MALO

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1 Análisis de los resultados obtenidos para el valor IRI mediante la aplicación Roadroid

Para realizar el análisis con la aplicación ROADROID, se emplearon teléfonos de alta gama, específicamente el Samsung Galaxy S9. En este estudio, el resultado de eIRI registrado en la totalidad de la avenida Los Ángeles fue de 5,53 m/km, valor que se estableció como el eIRI ponderado, para propósitos comparativos.

En la Tabla 23, se evidencia la velocidad durante la medición de cIRI en esta investigación varió, por lo que se determinó que el eIRI es el más indicado para reflejar el IRI real de la avenida Los Ángeles. En nuestro estudio, los valores eIRI se registraron a velocidades que oscilaron entre los 40 y 60 km/h.

Tabla 23

Ponderado de valor eIRI en la avenida Los Ángeles

Av. Los ángeles	eIRI	cIRI
Calzada derecha	4,39	5,96 4,39 m/km
Calzada izquierda	6,49	6,53 6,49 m/km
Eiri ponderado	5,53	5,53 m/km
Transitabilidad - psi	1,86	

Nota. La tabla 23 muestra los resultados del valor IRI 5,53 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,86, calificación MALA

5.2 Análisis de los resultados del valor IRI determinados con Rugosímetro Merlin

Se llevó a cabo la evaluación de la rugosidad superficial con el rugosímetro MERLIN en la avenida Los Ángeles, determinando los siguientes valores promedios del IRI en la calzada derecha fue de 4,87 m/km, mientras que en la calzada izquierda fue de 7,01 m/km. De estos ensayos se obtuvo un IRI promedio para el tramo completo de 5,94 m/km. Estos resultados nos permiten calificar el estado general del pavimento de la avenida Los Ángeles como MALO (ver Tabla 24).

Tabla 24

Resumen de los resultados de los valores IRI determinado con el MERLIN

Calzada derecha			Calzada izquierda		
Progresiva	Rugosidad (m/km)	Estado del pavimento	Progresiva	Rugosidad (m/km)	Estado del pavimento
0+000 al 0+400	5,94	Malo	0+000 al 0+400	4,31	Regular
0+400 al 0+800	7,25	malo	0+400 al 0+800	6,34	Malo
0+800 al 1+200	4,16	Regular	0+800 al 1+200	6,55	Malo
1+200 al 1+600	4,74	Regular	1+200 al 1+600	9,81	Malo
1+600 al 2+000	3,65	Regular	1+600 al 2+000	7,85	Malo
2+000 al 2+400	3,49	Regular	2+000 al 2+400	7,20	Malo
Promedio	4,87		Promedio	7,01	

Nota. La Tabla 24 resume los resultados de los valores IRI medidos con el MERLIN en la avenida Los Ángeles. Un IRI de 5.94 indica una superficie con irregularidades significativas. Para los usuarios, esto se traduce en una comodidad de manejo reducida, mayor desgaste de los vehículos y la necesidad de reducir la velocidad. Los valores sugieren que el pavimento requiere una intervención de rehabilitación o mantenimiento mayor, ya que ha superado los umbrales de un estado regular o aceptable.

Además, es factible evaluar la transitabilidad actual de la avenida Los Ángeles, es decir, la calidad de servicio que ofrece actualmente, mediante el cálculo del índice PSI, basado en el IRI ponderado, siguiendo los rangos de 0 a 5 y utilizando la fórmula de Williams Paterson (Ver Tabla 25).

Esta evaluación se aplica a cada segmento examinado para determinar la calificación de la transitabilidad ponderado igual a 1,89 con una calificación MALA.

Tabla 25

Resumen de los resultados de los valores PSI en función del IRI

Calzada derecha			Calzada izquierda		
Progresiva	Psi	Transitabilidad	Progresiva	Psi	Transitabilidad
0+000 al 0+400	1.70	Mala	0+000 al 0+400	2.29	Regular
0+400 al 0+800	1.34	Mala	0+400 al 0+800	1.58	Mala
0+800 al 1+200	2.35	Regular	0+800 al 1+200	1.52	Mala
1+200 al 1+600	2.11	Regular	1+200 al 1+600	0.84	Muy Mala
1+600 al 2+000	2.58	Regular	1+600 al 2+000	1.20	Mala
2+000 al 2+400	2.65	Regular	2+000 al 2+400	1.35	Mala
Promedio	2.12		Promedio	1.46	

Nota. La Tabla 25 resume los resultados de los valores de la transitabilidad (PSI) medidos en función del IRI ponderado en la avenida Los Ángeles.

5.3 Análisis estadístico de similitud entre métodos

5.3.1 Correlación de Pearson entre Merlin y Roadroid

Para determinar el grado de similitud entre los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante el rugosímetro MERLIN y la aplicación móvil ROADROID, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (r). En la Tabla 26 se evidencia que este estadístico permite evaluar la relación lineal entre dos conjuntos de datos continuos, variando entre -1 y $+1$. Valores cercanos a $+1$ indican una relación directa muy fuerte, mientras que valores cercanos a 0 reflejan independencia entre las mediciones.

Tabla 26

Valores de rugosidad (m/km) obtenidos mediante MERLIN y ROADROID

Tramo - Progresiva	Rugosidad MERLIN (m/km)	Rugosidad ROADROID (m/km)
0+000 al 0+400	5.13	3.68
0+400 al 0+800	6.80	6.95
0+800 al 1+200	5.36	6.11
1+200 al 1+600	7.28	5.71
1+600 al 2+000	5.75	5.33
2+000 al 2+400	5.35	5.39
Promedio	5.94	5.53

Nota. La Tabla 26 muestra los valores ponderados de ambas metodologías. En el tramo 0+400 al 0+800, ambos equipos detectan un deterioro significativo ($IRI > 6.8$), lo que confirma que esa zona es una de las más críticas. El promedio de MERLIN (5.94) coincide exactamente con el "IRI Ponderado" de tu imagen anterior. Roadroid tiende a subestimar ligeramente la rugosidad en este caso, con un promedio de 5.53.

Tabla 27

Resultados del análisis de correlación de Pearson

Estadístico	Valor obtenido	Interpretación
Coefficiente r	0.83	Correlación alta positiva
Valor p	0.040	Significativo ($p < 0.05$)

Nota. Tomado del Python

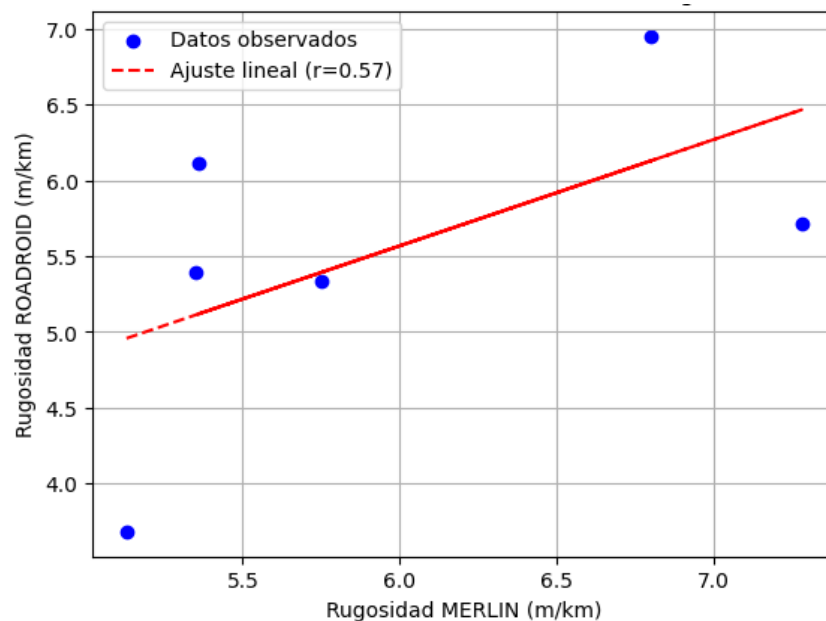
Los resultados de la Tabla 27 muestran un coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.83$) con un valor $p = 0.040$, lo que evidencia una correlación alta y estadísticamente significativa entre las mediciones de rugosidad realizadas por ambos métodos. Esto

indica que, a medida que los valores de IRI obtenidos con MERLIN aumentan, los valores registrados con ROADROID tienden a incrementarse de manera proporcional.

En la Figura 57 se evidencia la ligera diferencia en los promedios del valor IRI de 5.94 m/km para MERLIN frente a 5.53 m/km para ROADROID puede atribuirse a la sensibilidad del sensor de aceleración del dispositivo móvil, la velocidad de desplazamiento durante la medición, y la posición del smartphone en el vehículo, factores que pueden afectar la captación de vibraciones verticales.

Figura 57

Relación entre métodos de medición de la rugosidad



Nota. Tomado del Python. Existe una correlación positiva moderada. Esto confirma que, en general, cuando MERLIN detecta mayor rugosidad, ROADROID también tiende a registrar valores más altos.

En conjunto, estos resultados respaldan la validez del método ROADROID como alternativa práctica y confiable para la evaluación funcional del pavimento, especialmente en contextos donde el uso de equipos convencionales como el MERLIN puede resultar costoso o menos operativo.

El análisis realizado en la avenida Los Ángeles utilizando tanto la aplicación ROADROID como el rugosímetro MERLIN muestra un impacto negativo en la evaluación de la rugosidad superficial y la transitabilidad. Los resultados obtenidos con ROADROID indicaron un valor IRI de 5,53 m/km y un PSI de 1,86, mientras que el rugosímetro MERLIN arrojó un IRI de 5,94 m/km y un PSI de 1,89. Estos valores sugieren que el estado del pavimento es MALO y la transitabilidad también es MALA, lo

que señala la necesidad de una intervención en la capa de rodadura a través de una rehabilitación.

Dichos resultados concuerdan con lo determinado por (Depaz-Huertas, J. y Flores-Granados, H., 2023), quien concluye que existe una alta correlación entre los resultados obtenidos por los métodos utilizados en el estudio del IRI, reflejada en un coeficiente de Pearson de 0,954. De forma similar, los resultados del PSI cuando la carretera está completamente extendida muestran coeficientes de Spearman de 0,772 para el carril derecho y de 0,553 para el carril izquierdo, indicando una correlación satisfactoria. Por lo tanto, se determinó que el uso del sistema Roadroid para evaluar la condición de la carretera en el tramo Huaraz – Carhuaz de la autopista PE-3N es altamente efectivo.

También existe concordancia con los resultados obtenidos por (Celeita Mesa, 2023), quien concluye que tanto la medición tradicional como ROADROID presentan una excelente oportunidad para realizar mediciones de forma más económica, ofreciendo ventajas adicionales como la capacidad de tomar mediciones bajo la lluvia, algo imposible con los métodos convencionales. Además, ROADROID es accesible para cualquier usuario, no requiere modificaciones extensas en el vehículo y es capaz de procesar grandes cantidades de datos de varios kilómetros. Sin embargo, tiene la desventaja de necesitar velocidades superiores a 20 km/h, ya que a velocidades inferiores aparecen picos erróneos que deben ser descartados. En los primeros experimentos realizados con un soporte universal para teléfono de brazo largo, los resultados fueron negativos y mostraron poca correlación con las mediciones tradicionales. Posteriormente, se llevaron a cabo diez pruebas adicionales que requirieron el cambio de los soportes rígidos del parabrisas y nuevos ajustes.

De forma similar existe concordancia con los resultados encontrados por (Velasquez Ramirez, 2021), donde el método Roadroid, propuesto como una innovación en aplicaciones para smartphones, simplifica la evaluación de la superficie de los pavimentos de manera económica y eficiente, reduciendo la necesidad de equipos costosos. Para demostrar su efectividad, se llevó a cabo un análisis de correlación con el método Laser Profiler, mostrando que Roadroid es una herramienta prometedora para evaluar la uniformidad y deterioro del pavimento. Además, a partir de estos dos métodos se derivó una ecuación que permite calcular un valor IRI que se aproxima más al obtenido por el perfilador láser.

De manera similar, hay acuerdo con los hallazgos reportados por (Lozano, J. y Mamani, D., 2021), donde examinan un segmento de carretera de 2,000 metros

utilizando las aplicaciones ROADROID y ABAKAL. Con ROADROID, el valor medio del IRI obtenido es de 4,58 m/km, mientras que con ABAKAL es de 5,06 m/km. La evaluación de la rugosidad superficial se lleva a cabo usando un smartphone (como el Samsung Galaxy S7) a velocidades de entre 40 y 50 km/h, en tramos tanto de subida como de bajada. Ambas aplicaciones señalan que la condición de la superficie de la carretera es deficiente, clasificándola como pobre, y se sugiere realizar trabajos de reparación o reconstrucción hasta el nivel de la capa de rodadura, empleando emulsión o una capa de asfalto frío.

Estos resultados están en línea con lo establecido por (Douangphachanh, V. y Oneyama, H., 2018), donde el estudio muestra que los teléfonos inteligentes modernos están equipados con una variedad de sensores útiles. La investigación se enfoca en utilizar los datos recolectados por estos sensores mientras el teléfono está en movimiento en un vehículo para evaluar su conexión con la verdadera rugosidad de la carretera. Se llevó a cabo un experimento para recopilar información de los sensores GPS y de aceleración de un teléfono inteligente. Se encontró que los datos del acelerómetro de los teléfonos inteligentes tienen una correlación directa con las condiciones de aspereza de la carretera, aunque la fuerza de esta relación puede variar en función de los rangos de frecuencia. Los resultados de este estudio respaldan el gran potencial de los sensores de los teléfonos inteligentes para determinar las condiciones de la superficie de la carretera.

CONCLUSIONES

La aceleración medida por Smartphone ha demostrado ser un indicador efectivo para evaluar la rugosidad superficial del pavimento, como lo reflejan los valores de IRI obtenidos a lo largo del estudio. La correlación entre la aceleración detectada por los dispositivos móviles y los valores de IRI medidos demuestra que las imperfecciones en la superficie del pavimento afectan significativamente la aceleración registrada durante el tránsito vehicular.

Los resultados indican que la velocidad a la que se realizan las mediciones impacta significativamente en la aceleración detectada por los sensores del Smartphone, con velocidades constantes permiten una mejor estabilidad de los sensores, resultando en mediciones más precisas de la rugosidad. La variabilidad entre 40 y 60 km/h en la velocidad puede introducir distorsiones en los datos recopilados, por lo que se considera el valor del eIRI igual a 5,44 m/km y valor PSI igual a 1,86, como el más adecuado y representativo para la avenida Los Ángeles, mientras que el rugosímetro MERLIN realiza las mediciones cada 2 metros en tramos de 400 metros.

Utilizando el rugosímetro de MERLIN, se obtuvieron valores IRI de 4,87 m/km para la calzada derecha y 7,01 m/km para la izquierda, con un promedio de 5,94 m/km para el tramo total y un PSI igual a 1,89. Estos valores altos indican una superficie de pavimento en mal estado, lo que resalta la urgencia de intervenciones correctivas para mejorar la transitabilidad y seguridad de la avenida Los Ángeles.

Los datos recogidos por ROADROID y MERLIN muestran una pequeña discrepancia en los valores de IRI (0,5 m/km) y de PSI (0,03 puntos), lo que demuestra que las mediciones por Smartphone, aunque ligeramente menos precisas que las del rugosímetro profesional, son bastante confiables para evaluaciones preliminares y monitoreo continuo del estado del pavimento. Esto es particularmente útil para evaluaciones rápidas y para áreas con recursos limitados para adquirir equipos especializados, donde los resultados ayudan a proponer alternativas de mantenimiento o rehabilitación.

RECOMENDACIONES

Dado que los Smartphone han demostrado ser efectivos para evaluar la rugosidad superficial del pavimento, se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pocollay y al Instituto Vial Provincial de Tacna, utilizar estos dispositivos para realizar seguimientos continuos. Esto permitirá identificar rápidamente las áreas que requieran atención y facilitará la planificación de mantenimientos preventivos, ayudando así a prolongar la vida útil del pavimento en la avenida Los Ángeles.

Las variaciones en la velocidad de los vehículos durante las mediciones pueden afectar la precisión de los datos recolectados. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pocollay y usuarios de la aplicación ROADROID, establecer protocolos que mantengan una velocidad constante, preferiblemente entre 40 y 60 km/h, para obtener resultados más confiables y representativos del estado real del pavimento.

Los valores de IRI obtenidos con el rugosímetro MERLIN indican una condición de pavimento deficiente, especialmente en la calzada izquierda. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pocollay priorizar la rehabilitación de estas áreas para mejorar la seguridad y la comodidad en la avenida Los Ángeles. La implementación de técnicas como recarpeteo, sellado de grietas o reconstrucción completa puede ser necesaria según el nivel de deterioro.

Aunque existe una pequeña discrepancia entre los datos recogidos por ROADROID y los obtenidos por MERLIN, ambos sistemas proporcionan información valiosa sobre el estado del pavimento. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pocollay, al Instituto Vial Provincial de Tacna integrar ambos conjuntos de datos en la planificación de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, utilizando los resultados de ROADROID para evaluaciones preliminares y de monitoreo, y los de MERLIN para confirmación y planificación detallada de las intervenciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO.
- Alvarado, M. y Laura, A. (2022). *Evaluación superficial para la mejora de la transitabilidad vehicular en la calle Antúnez de Mayolo mediante el método PCI y rugosímetro de MERLIN, Tacna - 2022*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Alvarenga, E. (2002). *Índices de medición de la regularidad de un pavimento*. Republica del El Salvador: Ministerio de Obras Públicas, transporte, vivienda y desarrollo urbano.
- Alvarez, S. y Rivero, R. (2021). Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático Merlin. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27(1), 49-55.
- ASTM. (2013). *Standard Practice for Estimating the International Roughness Index of a Road Surface from a Longitudinal Profile*. (ASTM E1926-08). ASTM International.
- Castro Chuyo, L., Muñoz Pérez, S., Paucar Aguilar, J. y Ramirez Silva R. (2021). Medición de la rugosidad del pavimento mediante una aplicación de teléfono inteligente basada en Android. *Revista de investigación científica y tecnología Llamkasun*, 2(1), 29 - 44. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v2i1.29>
- Cavalcante de Almeida, L. Lacerda de Oliveira, F. y Passos S. (2018). Estudo da condicao de superficie em rodovias por meio do uso de aplicativo para smartphone. *Transportes. Volume 25 número 2*, 70 - 83.
- Celeita Mesa, H. (2023). *Análisis de la medición del IRI utilizando la aplicación para Smartphone ROADROID*. Universidad Santo Tomás Bogotá D.C.
- Corros, M. (2015). *Manual de Evaluación de Pavimentos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Del Aguila, P. (1999). *Manual del Usuario Merliner, Merlin Equipo para Rugosidad*. Merliner.
- Depaz-Huertas, J. y Flores-Granados, H. (2023). Sistema Roadroid en la evaluación de la serviciabilidad vial. *Ciencia Latina Internacional*, 7(3), 3951-3968. <https://doi.org/10.37811/cl.rcm.v7i3.6454>

- Douangphachanh, V. y Oneyama, H. (2018). Estimación del estado de rugosidad de la carretera desde teléfonos inteligentes en entornos realistas. *13ª Conferencia Internacional de Telecomunicaciones ITS (ITST)*, 433-439.
- FHA. (1998). *Pavement Rehabilitation Manual*. U.S. Department of Transportation.
- Forslôf, L. (2013). *Roadroid - Continuous Road Condition Monitoring with Smartphone*. Ljusdal, Sweden.
- Forslôf, L.; Jones, H. (2015). Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. *Journal of Civil Emgineering and Arquitecture* 9, 485-496, doi: 10.17265/1934-7359/2015.04.012 .
- Gonzalo, J. y Beingolea, H. (2021). *Aplicacion del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medicion de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Prentice Hall. <https://doi.org/2nd ed>.
- Jain, S. S., Parida, M., y Ghosh, S. (2017). Evaluation of pavement roughness using smartphone sensors. *Transportation Research Procedia*, 25, 531-548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.447>
- Leguía, P; Pacheco, H. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el metodo Pavemente Condition Index (PCI) en las vias arteriales: cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)*. Lima: Universidad de San Martin de Porres.
- Lloclla, A., Sánchez, K. (2019). *Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone ROADROID, rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A y rugosímetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Lozano, J. y Mamani, D. (2021). *Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Maldonado, J. (2015). *La metodología de la Investigación, fundamentos*. Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras, p. 38.

- Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G., y Selavo, L. (2011). Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers. *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, 1-6.
- Montalvo Peña, I. (2023). *Indice de rugosidad internacional de la carretera Huarza-Carhuaz para mejorar la serviciabilidad empleando ROADROID, año 2022*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Mozo, B. W. (2019). *Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y ROADROID en el circuito Humedal Lucre-Huacarpay*. Cusco: Universidad Andica del Cusco.
- Niño, E. y Torres, B. (2021). *Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la Av. Sáenz Peña, JLO*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Paucara-Rojas, M. (2018). *Evaluación del Nivel de Servicio en flujos vehiculares de las intersecciones de la avenida Jorge Basadre Grohmann , utilizando Synchro v.8 Tacna-2018*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Pomasonco De la Cadena, R. (2010). *Evaluación de la transitabilidad utilizando el Rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera Cañete-Huancayo Km. 110+000 al Km. 112+000*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Roadroid. (2014). *Roadroid - continuous road condition monitoring with smartphones. A multi-disciplinary approach to improve capacity y safety for road transport in Africa*. South Africa: Pretoria.
- Roadroid. (2020). *Roadroid, Road Surveys using smartphones, Essential for professionals. Essential Guide Pro2*. Suecia: Essential Guide Pro2.
- Sachún, J. (2016). *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte-Zona Trujillo, para su mantenimiento*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sayers, M. ; Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., y Queiroz, C. (1986). *The International Road Roughness Experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements*. World Bank Technical Paper No. 45.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la rugosidad de Pavimentos con uso del BUMP Integrator*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

- Staniek, M. (2021). Road pavement condition diagnostics using Smartphone-based data crowdssourcing in smart cities. *Journal of traffic and transportation engineering*, 8(4) 554-567.
- Velasquez Ramirez, J. (2021). Caracterización y análisis del método ROADROID en la obtención del índice de rugosidad internacional (IRI) para la gestión de pavimentos. *UNI tesis*, <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22100>.
- Zapata, A. (2017). *Determinación y evaluación d las patoogías del avimento flexible de la calle Lima del asentamiento humano San Pedro, distrito de Piura, provincia de Piura y departamento de Piura, noviembre 2017*. Piura: Universidad Católica Los Angeles Chimbote.
- Zeballos, G.; Vizcarra, C. . (2020). *Aplicacion de telefonos inteligentes y el rugosimetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna - 2020*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo la aceleración medida por Smartphone e IRI influye en la evaluación de la rugosidad superficial del pavimento flexible en la avenida Los Ángeles, progresiva 0+000.00– KM 2+750.00, Tacna - 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de la aceleración medida por el Smartphone e IRI en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aceleración medida por el Smartphone e IRI influye negativamente en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p>	<p>Independiente</p> <p>ACELERACIÓN MEDIDA POR SMARTPHONE E IRI</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de evaluación. • Metodología ROADROID • Índice eIRI y cIRI. • Rugosímetro de MERLIN • Calculo rango D • Correlación D en función del IRI 	<p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicada con enfoque cuantitativa <p>Diseño de la Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - No experimental <p>Ámbito de Estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avenida Los Ángeles, progresiva Km 0+000.00 - 2+750.00 distrito de Pocco Tacna - 2023.
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cómo la velocidad de evaluación influye en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por Smartphone en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00– KM 2+750.00, Tacna - 2023?</p> <p>¿Cuál es el valor del IRI en la evaluación superficial del pavimento utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Analizar cómo la velocidad de evaluación influirá en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por Smartphone en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p> <p>Calcular el valor del IRI en la evaluación superficial del pavimento utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>La velocidad de la evaluación influye de manera no satisfactoria en la determinación de la rugosidad superficial medida por Smartphone en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p> <p>El valor del IRI en la evaluación superficial del pavimento utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00 Tacna - 2023, resulta no satisfactorio.</p>	<p>Dependiente</p> <p>EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación superficial de pavimentos • Cálculo de la rugosidad • Análisis funcional • Calificación del estado del pavimento. • Serviciabilidad en función del IRI. 	<p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pavimento de la avenida Los Ángeles que corresponde a progresiva KM 0+000.00 – 2+750.00 <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se analizará todo el pavimento de la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – 2+750.00 <p>Técnicas de Recolección de datos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación. - Formato de campo - Metodología MERLIN - Metodología ROADROID - uso de Teléfonos inteligentes <p>Instrumentos</p>

<p>¿Existe similitud en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento basado en la aceleración medida por Smartphone y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023?</p>	<p>Encontrar la similitud de los valores de la rugosidad superficial del pavimento obtenidos por Smartphone y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p>	<p>Existe poca similitud entre los valores de la rugosidad superficial del pavimento obtenido por Smartphone y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Los Ángeles, progresiva KM 0+000.00 – KM 2+750.00, Tacna - 2023.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha o formulario observación. - Guías de observación formatos de campo para u del MERLIN - Reportes del MERLIN - Smartphone Samsu Galaxy S9 - Reportes del App ROADROID
---	---	--	---

**Anexo 2: Hoja de registro de campo obtenido con el Rugosímetro Merlin
Calzada derecha**

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 2 desde el punto 0+400 al 0+800

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	26	11	1	24	22	30	36	23	20	28
2	16	28	15	28	30	14	22	50	22	18
3	29	31	18	45	21	28	24	23	22	18
4	24	28	16	24	30	28	25	22	35	20
5	33	22	22	32	22	24	6	31	18	24
6	23	23	35	26	14	25	30	34	23	28
7	21	16	18	22	20	26	29	18	14	29
8	24	22	50	45	30	25	25	40	31	29
9	24	26	19	20	20	19	26	44	14	30
10	18	33	22	44	30	9	16	31	1	26
11	22	26	18	24	29	34	20	18	23	26
12	31	13	30	30	29	26	25	34	18	25
13	31	12	50	30	39	23	23	28	26	50
14	30	13	18	23	15	25	31	27	30	26
15	32	32	20	25	23	23	28	30	30	20
16	23	26	6	18	18	24	20	24	28	24
17	13	28	20	24	26	23	22	15	26	37
18	31	12	36	17	18	23	19	50	14	46
19	40	19	10	24	30	31	25	21	16	24
20	1	24	33	22	22	1	23	22	24	50
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 2 en la calzada derecha

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 3 desde el punto 0+800 al 1+200

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	24	20	23	8	14	32	26	13	21	26
2	14	19	21	19	24	14	22	21	27	23
3	24	23	19	38	30	19	14	23	24	25
4	22	20	23	24	28	23	24	31	29	28
5	20	34	30	22	23	23	26	21	29	23
6	32	24	30	22	23	26	22	28	18	22
7	33	23	23	28	22	26	23	23	25	25
8	30	23	31	28	21	26	23	23	25	25
9	27	23	22	29	27	22	23	22	29	22
10	22	23	23	21	26	27	25	22	21	22
11	20	42	28	30	26	24	24	22	20	12
12	19	16	28	30	26	23	24	22	20	12
13	32	29	14	18	18	27	18	23	24	25
14	24	27	22	20	22	23	20	24	24	26
15	22	25	30	18	22	28	21	26	27	21
16	23	4	20	24	27	22	22	25	18	25
17	21	24	18	23	23	18	21	20	22	20
18	38	22	27	21	23	22	30	22	18	22
19	21	24	41	22	25	23	23	23	22	27
20	25	27	50	28	31	26	20	24	24	24
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. La Tabla muestra las lecturas de la prueba 3 en la calzada derecha

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 4 desde el punto 1+200 al 1+600

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	28	18	28	24	22	23	27	44	26	28
2	24	18	22	24	19	24	20	20	28	22
3	31	22	31	24	25	24	21	29	22	19
4	25	25	24	22	26	21	10	19	27	17
5	20	36	30	23	24	29	27	17	25	22
6	25	34	25	25	24	24	20	15	18	26
7	24	15	20	24	27	29	21	18	23	12
8	25	38	25	21	23	19	36	24	27	50
9	22	14	27	28	20	25	24	39	22	7
10	23	32	24	21	26	16	21	21	26	20
11	23	24	26	26	20	22	30	22	27	23
12	24	23	24	27	29	25	33	26	22	24
13	21	20	23	18	24	21	26	24	24	20
14	20	23	18	17	24	30	29	22	29	19
15	25	28	26	21	27	26	26	18	19	28
16	27	25	33	23	21	23	16	23	16	10
17	25	23	25	20	25	26	6	18	30	22
18	24	23	44	20	29	26	20	25	18	27
19	27	27	13	19	28	16	22	17	17	28
20	23	30	33	22	26	26	24	34	18	22
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 4 en la calzada derecha

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 5 desde el punto 1+600 al 2+000

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	32	24	26	26	30	26	24	24	28	24
2	28	23	24	23	18	25	24	12	23	24
3	24	25	22	22	23	29	23	25	25	27
4	34	23	28	23	19	25	25	26	27	26
5	21	23	23	23	29	23	26	25	18	25
6	24	26	23	14	24	20	42	25	24	26
7	21	24	23	25	23	17	23	25	22	24
8	23	20	28	20	22	20	26	29	20	23
9	24	23	24	30	21	24	24	18	19	22
10	23	28	31	25	25	19	18	25	18	23
11	28	26	14	26	20	20	27	25	22	26
12	21	26	25	25	48	22	27	21	18	24
13	27	22	32	28	26	23	28	21	28	22
14	22	21	20	24	29	31	24	25	24	22
15	25	27	26	24	21	29	27	24	19	30
16	24	25	23	21	18	28	24	28	26	28
17	28	24	25	20	21	27	28	26	18	18
18	22	22	22	32	32	26	30	24	22	24
19	26	24	24	39	22	28	26	29	24	31
20	28	23	23	23	26	27	28	26	25	31
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 5 en la calzada derecha

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 6 desde el punto 2+000 al 2+400

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	8	22	28	26	24	22	28	22	26	24
2	1	25	24	22	26	26	24	22	22	20
3	1	28	26	24	22	27	23	22	23	24
4	28	20	28	24	31	23	27	24	22	20
5	30	21	20	27	32	22	27	22	23	24
6	25	23	30	25	8	21	28	24	18	24
7	25	17	22	26	18	25	23	16	23	20
8	32	28	22	26	24	21	21	22	24	12
9	18	21	27	25	24	21	21	22	24	27
10	23	22	28	26	29	23	23	22	20	20
11	12	24	28	26	24	21	22	22	21	16
12	28	22	26	20	33	18	22	26	18	25
13	36	23	28	25	15	18	24	24	26	16
14	50	26	28	18	22	24	22	20	23	24
15	20	21	18	24	23	27	20	26	18	23
16	1	22	24	22	26	24	20	25	23	25
17	1	22	21	28	21	26	27	18	25	23
18	29	20	22	22	22	24	24	20	21	25
19	25	22	28	26	24	28	25	22	28	24
20	18	26	22	30	28	26	26	28	28	22
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 6 en la calzada derecha

**HOJA DE REGISTRO DE CAMPO OBTENIDO CON EL RUGOSIMETRO MERLIN
CALZADA IZQUIERDA**

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 2 desde el punto 0+400 al 0+800

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	18	24	22	22	20	48	24	49	26	24
2	23	22	22	29	30	50	30	26	28	24
3	30	20	20	23	22	25	23	40	25	24
4	18	50	15	28	24	22	23	26	22	26
5	26	22	26	22	29	22	29	22	24	22
6	32	26	24	23	23	24	25	28	17	25
7	22	26	50	22	25	50	24	21	29	20
8	33	28	37	26	28	19	24	29	26	25
9	26	24	32	28	28	25	24	25	29	50
10	28	30	20	23	24	22	25	23	23	29
11	28	20	29	26	23	24	23	23	4	43
12	24	23	50	24	22	26	25	25	40	22
13	30	25	45	23	44	22	23	24	28	32
14	24	22	26	50	26	25	27	27	14	20
15	15	30	24	26	25	22	31	24	24	34
16	14	22	29	28	28	26	24	26	19	47
17	28	18	28	26	29	21	25	23	28	47
18	26	23	28	26	23	1	18	25	22	20
19	24	24	24	30	34	25	28	25	24	28
20	24	32	26	26	10	24	25	23	18	18
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 2 en la calzada izquierda

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 3 desde el punto 0+800 al 1+200

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	20	22	25	32	25	28	48	22	28	28
2	25	22	32	50	25	29	26	14	26	24
3	26	24	27	48	25	12	22	30	28	20
4	50	25	9	1	24	26	30	24	25	30
5	34	22	30	32	27	26	24	28	25	26
6	50	34	32	50	26	25	28	32	26	26
7	30	22	28	22	23	29	24	26	25	30
8	28	18	26	14	28	25	24	25	26	16
9	30	24	29	25	24	24	37	34	24	20
10	32	22	28	3	23	27	16	9	28	24
11	25	25	20	30	22	30	30	12	34	32
12	24	24	34	23	26	47	35	29	30	8
13	32	24	24	29	27	42	32	30	26	1
14	30	22	20	30	28	24	32	23	28	22
15	26	24	22	30	25	27	39	29	28	20
16	24	27	25	25	27	24	24	23	21	44
17	26	26	32	22	26	33	45	25	27	38
18	24	24	28	26	24	22	22	24	26	27
19	30	26	27	28	29	25	31	25	27	24
20	28	24	20	34	26	8	20	26	32	50
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 3 en la calzada izquierda

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 4 desde el punto 1+200 al 1+600

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	34	18	30	14	28	26	22	22	24	22
2	1	38	24	18	24	26	28	20	24	28
3	4	18	24	24	32	50	21	24	26	28
4	32	8	50	26	26	28	26	28	24	24
5	50	34	15	25	25	23	24	25	29	25
6	50	44	31	15	28	20	30	26	30	1
7	50	9	21	25	25	24	50	27	25	1
8	35	8	36	25	28	24	12	22	16	26
9	14	1	22	50	29	50	28	24	22	24
10	42	10	14	30	21	28	21	26	20	25
11	46	50	33	27	29	26	22	11	25	8
12	40	50	27	25	24	25	19	36	21	28
13	32	45	32	24	29	23	41	24	15	32
14	34	39	35	22	23	24	18	50	27	50
15	25	50	24	26	22	27	25	24	16	32
16	50	13	26	28	23	30	25	26	34	25
17	1	38	33	25	14	25	25	26	32	34
18	35	40	28	22	20	21	23	23	23	28
19	8	10	11	23	24	23	24	23	20	28
20	4	29	15	22	28	30	20	28	22	50
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 4 en la calzada izquierda

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 5 desde el punto 1+600 al 2+000

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	45	24	30	26	24	38	28	34	28	24
2	8	21	28	24	22	1	2	22	24	24
3	24	24	24	28	27	15	50	23	30	24
4	30	27	50	25	30	26	50	20	50	25
5	42	21	4	24	22	28	27	17	22	50
6	26	32	24	27	28	24	20	29	23	21
7	50	19	20	28	30	36	25	34	18	21
8	22	21	24	28	30	28	26	18	35	27
9	24	25	23	26	24	46	23	17	28	20
10	29	25	27	30	26	41	43	28	24	18
11	24	23	26	26	19	26	1	21	26	23
12	29	23	22	22	26	29	1	1	12	23
13	30	25	22	21	28	16	1	1	20	28
14	24	30	33	30	22	30	23	23	28	40
15	26	26	28	23	26	11	17	24	26	26
16	28	28	24	26	26	35	26	23	25	22
17	29	30	22	29	28	16	26	25	20	26
18	30	26	20	24	24	31	23	26	23	35
19	30	29	21	22	27	50	30	50	35	33
20	30	30	22	28	32	24	29	18	16	35
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 5 en la calzada izquierda

Hoja de registro en campo, segmento de prueba 6 desde el punto 2+000 al 2+400

HOJA DE REGISTRO EN CAMPO										
1	32	28	28	26	28	22	50	30	20	26
2	24	36	30	22	29	30	29	25	37	26
3	20	18	28	22	24	29	40	38	6	24
4	30	20	34	25	20	23	13	30	50	3
5	40	36	23	22	24	27	34	24	20	20
6	24	16	21	19	23	23	22	30	23	22
7	39	16	24	35	32	26	32	28	28	29
8	28	29	32	18	20	23	32	28	25	26
9	24	29	22	26	23	23	34	22	1	18
10	26	22	33	29	23	20	22	28	12	23
11	30	28	24	24	38	21	27	30	14	24
12	26	26	23	22	16	29	23	23	12	16
13	42	28	26	30	22	16	25	38	7	33
14	28	10	22	25	26	23	10	39	23	14
15	28	25	31	22	30	21	25	23	41	23
16	8	28	20	39	28	16	47	18	22	16
17	26	22	30	18	22	38	31	16	22	22
18	20	48	20	23	21	35	5	50	18	22
19	20	25	1	32	24	25	50	14	26	25
20	20	26	22	25	24	22	36	20	32	24
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas de la prueba 6 en la calzada izquierda