

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE  
Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN  
EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. LUIS FERNANDO BLAS ADUVIRI

Bach. MARICIELO NAGADY LIMACHE LAQUI

Para optar por el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

TACNA – PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

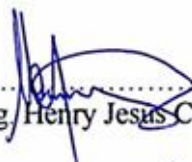
**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el día 31 de diciembre del 2025 estando integrado el Jurado Calificador por:


**PRESIDENTE**

  
: .....  
Mtro. Ing. Cesar José Avendaño Jihuallanga


**SECRETARIO**

  
: .....  
Mtro Ing. Henry Jesús Chique Calderón

**VOCAL**

  
: .....  
Dr. Ing. Víctor Yapuchura Platero

**ASESOR DE TESIS**

  
: .....  
Dr. Ing. Víctor Yapuchura Platero

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Ing. Víctor Yapuchura Platero, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 081-2025-FIAG/UNJBG del 23 de junio del 2025, de la Tesis titulada: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLÍN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025". Presentado por el Bach. Luis Fernando Blas Aduviri y Bach. Maricielo Nagady Limache Laqui, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 13%. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de Ingeniero Civil, para su publicación en el Repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención de título profesional.

Tacna, 19 de diciembre del 2025



**FIRMA ASESOR**

Nombres y apellidos: Dr. Ing. Víctor Yapuchura Platero

DNI: 00444587



**FIRMA AUTOR**

Nombres y apellidos: Luis Fernando Blas Aduviri

DNI: 71046995



**FIRMA AUTOR**

Nombres y apellidos: Maricielo Nagady Limache Laqui

DNI: 70330132

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por su respaldo incondicional en  
cada etapa de mi formación.

A mis docentes y mentores, por la guía valiosa  
que hizo posible el desarrollo de esta  
investigación.

*Luis Fernando Blas Aduviri*

A mi familia, por su apoyo constante y la  
motivación que me impulsó a seguir adelante.

A mis docentes y mentores, por el conocimiento  
y la orientación brindada a lo largo de este  
proceso.

*Maricielo Nagady Limache Laqui*

## AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su respaldo incondicional en todo momento.

A mis docentes y asesores, por la orientación y el conocimiento que contribuyeron de manera esencial a este trabajo.

*Luis Fernando Blas Aduviri*

A mi familia, por su apoyo firme y la confianza depositada en mi formación académica.  
A mis docentes y mentores, por la guía y los saberes que fueron decisivos en el desarrollo de esta investigación.

*Maricielo Nagady Limache Laqui*

## ÍNDICE GENERAL

	Página
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento .....	v
Resumen .....	xiv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción y fundamentación del Problema .....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general .....	6
1.3.2 Objetivos específicos .....	7
1.4 Justificación e importancia .....	7
1.5 Limitaciones y alcances .....	9
1.6 Hipótesis general.....	10
1.6.1 Hipótesis general .....	10
1.6.2 Hipótesis específicas.....	11
1.7 Sistema de variables, dimensiones e indicadores .....	11
1.7.1 Variable independiente .....	10

1.7.2	Variable dependiente .....	11
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>14</b>
2.1	Antecedentes del problema .....	14
2.2	Bases teóricas.....	29
2.2.1	Pavimentos .....	29
2.2.2	Clasificación del tipo de pavimento .....	30
2.2.3	Comportamiento estructural de un pavimento.....	32
2.2.4	Evaluación de la rugosidad del pavimento asfáltico .....	34
2.2.5	Rugósímetro MERLIN .....	40
2.2.6	Aplicación ABAKAL IRI en teléfono inteligentes .....	48
2.3	Definición de conceptos.....	52
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>55</b>
3.1	Tipo y diseño de investigación .....	55
3.1.1	Tipo de investigación .....	55
3.1.2	Diseño de investigación.....	55
3.1.3	Nivel de investigación .....	56
3.2	Población y muestra.....	56
3.2.1	Población .....	56
3.2.2	Muestra .....	56
3.3	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	57
3.3.1	Técnicas .....	57
3.3.2	Instrumentos .....	64

3.4	Análisis de datos .....	64
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>67</b>
4.1	Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando el equipo MERLIN .....	67
4.1.1	Lecturas y cálculo del valor IRI y PSI obtenidas del equipo MERLIN ....	67
4.1.2	Resumen de resultados del valor IRI .....	84
4.1.3	Resumen de resultados del valor PSI .....	84
4.2	Resultados de la rugosidad utilizando la aplicación ABAKAL IRI .....	84
4.2.1	Resumen de resultados del IRI obtenido con ABAKAL IRI .....	89
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>90</b>
5.1	Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con la aplicación ABAKAL IRI .....	90
5.2	Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el rugosímetro MERLIN.....	91
5.3	Análisis de la evaluación del IRI y su grado de similitud entre ABAKAL IRI y el rugosímetro MERLIN.....	92
5.4	Análisis de la transitabilidad y el tipo de intervención para la propuesta de solución.....	93
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>98</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>100</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>102</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>108</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Estructura de un pavimento flexible. ....	31
Figura 2 Estructura de un pavimento semirrígido. ....	31
Figura 3 Estructura de un pavimento rígido .....	32
Figura 4 Distribución de cargas en pavimento flexible y rígido. ....	33
Figura 5 Escala empleada por el Banco Mundial. ....	39
Figura 6 Detalles del MERLIN .....	41
Figura 7 Partes del equipo MERLIN. ....	41
Figura 8 Medición de las desviaciones en función a la cuerda AB .....	42
Figura 9 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones .....	43
Figura 10 Formato para recolección datos de campo .....	45
Figura 11 Histograma de la distribución de frecuencias .....	46
Figura 12 Aplicativo ABAKAL .....	48
Figura 13 Posición del dispositivo móvil dentro del vehículo .....	49
Figura 14 Métodos de cálculo .....	50
Figura 15 Informe IRI.kml .....	51
Figura 16 Calibración del equipo en el carril derecho y carril izquierdo .....	58
Figura 17 Inicio de la prueba carril derecho .....	59
Figura 18 Inicio de la prueba carril izquierdo .....	59

Figura 19 Evaluación carril derecho e izquierdo, tramo I .....	60
Figura 20 Evaluación de la rugosidad tramo II .....	60
Figura 21 Evaluación de la rugosidad tramo III .....	61
Figura 22 Evaluación de la rugosidad tramo IV.....	61
Figura 23 Camioneta utilizada en la determinación de la rugosidad mediante el aplicativo ABAKAL IRI. ....	62
Figura 24 Montaje del Smartphone en el parabrisas .....	62
Figura 25 Inicio de la evaluación configurando el ABAKAL IRI .....	63
Figura 26 Evaluación de datos IRI en ejecución carril derecho .....	63
Figura 27 Recopilación de datos IRI en pleno ensayo, carril izquierdo.....	64
Figura 28 Datos de campo obtenidos cada 400 m.....	65
Figura 29 Cálculo del valor IRI en tramos de 400 m .....	66
Figura 30 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 1 .....	69
Figura 31 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 2 .....	71
Figura 32 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 3 .....	73
Figura 33 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 4 .....	75

Figura 34 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 1 .....	77
Figura 35 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 2 .....	79
Figura 36 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 3 .....	81
Figura 37 Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 4 .....	83
Figura 38 Comportamiento de los valores IRI cada 100 m, carril derecho .....	86
Figura 39 Desplazamiento por carril derecho utilizando aplicativo ABAKAL .....	86
Figura 40 Comportamiento de los valores IRI cada 100 m, carril izquierdo .....	88
Figura 41 Desplazamiento por carril izquierdo utilizando aplicativo ABAKAL .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	13
Tabla 2 Índice de transitabilidad .....	36
Tabla 3 Transitabilidad mediante el IRI.....	37
Tabla 4 Valores de IRI (m/km) .....	40
Tabla 5 Resultados Informe IRI2.csv .....	51
Tabla 6 Datos de campo, tramo de ensayo I en la progresiva 0+000 – 0+400.....	68
Tabla 7 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 1 .....	69
Tabla 8 Datos de campo, tramo de ensayo I en la progresiva 0+400 – 0+800.....	70
Tabla 9 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 2.....	71
Tabla 10 Datos de campo, tramo de ensayo I en la progresiva 0+800 – 1+200.....	72
Tabla 11 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 3.....	73
Tabla 12 Datos de campo, tramo de ensayo I en la progresiva 1+200 – 1+600.....	74
Tabla 13 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo I, ensayo 4.....	75
Tabla 14 Datos de campo, tramo de ensayo II en la progresiva 0+000 – 0+400 .....	76
Tabla 15 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 1 .....	77
Tabla 16 Datos de campo, tramo de ensayo II en la progresiva 0+400 – 0+800 .....	78
Tabla 17 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 2 .....	79
Tabla 18 Datos de campo, tramo de ensayo I en la progresiva 0+800 – 1+200.....	80
Tabla 19 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 3 .....	81

Tabla 20 Datos de campo, tramo de ensayo I en la progresiva 1+200 – 1+600.....	82
Tabla 21 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo II, ensayo 4 .....	83
Tabla 22 Resumen de valores IRI y su calificación .....	84
Tabla 23 Resumen del valor PSI-transitabilidad .....	84
Tabla 24 Valores IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI carril derecho.....	85
Tabla 25 Valores IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI carril izquierdo .....	87
Tabla 26 Resumen de resultados del valor IRI obtenido ABAKAL IRI.....	89
Tabla 27 Resumen de los resultados de los valores IRI determinados con la aplicación ABAKAL IRI .....	90
Tabla 28 Resumen de los resultados de los valores IRI determinados con el equipo MERLIN.....	91
Tabla 29 Valor ponderado del IRI y grado de similitud.....	92
Tabla 30 Calificación del estado del pavimento y la transitabilidad para determinar el tipo de intervención .....	93

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la rugosidad superficial del pavimento asfáltico en la Avenida Tarapacá, ubicada en el distrito de Tacna, durante el año 2025, aplicando metodologías tradicionales y tecnológicas como el rugosímetro MERLIN y la aplicación móvil ABAKAL IRI. El tramo analizado comprende una longitud de 1,6 km, con una calzada variable de 6,60 m y carriles de 3,30 m, en condiciones de tránsito urbano. El estudio es de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, pues busca generar información técnica relevante para la toma de decisiones en la gestión de la infraestructura vial. La recolección de datos se realizó en tramos de 400 metros, sistematizados en hojas de cálculo para elaborar gráficos, tablas y cálculos del Índice de Rugosidad Internacional y del Índice de Serviciabilidad Presente. Los resultados evidenciaron que tanto el MERLIN como el ABAKAL IRI arrojaron valores promedio que califican el estado del pavimento como malo, con una transitabilidad clasificada como malo, superando los límites de confort establecidos en la normativa peruana del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La comparación entre ambos métodos reflejó una diferencia mínima, lo que confirma la confiabilidad de las aplicaciones móviles como herramientas complementarias a los equipos convencionales, ofreciendo alternativas más económicas y de fácil uso para el monitoreo vial. En conclusión, los resultados obtenidos sustentan la necesidad de plantear

intervenciones de rehabilitación o reconstrucción de la capa asfáltica, priorizando el uso de tratamientos superficiales o mezclas en frío para mejorar la accesibilidad y seguridad vial en este sector.

**Palabras Claves:** Rugosidad del pavimento, IRI, Rugosímetro MERLIN, ABAKAL IRI, Transitabilidad Vial.

## **ABSTRACT**

This research aimed to evaluate the surface roughness of the asphalt pavement on Avenida Tarapacá, located in the district of Tacna, during 2025, by applying both traditional and technological methodologies such as the MERLIN roughness meter and the ABAKAL IRI mobile application. The analyzed section covers a length of 1.6 km, with a variable carriageway width of 6.60 m and lanes of 3.30 m under urban traffic conditions. The study is applied in nature, with a quantitative approach and a non-experimental design, seeking to generate relevant technical information to support decision-making in road infrastructure management. Data collection was carried out in 400-meter segments and systematized using spreadsheets to develop graphs, tables, and calculations of the International Roughness Index (IRI) and the Present Serviceability Index (PSI). The results showed that both MERLIN and ABAKAL IRI yielded average values that classified the pavement condition as poor, with serviceability also rated as poor, exceeding the comfort limits established by Peruvian regulations of the Ministry of Transport and Communications. The comparison between both methods revealed minimal differences, confirming the reliability of mobile applications as complementary tools to conventional equipment, offering more economical and user-friendly alternatives for road monitoring. In conclusion, the findings support the need for rehabilitation or reconstruction of the asphalt layer, prioritizing the use of surface treatments or cold mix

asphalt to improve accessibility and road safety in this sector.

**Keywords:** Pavement Roughness, IRI, MERLIN Roughness Meter, ABAKAL IRI, Road Serviceability.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano y el incremento sostenido del parque automotor en la ciudad de Tacna han intensificado los problemas de movilidad y deterioro de la infraestructura vial. La transitabilidad de las avenidas principales se ha visto afectada por la presencia de pavimentos en mal estado, lo que repercute directamente en la seguridad de los usuarios, el confort del transporte y la eficiencia del flujo vehicular. En este contexto, resulta fundamental contar con herramientas de evaluación que permitan diagnosticar con precisión el estado funcional de las vías y orientar la toma de decisiones en cuanto a su conservación y mantenimiento. La presente investigación se centra en la Avenida Tarapacá, un eje de tránsito importante en el distrito de Tacna, donde se aplicaron metodologías tradicionales y tecnológicas como el rugosímetro MERLIN y la aplicación móvil ABAKAL IRI. El objetivo principal es comparar los valores del Índice de Rugosidad Internacional obtenidos mediante ambas metodologías, con el fin de validar la eficacia de los dispositivos móviles como alternativa complementaria a los equipos convencionales. Los resultados obtenidos buscan aportar evidencia científica para la formulación de propuestas técnicas que mejoren la accesibilidad y transitabilidad de la vía, contribuyendo así al desarrollo urbano sostenible y a la mejora de la calidad del transporte en la ciudad.

La investigación está comprendido en 5 capítulos,

En el primer capítulo se expone el planteamiento y la formulación del problema, junto con los objetivos generales y específicos, así como la hipótesis principal y las hipótesis complementarias, además del tratamiento de las variables.

El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, integrando los antecedentes, las bases conceptuales y la definición de términos fundamentales.

El tercer capítulo presenta el marco metodológico, donde se detallan el tipo, diseño y nivel de investigación, la población y la muestra y los métodos e instrumentos empleados para la recolección y análisis de los datos.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos a través de las mediciones realizadas con el rugosímetro MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI.

El quinto capítulo aborda la discusión de resultados, contrastando los valores específicos de IRI obtenidos con los reportados por otros autores en los antecedentes revisados.

Finalmente, se incluyen las conclusiones y recomendaciones, orientadas a proponer acciones de mejora para la infraestructura vial estudiada.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Descripción y fundamentación del Problema**

A nivel internacional, la gestión y evaluación de pavimentos se ha convertido en una prioridad debido a la relación directa entre la calidad de las vías y la seguridad vial, el confort de los usuarios y los costos de operación vehicular. En países con sistemas avanzados de transporte, se utilizan tecnologías innovadoras como sensores móviles, inteligencia artificial y aplicaciones de teléfonos inteligentes para medir parámetros como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Estudios como los de Castro Chuyo et al (2021) y Cavalcante de Almeida et al (2018) evidencian que los smartphones, al integrar acelerómetros y GPS, permiten evaluar con precisión el estado superficial de las carreteras a bajo costo y con gran cobertura, lo que representa una alternativa frente a los equipos tradicionales, usualmente costosos y poco accesibles para contextos con presupuestos limitados.

En el contexto latinoamericano y nacional, el Perú enfrenta un desafío persistente en la conservación de su infraestructura vial. Según informes del MTC (2018), gran parte de las carreteras se encuentran en estado regular o malo, lo que incrementa los riesgos de accidentes y eleva los costos de transporte. La falta de

mantenimiento preventivo ocasiona que el pavimento se deteriore de manera acelerada, obligando a intervenciones más costosas en plazos más cortos. Investigaciones nacionales como las de Manco (2020) muestran que el uso de aplicaciones móviles como ABAKAL o Roadroid permiten obtener resultados similares a equipos tradicionales como el rugosímetro de MERLIN, validando su aplicabilidad en el país y planteando la necesidad de estudios comparativos más específicos.

En el ámbito regional, la situación no es diferente. Tacna, Moquegua y Puno presentan importantes tramos de infraestructura vial con deterioro progresivo debido al alto tránsito, las condiciones climáticas y la limitada asignación presupuestal para mantenimiento. Esto afecta la transitabilidad, la competitividad económica y la integración territorial. Estudios como los de Zegarra (2021) en la carretera TA-615, han demostrado que las mediciones con smartphones generan resultados comparables con el método tradicional MERLIN, pero aún persisten dudas sobre su precisión en diferentes contextos urbanos y periurbanos de la región, donde el tráfico y las condiciones del terreno influyen directamente en las mediciones.

En el caso local, la avenida Tarapacá, ubicada en la ciudad de Tacna, representa un eje vial estratégico para la movilidad urbana y el acceso a zonas residenciales y comerciales. Actualmente, esta vía presenta fallas visibles en el pavimento flexible, que comprometen la seguridad de los conductores y generan

incomodidad durante el desplazamiento. Además, el tráfico intenso en horas punta acentúa la necesidad de una evaluación rigurosa que permita identificar los niveles de rugosidad y, en consecuencia, definir acciones de rehabilitación o conservación adecuadas. La falta de información técnica precisa sobre su condición superficial limita la capacidad de las autoridades locales para priorizar intervenciones de manera eficiente.

Ante esta problemática, surge la necesidad de comparar metodologías de evaluación que sean a la vez accesibles, confiables y adaptadas al contexto local. El rugosímetro de MERLIN ha sido tradicionalmente reconocido por organismos internacionales como el Banco Mundial, pero requiere tiempo, personal capacitado y recursos adicionales para su aplicación. En contraste, el uso de teléfonos inteligentes con aplicaciones como ABAKAL representa una alternativa más rápida, económica y adaptable, aunque su fiabilidad aún debe contrastarse en escenarios concretos como el de la avenida Tarapacá. Este contraste entre métodos permite no solo validar tecnologías emergentes, sino también optimizar los recursos de gestión vial en Tacna.

## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo el análisis comparativo del IRI entre el teléfono inteligente y el rugosímetro

de MERLIN, permitirá dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?

### **1.2.2 Problemas específicos**

a) ¿Cuál es el valor del análisis del IRI obtenido con el aplicativo del teléfono inteligente ABAKAL en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?

b) ¿Cuál es el valor del análisis del IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?

c) ¿Existe alguna similitud entre los valores determinados mediante el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL y rugosímetro de MERLIN en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar el análisis comparativo del IRI entre el teléfono inteligente y el rugosímetro de MERLIN para dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- a) Determinar el IRI obtenido con el aplicativo de teléfono inteligente ABAKAL en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.
- b) Determinar el IRI obtenido por el rugosímetro de Merlín en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.
- c) Comparar los valores determinados del análisis mediante el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.

#### **1.4 Justificación e importancia**

La evaluación de la rugosidad del pavimento es una necesidad urgente en contextos urbanos como Tacna, donde la movilidad vehicular depende de vías en buen estado para garantizar seguridad, confort y eficiencia en el transporte. La aplicación de tecnologías accesibles, como los smartphones, frente a métodos tradicionales como el rugosímetro de MERLIN, no solo representa una comparación metodológica, sino también una oportunidad de optimizar recursos y mejorar la toma de decisiones en la gestión de infraestructura vial. Justificar esta investigación implica reconocer los impactos que puede tener desde las dimensiones social, económica y ambiental, respondiendo a los retos actuales del desarrollo sostenible.

### ***1.4.1 Justificación social***

Desde el punto de vista social, contar con una herramienta confiable para evaluar la rugosidad del pavimento permite mejorar la transitabilidad y reducir riesgos de accidentes ocasionados por fallas superficiales en la vía. Una adecuada medición del IRI contribuye directamente a la seguridad vial, incrementa la comodidad de los usuarios y disminuye el estrés de los conductores al transitar por superficies más regulares. Además, al aplicar tecnologías accesibles como los teléfonos inteligentes, se democratiza el acceso a la información técnica, facilitando la participación de autoridades locales, instituciones académicas y la comunidad en la supervisión del estado de las vías.

### ***1.4.2 Justificación económica***

La investigación tiene un fuerte sustento económico, pues la detección temprana de irregularidades en el pavimento permite planificar intervenciones de conservación más baratas y menos invasivas, evitando reconstrucciones costosas en el futuro. Comparar el uso del MERLIN con un aplicativo móvil como ABAKAL abre la posibilidad de reducir significativamente los costos de evaluación, dado que los equipos tradicionales requieren inversión en adquisición, operación y personal especializado. En cambio, los smartphones representan una alternativa práctica y escalable para gobiernos locales con presupuestos limitados. A largo plazo, esta

optimización del mantenimiento se traduce en ahorro de recursos y en una mejora en la competitividad del transporte urbano.

### ***1.4.3 Justificación ambiental***

En lo ambiental, mejorar la calidad del pavimento mediante un control más eficiente de la rugosidad contribuye a disminuir el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes, ya que los vehículos circulan con mayor regularidad y sin necesidad de constantes frenados o aceleraciones. Una vía en mejor estado también reduce el desgaste prematuro de neumáticos y repuestos, lo cual disminuye la generación de residuos sólidos asociados al transporte. De esta manera, la investigación no solo se centra en un aspecto técnico, sino que se alinea con los objetivos globales de sostenibilidad, al aportar datos útiles para planificar carreteras más resilientes y amigables con el medio ambiente.

## **1.5 Limitaciones y alcances**

### ***1.5.1 Limitaciones***

El estudio se limita a un tramo específico de la Avenida Tarapacá, intersección Av. Von Humboldt con Av. Gustavo Pinto, sin extrapolarse a toda la ciudad.

Los resultados dependen de las condiciones climáticas y de tránsito durante

la toma de datos.

La precisión de la aplicación ABAKAL IRI está condicionada al modelo de teléfono inteligente y a la sensibilidad de sus sensores.

### **1.5.2 Alcances**

Evaluación de la rugosidad superficial del pavimento en la Avenida Tarapacá mediante el rugosímetro MERLIN y la aplicación ABAKAL IRI.

Obtención de valores comparativos de IRI y PSI para diagnosticar la transitabilidad y proponer alternativas de intervención.

Generación de información técnica que puede servir como referencia en estudios y proyectos viales similares.

## **1.6 Hipótesis general**

### **1.6.1 Hipótesis general**

La influencia del análisis comparativo del Índice de Rugosidad Internacional en el pavimento asfáltico entre teléfono inteligente y el rugosímetro de MERLIN, permitirá notablemente dar solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.

## **1.6.2 Hipótesis específicas**

- a) La determinación del valor del análisis del IRI del pavimento asfáltico utilizando el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL, ayudará dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá en el distrito de Tacna – 2025.
  
- b) La determinación del valor del análisis del IRI del pavimento asfáltico utilizando el rugosímetro de MERLÍN, ayudará dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.
  
- c) La comparación de los valores obtenidos en el análisis IRI determinados mediante el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, logrará satisfacer los requerimientos para dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.

## **1.7 Sistema de variables, dimensiones e indicadores**

### ***1.7.1 Variable Independiente***

#### **Aplicación de teléfono inteligente y rugosímetro MERLIN**

- Definición conceptual:

Herramientas tecnológicas utilizadas para medir la rugosidad del pavimento y evaluar su condición superficial funcional.

- Definición operacional:

Medición de la rugosidad del pavimento mediante smartphone con aplicativo ABAKAL y rugosímetro MERLIN en campo.

Indicadores

- Valor del IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL
- Valor del IRI obtenido con el rugosímetro MERLIN
- Diferencia porcentual entre los resultados de ambos métodos
- Correlación entre ABAKAL y MERLIN.

### ***1.7.2 Variable dependiente***

#### **Índice de rugosidad internacional**

- Definición conceptual:

Parámetro técnico que mide la regularidad superficial del pavimento en función de la comodidad y seguridad del usuario.

- Definición operacional:

Índice de rugosidad internacional, cuyo rango de calificación es de 0 a 12.

Indicadores

- Valor promedio del IRI (m/km)
- Clasificación del IRI según rangos MTC (bueno, regular, malo).
- PSI en relación del IRI

- Calificación de la transitabilidad

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
Aplicación de teléfono inteligente y rugosímetro MERLIN	Herramientas tecnológicas utilizadas para medir la rugosidad del pavimento y evaluar su condición superficial funcional.	Medición con aplicativo ABAKAL	Valor del IRI con ABAKAL.
		Medición con rugosímetro MERLIN Comparación de resultados entre métodos	Valor del IRI con MERLIN Diferencia porcentual entre ABAKAL y MERLIN
Índice de Rugosidad Internacional	Parámetro técnico que mide la regularidad superficial del pavimento en función de la comodidad y seguridad del usuario	Condición funcional del pavimento Nivel de transitabilidad	Valor promedio del IRI (m/km) PSI en relación del IRI.
		Clasificación del estado de la vía	Clasificación del IRI según rangos MTC (bueno, regular, malo). Calificación de la transitabilidad

Nota. En la tabla se muestra las dos variables con sus respectivas dimensiones y sus indicadores

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

##### **a) Artículo Científico**

El artículo titulado "Caracterización y análisis del método ROADROID en la obtención del índice de rugosidad internacional (IRI) para la gestión de pavimentos", publicado en Scielo resalta las ventajas de una alternativa novedosa para la evaluación de superficies de pavimento mediante el uso del método Roadroid. Este sistema, diseñado como aplicación para teléfonos inteligentes, ofrece una opción práctica y económica que reduce la dependencia de equipos especializados. El estudio también establece una comparación con el método de referencia Clase 1 Laser Profiler, evidenciando que Roadroid puede constituirse como una herramienta confiable para estimar la regularidad y el deterioro del pavimento. A partir de esta correlación entre ambos métodos, se propone una ecuación que permite obtener valores de IRI más próximos a los registrados con el perfilador láser (Velasquez, 2021).

El artículo científico "Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) basado en la metodología del rugosímetro

MERLIN", artículo difundido en Scielo resalta la relevancia de determinar el valor del IRI como indicador fundamental para evaluar el estado funcional de la superficie vial. Las pruebas efectuadas con el método MERLIN determinaron resultados favorables, demostrando su capacidad para optimizar recursos al disminuir los costos operativos y acortar los tiempos de procesamiento de la información (Alvarez, S. y Rivero, R., 2021).

El artículo científico titulado "Sistema Roadroid en la evaluación de la serviciabilidad vial" el estudio tuvo como propósito aplicar los métodos Roadroid y Level and View, ambos reconocidos en la evaluación de pavimentos, para calcular el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Idoneidad (PSI), a fin de analizar la correlación entre los resultados obtenidos. Los hallazgos evidenciaron una alta relación en los valores del IRI, con un coeficiente de Pearson de 0.954. Asimismo, los coeficientes de Spearman para el PSI en los carriles derecho e izquierdo alcanzaron valores de 0.772 y 0.553, lo que refleja una correlación significativa. En conclusión, se determinó que el sistema Roadroid constituye una herramienta eficaz para evaluar la condición vial en el tramo Huaraz – Carhuaz de la autopista PE-3N (Depaz Huertas, J. y Flores Granados, H., 2023).

El artículo científico titulado “Tecnologías empleadas en la evaluación de pavimentos e impacto generado” el estudio resalta la relevancia de los pavimentos

en el desarrollo de un país, al ser estructuras diseñadas para resistir el tránsito vehicular sin presentar deterioros prematuros. Para evaluar su condición se aplican distintos métodos, donde el análisis de fallas y del desempeño resulta clave para recomendar acciones de mantenimiento oportunas. La combinación de enfoques tradicionales con tecnologías modernas, como el IRI, el PCI y el SDI, permite establecer estrategias más económicas y eficientes para comprender el comportamiento de los pavimentos. Estos procedimientos, caracterizados por su simplicidad, seguridad y bajo costo, facilitan la ejecución de mantenimientos preventivos o rehabilitaciones integrales, optimizando recursos y evitando daños mayores en la infraestructura vial (Castro Chuyo, L., Muñoz Pérez, S. , Paucar Aguilar, J. y Ramirez Silva R., 2021).

El artículo científico titulado “Medición de la rugosidad del pavimento mediante una aplicación de teléfono inteligente basado en Android” el estudio resalta que los smartphones modernos integran múltiples sensores con aplicaciones útiles en la ingeniería vial. La investigación analiza cómo los datos obtenidos por estos dispositivos, instalados en vehículos en movimiento, pueden vincularse con la rugosidad de la superficie de la carretera. Para ello, se realizaron experimentos empleando información proveniente del GPS y del acelerómetro de un teléfono móvil. Los resultados evidenciaron que las mediciones del acelerómetro guardan una relación lineal con la rugosidad del pavimento, aunque dicha correlación varía

en función de la frecuencia registrada. En conjunto, los hallazgos confirman el alto potencial de los sensores de los smartphones como herramienta para evaluar el estado de las vías (Douangphachanh, V. y Oneyama, H., 2018)

El artículo científico titulado "Estudo da condição de superfície em rodovias por meio do uso de aplicativo para Smartphone" donde la investigación evalúa las condiciones superficiales de carreteras pavimentadas y no pavimentadas con asfalto mediante el uso de la aplicación Roadroid en teléfonos inteligentes. Entre los aspectos analizados se consideraron la textura y el nivel de deterioro de la vía. Los resultados obtenidos con la aplicación mostraron ser consistentes con los reportados por las agencias viales, evidenciándose que los tramos con mayor coeficiente de variación concentraban un número significativo de fallas, como baches y reparaciones parcheadas. Este enfoque demuestra que, a través de un smartphone, es posible obtener información confiable para respaldar decisiones adecuadas en la gestión del pavimento (Cavalcante de Almeida, L. Lacerda de Oliveira, F. y Passos S., 2018).

El artículo científico titulado "Evaluation of pavement irregularities using a mobile application" analizó la condición superficial de la carretera TA-642 en Tacna, Perú, empleando la aplicación TotalPave en teléfonos inteligentes para medir la rugosidad y la transitabilidad del pavimento. Bajo un enfoque descriptivo-

exploratorio y cuantitativo, se recopilaron datos cada 400 m a lo largo de 12,8 km, a 80 km/h, mediante sensores y GPS del dispositivo. Los resultados reportaron un IRI de 3,78 m/km y un índice de transitabilidad de 2,58, ambos calificados como “Regular”. El estudio demuestra que TotalPave es una alternativa eficiente, económica y confiable frente a métodos tradicionales Paucara-Rojas et al (2024).

#### **b) Tesis**

Según, (Celeita Mesa, 2023), “Análisis de la medición del IRI utilizando la aplicación para Smartphone ROADROID”. El estudio tiene como propósito comparar los métodos tradicionales de medición con la aplicación ROADROID, la cual presenta ventajas notables como su bajo costo, la posibilidad de realizar lecturas incluso en condiciones de lluvia y la facilidad de uso sin necesidad de modificar el vehículo. A ello se suma su capacidad para cubrir varios kilómetros de carretera en una sola evaluación. No obstante, la herramienta también presenta limitaciones: requiere velocidades superiores a 20 km/h, ya que a ritmos más bajos tiende a generar picos erróneos. En las pruebas iniciales, el uso de un soporte de brazo largo para el teléfono móvil produjo resultados imprecisos, lo que motivó la adopción de soportes rígidos en el parabrisas para mejorar la confiabilidad de los registros.

Según, (Montalvo Peña, 2023), “Índice de rugosidad internacional de la

carretera Huaraz – Carhuaz para mejorar la serviciabilidad empleando ROADROID, año 2022”. El estudio tuvo como finalidad determinar el índice de rugosidad en la carretera PE-3N, tramo Huaraz–Carhuaz, mediante la aplicación de los métodos de nivel de burbuja y avistamiento, complementados con la herramienta Roadroid instalada en un smartphone, con el propósito de evaluar y optimizar la usabilidad de la vía. Bajo un diseño transversal no experimental, se seleccionó un tramo de 31 km, en el cual se recopilaron valores de IRI. Con Roadroid se obtuvo un promedio de 3.34 m/km para el carril derecho y 3.37 m/km para el izquierdo, mientras que con los métodos de Nivel y Mira el resultado fue de 6.87 m/km. Las correlaciones alcanzadas, de Pearson (0.954) y Spearman (0.929), evidencian una fuerte relación entre ambos enfoques de medición.

Según, (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”. Los resultados obtenidos con el rugosímetro MERLIN indican que la rugosidad alcanzó 6.801 m/km en el carril de subida y 4.376 m/km en el de bajada, con un IRI ponderado de 5.5888 m/km, lo que ubica al pavimento en la categoría de “Muy Malo”. Por su parte, la evaluación mediante el método PCI arrojó valores de 46.10% en el carril de subida y 55.36% en el de bajada, obteniéndose un promedio de 50.73%, que corresponde a un estado “Malo”. Asimismo, el índice PSI registrado fue de 1.81, clasificando la

transitabilidad como “Mala”. Ante este panorama, se recomienda ejecutar una intervención de rehabilitación con refuerzo estructural para mejorar las condiciones de la calle Antúnez de Mayolo.

Según, (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”. El propósito de esta investigación es evaluar la rugosidad de la avenida Antúnez de Mayolo, situada en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa (Tacna), mediante el uso de teléfonos inteligentes, con el fin de identificar alternativas que mejoren la transitabilidad. Se trata de un estudio aplicativo con enfoque cuantitativo, orientado a resolver un problema práctico y aportar conocimiento en el ámbito de la evaluación vial. La longitud considerada fue de 2,000 metros y se emplearon las aplicaciones ROADROID y ABAKAL. Los resultados muestran un valor promedio del IRI de 4.58 m/km con ROADROID y de 5.06 m/km con ABAKAL. Las mediciones se realizaron en un smartphone (Samsung Galaxy S7) a velocidades entre 40 y 50 km/h, abarcando tramos en subida y bajada. Ambas aplicaciones coinciden en calificar el estado de la superficie como malo, lo que conlleva a recomendar intervenciones de reparación o reconstrucción de la capa de rodadura, preferentemente mediante emulsiones asfálticas o capas de asfalto frío.

Según, (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”. La investigación tiene como objetivo aplicar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para evaluar superficies de pavimentos flexibles y, a partir de ello, proponer recomendaciones de mantenimiento o reparación que reduzcan las afectaciones al tránsito vehicular. Los resultados del método PCI permitieron identificar ocho tipos de fallas, siendo la más recurrente la pérdida de agregado, que representa el 34.00% y presenta una severidad baja. El valor global de PCI calculado fue de 39.39%, lo que clasifica el pavimento en estado “malo”. De manera complementaria, las mediciones realizadas con el rugosímetro MERLIN determinaron una rugosidad promedio de 5.46 m/km, también catalogada como “mala”. De esta forma, ambos métodos coinciden en diagnosticar la deficiente condición del pavimento, respaldando la necesidad de intervenciones correctivas

Según, (Staniek, 2021), “Road pavement condition diagnostics using Smartphone-based data crowdsourcing in smart cities”. Presentado por Marcin Staniek, 2021. Esta investigación tiene como finalidad utilizar datos generados por teléfonos inteligentes integrados en los sistemas de tráfico para analizar el estado superficial de las carreteras. Las herramientas desarrolladas por los autores permiten identificar y evaluar defectos viales a partir del estudio de la dinámica de

los vehículos en circulación. Los usuarios del sistema de transporte que disponen de smartphones pueden registrar información como aceleración lineal, velocidad y posición, la cual se envía a los servidores de datos RCT para su procesamiento y análisis. Este enfoque posibilita un monitoreo continuo y a gran escala de la infraestructura vial, ofreciendo evaluaciones actualizadas y funcionales del estado de las carreteras para una amplia base de usuarios.

Según, (Gonzalo, J. y Beingolea, H., 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 estudio tuvo como propósito determinar la rugosidad del pavimento flexible empleando la aplicación ABAKAL en un teléfono inteligente y el rugosímetro MERLIN. Con este último, se obtuvo un Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de 4.07 m/km en la vía derecha y 5.14 m/km en la izquierda, lo que arrojó un valor ponderado de 4.60 m/km, clasificado como “malo”. Por su parte, las mediciones realizadas con un dispositivo Samsung Galaxy Note 10 y la aplicación ABAKAL reportaron un IRI de 4.38 m/km en la vía derecha y 4.49 m/km en la izquierda, con un promedio de 4.44 m/km. La cercanía entre ambos resultados confirma la confiabilidad de los valores obtenidos mediante la aplicación y valida su uso frente al método tradicional del rugosímetro MERLIN.

Según, (Zeballos, G.; Vizcarra, C. , 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”. El estudio tiene como finalidad evaluar la rugosidad de pavimentos flexibles en la carretera TA-615, tramo Puente El Peligro – Emp. PE-40, utilizando la aplicación ROADROID en un teléfono inteligente y el rugosímetro MERLIN. Se desarrolló un análisis comparativo entre métodos tradicionales e innovadores bajo un diseño descriptivo. Los resultados obtenidos muestran que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) alcanzó 3.73 m/km en el carril derecho y 3.53 m/km en el izquierdo, con un valor ponderado de 3.63 m/km. Estas mediciones resultan coherentes con la condición funcional del pavimento en los aproximadamente 3 km del tramo evaluado.

Según (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”, En esta investigación se evaluó el pavimento flexible a lo largo de un tramo de 8.27 km, obteniéndose un valor de PCI de 22.87%, lo que sitúa su condición en la categoría de “muy pobre” según este método. De manera complementaria, se aplicó la aplicación para teléfonos inteligentes ROADROID con el fin de calcular la rugosidad y determinar los valores de IRI, indicadores claves de la idoneidad de la vía. Los resultados del PSI fueron de 2.814 en el sentido de ida y 2.813 en el de

retorno, clasificando la serviciabilidad como regular. Con base en estos hallazgos, se recomienda ejecutar trabajos de reparación en la capa de rodadura, particularmente mediante la aplicación de mezcla asfáltica en caliente.

Según (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”, se realizó una comparación de los resultados de rugosidad superficial en la avenida La Cultura empleando distintos dispositivos e instrumentos: el rugosímetro MERLIN, el rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A y la aplicación para teléfonos inteligentes ROADROID. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con nivel descriptivo, apoyado en un método hipotético-deductivo y un diseño no experimental. Los valores de IRI obtenidos para los carriles de bajada fueron de 7.31 m/km con MERLIN, 6.75 m/km con Bump Integrator y 6.79 m/km con ROADROID, resultando en un valor ponderado de 6.95 m/km. En los carriles de subida, los valores fueron 3.88 m/km, 3.98 m/km y 3.04 m/km, respectivamente, con un ponderado de 3.63 m/km. En ambos casos, la condición funcional del pavimento se clasificó como mala. Asimismo, se determinó que la diferencia entre los resultados obtenidos por los tres métodos fue de apenas 18.92%, lo que evidencia la cercanía y confiabilidad de la aplicación ROADROID respecto a los

equipos tradicionales.

Según Limay Romero (2021), “Análisis del índice de rugosidad internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de MERLIN”, el estudio tuvo como finalidad verificar las condiciones de transitabilidad, servicio y confort de la vía, buscando obtener resultados que, tras su correlación y comparación, permitieran asignar una calificación objetiva al estado del pavimento. La investigación inició con una inspección visual in situ, complementada con mediciones de tráfico y levantamientos topográficos en ambas vías. Posteriormente, se utilizó el equipo MERLIN para registrar las irregularidades cada dos metros (equivalente a una revolución de la rueda) a lo largo de un tramo de 400 m. Los datos obtenidos fueron procesados y empleados como referencia metodológica para apoyar futuras investigaciones, así como el diseño y construcción de pavimentos asfálticos orientados a corregir defectos constructivos. En cuanto a los resultados, se determinaron valores de rugosidad en unidades IRI de 1.07 m/km para el camino de ida (Cajamarca – Baños del Inca) y de 1.10 m/km para el retorno (Baños del Inca – Cajamarca). Estos hallazgos confirman que el rugosímetro MERLIN no solo constituye una herramienta práctica y de bajo costo, sino también una fuente confiable y eficiente de datos.

Según Chambilla-Velasquez, E. y Ramos-Deza, Y. (2021), “Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de MERLIN y el aplicativo IRI-Calc\_Free en la avenida Simón Bolívar, Puno”, el propósito de este estudio fue evaluar el pavimento flexible de la avenida Simón Bolívar, en la ciudad de Puno, mediante el uso del rugosímetro MERLIN y la aplicación IRI-Calc-Free. La investigación se enmarcó en un enfoque aplicado, con diseño no experimental y nivel cuantitativo. El tramo evaluado comprende 3.20 km de longitud, con carriles izquierdo y derecho. Para el método MERLIN se analizaron 32 unidades de muestra de 400 m cada una, mientras que con la aplicación IRI-Calc-Free se cubrieron 6.4 km en total. Los resultados obtenidos con MERLIN registraron un IRI de 3.28 en el carril izquierdo y un promedio de 3.51 en el derecho, ambos clasificados como normales. En cambio, los valores de IRI con IRI-Calc-Free fueron de 3.85 en el carril izquierdo (regular) y de 4.21 en el derecho (malo). A pesar de las diferencias en la clasificación, los resultados entre ambos métodos son cercanos, lo que valida la utilidad de la aplicación como herramienta complementaria al rugosímetro tradicional.

Según Manco (2020), “Análisis de la variabilidad del índice de rugosidad internacional (IRI) de la carretera Baños del Inca-Llacanora, utilizando el equipo MERLIN y la aplicación ROADROID en un Smartphone”, el objetivo de este estudio fue analizar las diferencias entre los resultados obtenidos con la aplicación

Roadroid y el rugosímetro MERLIN en la medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en la carretera Baños del Inca – Llacanora, dividiendo el tramo en muestras representativas de 400 m. Para el carril derecho se registraron valores de  $IRI_p = 1.94$  m/km,  $eIRI = 2.40$  m/km y  $PSI = 3.51$ , mientras que en el carril izquierdo se obtuvieron  $IRI_p = 2.34$  m/km,  $eIRI = 2.73$  m/km y  $PSI = 3.26$ , clasificando la transitabilidad de ambos carriles como buena. Al comparar los resultados de ambos métodos, se evidenció una variabilidad entre 0.00% y 156.95%, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0.2276 en el carril derecho y 0.4044 en el izquierdo, lo que refleja una correlación positiva pero baja.

Según Reyes (2020) “Determinación del índice de rugosidad internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN”, El estudio analizó las similitudes en las mediciones del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en la avenida La Prensa, ubicada en el estado de Jipijapa. Para ello se empleó el rugosímetro MERLIN, dos aplicaciones móviles y el software de análisis vial ProVAL. Todos estos instrumentos permiten evaluar la regularidad superficial del pavimento; sin embargo, tanto ProVAL como la aplicación TotalPave IRI representan herramientas innovadoras y útiles en el mercado para calcular el IRI, mientras que el MERLIN, recomendado por el Banco Mundial, es reconocido en la región por su precisión y confiabilidad en este tipo de ensayos. Las pruebas se realizaron en el tramo comprendido entre la abscisa 0+000 y la

0+945, utilizando MERLIN, TotalPave IRI y una calculadora IRI, complementadas con el análisis en ProVAL basado en datos previamente levantados. Los resultados mostraron que la rugosidad superficial de la vía varía en un rango de 2 m/km, clasificándola como pavimento nuevo. Asimismo, la correlación entre el IRI y el PSI arrojó un valor de idoneidad de 3.31, lo que califica la transitabilidad como buena.

Según Pomasonco de la Cadena (2010), “Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera cañete-Huancayo Km.110+000 al Km. 112+000”, estudia la determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y sus resultados para calificar el estado funcional de una vía en términos de transitabilidad. La investigación plantea como interrogante central evaluar la transitabilidad representativa y proponer mejoras orientadas a incrementar el confort de los usuarios. En este sentido, se recomienda emplear los valores de rugosidad como indicadores clave tanto para optimizar el confort como para fortalecer la capacidad de servicio de la vía. Finalmente, los resultados obtenidos mediante el rugosímetro MERLIN permiten identificar el tipo de intervención necesaria y seleccionar los métodos de evaluación más adecuados, garantizando que los resultados se ajusten a las condiciones y particularidades de las carreteras nacionales.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Pavimentos**

Una estructura de pavimento es un sistema formado por capas de materiales con espesores y características mecánicas definidas con precisión. Cuyos espesores y características mecánicas se han definido y dimensionado de forma que las cargas se transmitan a la subrasante y disminuyan las cargas aplicadas por el tráfico. Asimismo, la construcción también debe ser resistente a los factores medioambientales de la zona (Caro, F. y Peña, G., 2012).

La estructura del pavimento se define por su construcción horizontal en capas, que se compone de capas de materiales bien elegidos y compactados. Estas capas, que se superponen al suelo de cimentación de la carretera, están diseñadas para soportar eficazmente las tensiones causadas por el tráfico continuo durante la vida útil especificada de la estructura del pavimento.

Las siguientes capas componen la estructura del pavimento, según el estudio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). En primer lugar, está la capa de rodadura, que se construye sobre la infraestructura de la carretera y tiene el propósito principal de soportar directamente la carga producida por el tráfico. Puede estar hecha de diversos materiales, como hormigón para pavimentos rígidos, asfalto para pavimentos flexibles o adoquines para pavimentos semirrígidos; en segundo lugar, la función principal de la base es resistir, distribuir y transmitir las cargas

causadas por los vehículos en movimiento. Está situada debajo de la capa de rodadura. Puede estabilizarse con asfalto, cemento o cal, o puede estar hecha de material granular con gran capacidad de drenaje ( $\text{CBR} > 80\%$ ); y, por último, la subbase es una capa de material graduado con un grosor predeterminado que soporta la base y la capa de rodadura. También actúa como capa de drenaje, controla la capilaridad del agua y puede estabilizarse con asfalto, cemento o cal. La subbase también puede estar compuesta de material granular ( $\text{CBR} > 40\%$ ).

### **2.2.2 Clasificación del tipo de pavimento**

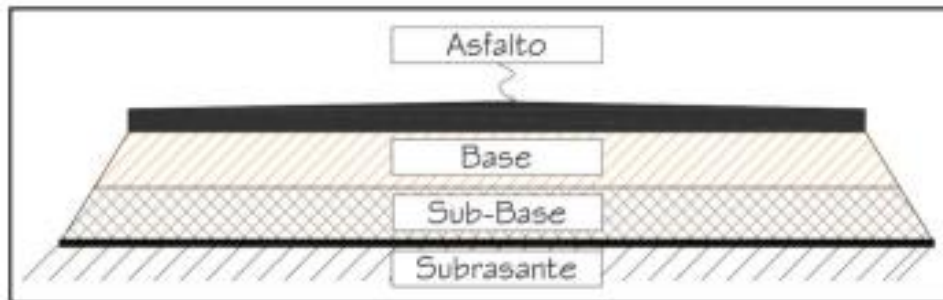
En el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se tienen en cuenta los siguientes tipos de pavimento:

#### **a) Pavimentos Flexibles**

Se denomina pavimento a una estructura propensa a la flexión o deformación como reacción a las cargas producidas por el paso de vehículos sobre ella. Esta estructura se compone de una capa de rodadura hecha de materiales bituminosos como áridos, ligantes y aditivos, así como de muchas capas granulares como la base y la subbase. Según las recomendaciones del MTC (2018), este tipo de pavimento suele utilizarse en lugares con un gran volumen de tráfico.

### Figura 1

*Estructura de un pavimento flexible*



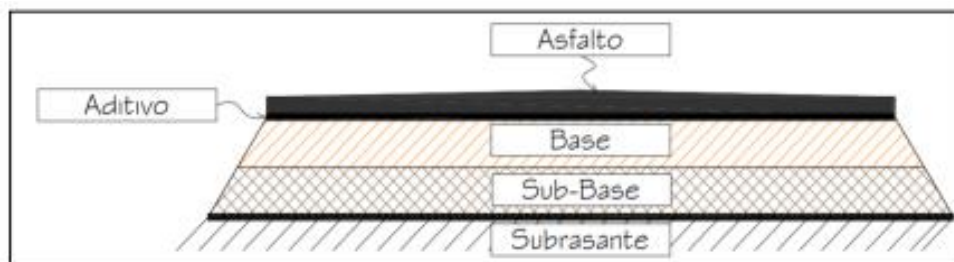
*Nota.* Obtenido de Armijos (2009).

### b) Pavimentos Semirrígidos

Este tipo de construcción de pavimento se distingue por el grosor del pavimento totalmente asfáltico y la capa de rodadura caliente que se coloca sobre una base con cemento estabilizada con cal, cemento o asfalto. Es importante recordar que, de acuerdo con las normas de 2018 emitidas por el MTC, los pavimentos adoquinados también se clasifican como pavimentos semirrígidos.

### Figura 2

*Estructura de un pavimento semirrígido*



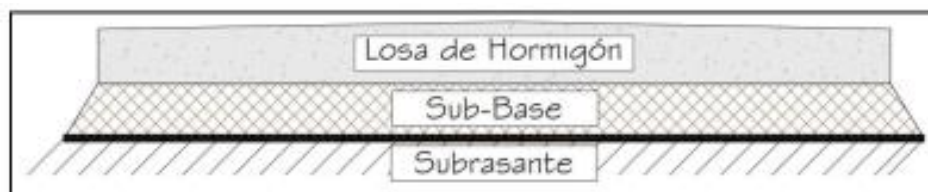
*Nota.* Obtenido de Armijos (2009)

### c) Pavimentos Rígidos

La capa de rodadura de un pavimento rígido se compone de hormigón de cemento hidráulico, a menudo denominado losa de hormigón, que se combina con ligantes, áridos o aditivos. Esta capa se coloca sobre una base granular o subbase que se estabiliza con cal, cemento o asfalto. En un informe del MTC de 2018 se identifican tres tipos de pavimentos rígidos: pavimento rígido liso con juntas, pavimento rígido reforzado con armadura de acero en forma de fibras o malla, y pavimento rígido con armadura continua.

#### Figura 3

*Estructura de un pavimento rígido.*



*Nota.* Obtenido de Armijos (2009)

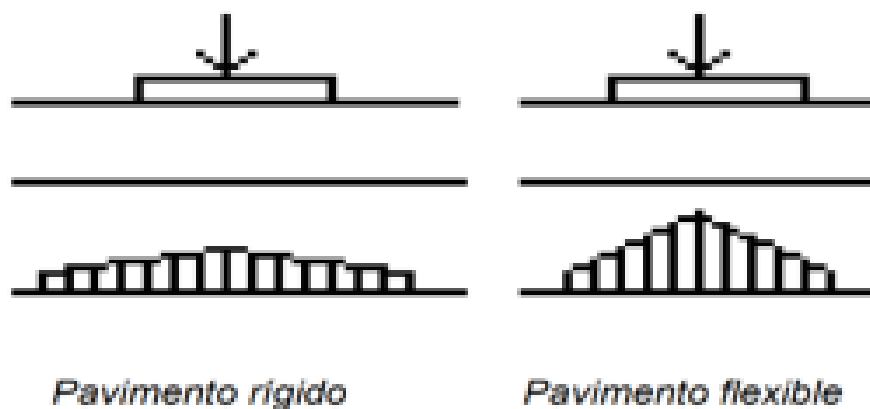
#### 2.2.3 Comportamiento estructural de un pavimento

El principal contraste entre los pavimentos flexibles y rígidos, que se basa en cómo reaccionan a las cargas aplicadas, debe enfatizarse en el contexto del comportamiento estructural del pavimento. Según la investigación realizada por (Lloclla, A., Sánchez, K., 2019), en el diseño de pavimentos flexibles se utiliza un

sistema de capas enlazadas y la distribución de cargas viene determinada por las características inherentes a la construcción.

#### **Figura 4**

*Distribución de cargas en pavimento flexible y rígido*



*Nota.* En la figura se visualiza la distribución de carga por tipo de pavimento

En las carreteras pueden surgir numerosos problemas que afectan negativamente a su estado general. Estos problemas pueden deberse al tráfico, a condiciones meteorológicas desfavorables, a técnicas de construcción deficientes y al uso de materiales de baja calidad. Además, estos elementos pueden provocar problemas superficiales y estructurales en el pavimento; el grado de degradación que presente la carretera determinará la gravedad de estos problemas (MTC, 2014).

#### **a) Fallas estructurales**

La degradación del pavimento se caracteriza por su impacto no solo en la capa de rodadura, sino también en las diversas capas que componen la estructura general del pavimento. Según el estudio del MTC (2014), las deformaciones elásticas

resultantes de las cargas del tráfico suelen afectar tanto al suelo de la subrasante como al material granular. Estas deformaciones pueden ser tanto verticales como horizontales.

#### **b) Fallas superficiales**

Estos deterioros suelen tener una serie de razones de fondo, como la mala calidad de los materiales, las técnicas de construcción inadecuadas llevadas a cabo durante la construcción o circunstancias locales singulares que dan lugar a un mayor tráfico. Según un informe de 2014 del MTC, a menudo se observan fallos como desprendimientos, formación de huecos y exudación como consecuencia de estas circunstancias.

#### **2.2.4 Evaluación de la Rugosidad del pavimento asfáltico**

La rugosidad es "Evaluar la desviación de una superficie determinada respecto de un plano teórico, cuyas dimensiones influyen en la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, las cargas dinámicas y las propiedades de drenaje. Por ejemplo: perfil longitudinal, perfil transversal." (ASTM, 2012).

El IRI es la acumulación de movimientos verticales que experimenta la suspensión cuando las ruedas (una cuarta parte del coche) viajan a 80 km/h, y el

índice de confort de rodadura es un parámetro de la superficie de la carretera que siente el usuario. (Caro, F. y Peña, G., 2012).

El Índice Internacional de Rugosidad, comúnmente conocido como IRI (Índice Internacional de Rugosidad), es un estándar estadístico de rugosidad propuesto por el Banco Mundial en 1986 como parámetro de referencia para medir la calidad de la capa de rodadura de las carreteras.

#### **2.2.4.1 Transitabilidad**

Es la percepción que tiene el usuario del nivel de servicio que brinda un pavimento. Por eso hay que medir sus opiniones para valorar la calidad del pavimento. Existen dificultades conceptuales en la medición de la calidad de un pavimento porque depende de la evaluación que se realice, si el interés es la condición estructural o funcional de su superficie, incluso si el problema se aborda sin el uso de herramientas o métodos de evaluación estandarizados.

Para evaluar la transitabilidad del pavimento se utiliza un parámetro llamado Performance Service Index (PSI), que determina la condición funcional o desempeño actual del pavimento en servicio, concepto desarrollado por los técnicos de pruebas en carretera de la AASHO en 1957. PSI utiliza un rango de 0 a 5 para evaluar los valores, correspondiendo las condiciones óptimas al valor máximo. (Pomasonco de la Cadena, 2010)

**Tabla 2**

*Índice de transitabilidad*

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

Nota. Esta tabla muestra la escala del índice de transitabilidad, tomado de la Guía AASHTO

#### **2.2.4.2 Cálculo de la transitabilidad mediante el IRI**

La determinación de los valores IRI por tamos de 400 m. en campo luego ser procesados los valores IRI por calzada o por carril, se determina el valor IRI ponderado.

Los datos de campo de la sección de estudio se deben obtener de acuerdo al intervalo de desviación, luego se calcula el rango "D" para comprender la distribución de frecuencia de las lecturas obtenidas y se aplican los factores de corrección correspondientes a la calibración del equipo, finalmente para determinar la transitabilidad en función del IRI ponderado, se utiliza la ecuación de Williams Paterson. (Sologorre, 2005)

**Tabla 3***Transitabilidad mediante el IRI*

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

*Nota.* Esta tabla muestra el rango de valores PSI calculado debido al IRI, tomado de (Sachún, 2016)

#### **2.2.4.3 Rugosidad**

Se define como irregularidades en la superficie de la carretera que tienen un impacto directo en el deterioro de las calles y carreteras y de sus usuarios, al tiempo que impactan negativamente en la calidad de conducción de los vehículos, la seguridad y los costos operativos. El Banco Mundial propone un método para medir la rugosidad llamado Índice Internacional de Rugosidad (IRI), que normalmente oscila entre 0 (carretera ideal, sin defectos) y 12 (carretera completamente intransitable). Este parámetro es muy utilizado para medir la rugosidad superficial de un pavimento, que es la suma de los valores absolutos de los desplazamientos verticales a lo largo de una sección dividida por su longitud.

#### **2.2.4.4 Causas posibles de la rugosidad**

Pueden ocurrir irregularidades en las capas de carga de pavimentos nuevos y existentes debido a la falta de políticas de mantenimiento o errores durante la

construcción de la carretera; puede producirse deformación si no se toman las medidas de control adecuadas.

#### **2.2.4.5 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos**

Los estudios muestran que existen muchos factores que influyen en la rugosidad de la superficie del pavimento, los más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico de vehículos.
- Espesor del pavimento. • Número de estructura.
- Propiedades del hormigón asfáltico utilizado: huecos, gravedad específica, contenido de asfalto.
- Características ambientales: temperatura promedio, precipitación (días lluviosos), índice de heladas, número de días superiores a 32°C.
- Propiedades de la matriz granular, como contenido de humedad y porcentaje de material que pasa por un tamiz de malla 200.
- Propiedades de la subrasante como índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limo y arcilla y porcentaje de material que pasa a través de malla 200.
- Alcance y gravedad de los daños al pavimento.

#### **2.2.4.6 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

La Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM) define la rugosidad en la norma E-867 como la desviación de un pavimento respecto de una superficie plana, que afecta la dinámica del vehículo, la calidad de marcha, la carga dinámica y el drenaje. La rugosidad también puede definirse como la distorsión de

la superficie de la carretera, que provoca una aceleración vertical indeseable y, por tanto, una conducción incómoda (Perera, R. y Khon, S., 2002).

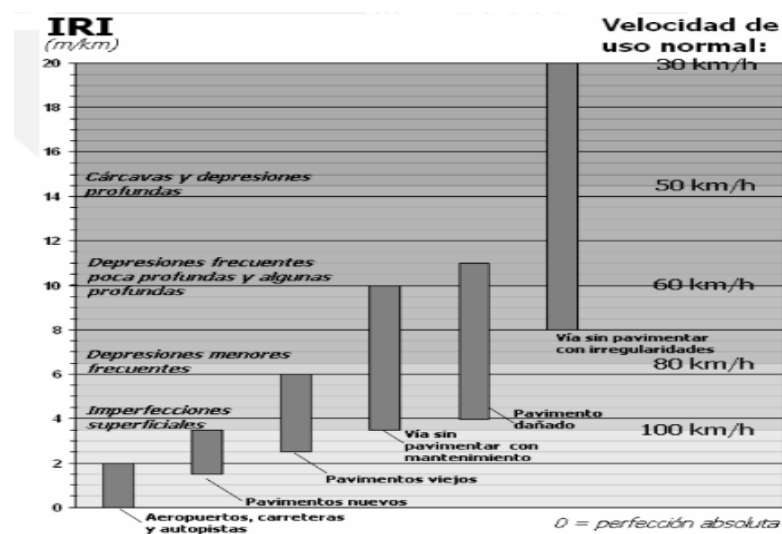
El IRI es una medida de regularidad del pavimento, propuesta por el Banco Mundial como estadística de rugosidad estándar para determinar el efecto del perfil longitudinal de una carretera sobre la calidad de rodado, expresada en metros por kilómetro. (Sayers, M. ; Karamihas, S., 1998).

#### 2.2.4.7 Escalas y características del IRI

El IRI tiene unidades de m/km, varía de 0 a 20 m/km, cuando el IRI es 0 m/km es una vía excelente y cuando el IRI es 20m/km totalmente malo para transitar.

**Figura 5**

*Escala empleada por el Banco Mundial*



Nota. Tomado del Banco Mundial de acuerdo con la velocidad de uso

**Tabla 4***Valores de IRI (m/km)*

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 – 4.0	> 4.0	> 2.5	

*Nota. Tabla que muestra los IRI utilizados para pavimentos nuevos (Alvarenga, 2002)*

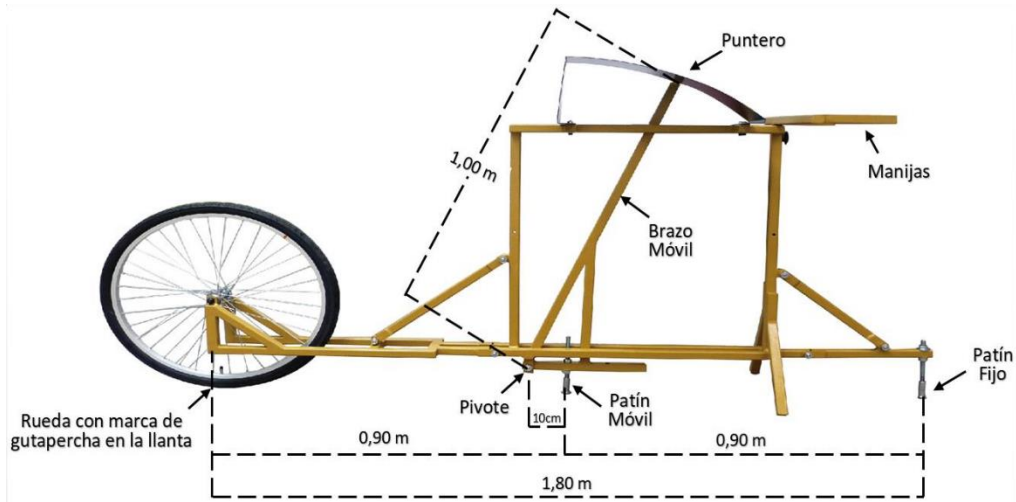
### 2.2.5 Rugosímetro MERLIN

Instrumento versátil, sencillo y económico diseñado para su uso en países en desarrollo. Fue introducido en el Perú en 1993 y para junio de 1999 existían más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras. El método de medición utilizado por MERLIN, ya que el dispositivo está diseñado como una variante de un perfilómetro estático y califica como método de Clase 2 debido a la alta precisión de sus resultados.

El coeficiente de determinación de la escala de correlación de los resultados obtenidos utilizando MERLIN versus IRI es en realidad igual a 1 ( $R^2=0,98$ ). Debido a su alta precisión, sólo superada por el método de topografía (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos sensibles (integradores cóncavos y convexos, medidores de Metz, etc.) lo recomiendan para la calibración de rugosímetros.

**Figura 6**

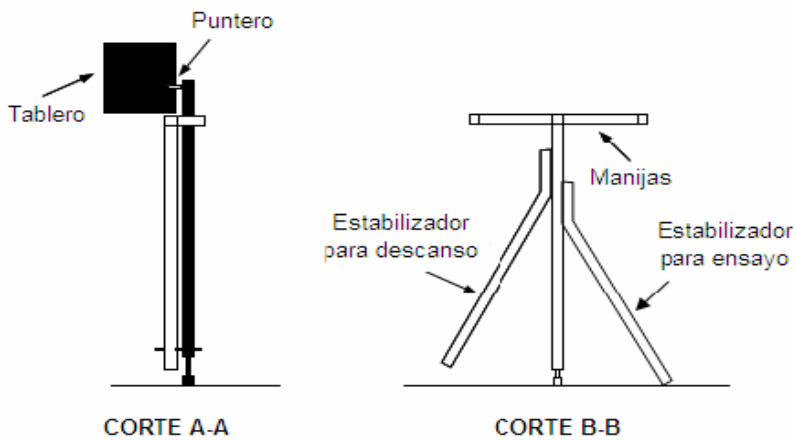
*Detalles del MERLIN*



*Nota. Tomado de (Del Aguila, 1999)*

**Figura 7**

*Partes del equipo MERLIN*



*Nota. (Del Aguila, 1999)*

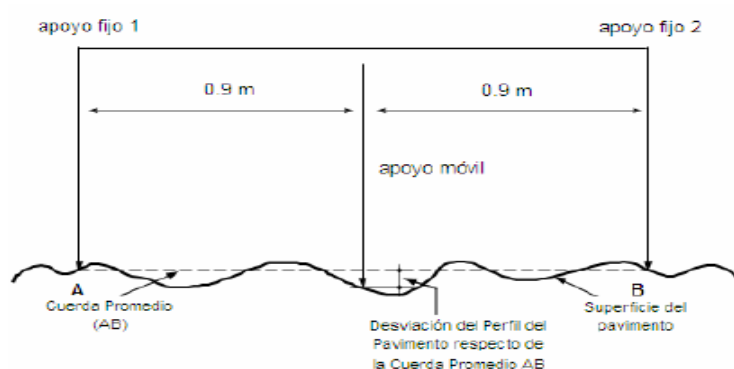
El equipo MERLIN mide el desplazamiento vertical entre el pavimento y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. Este desplazamiento se

llama "deflexión de la cuerda media"

El equipo MERLÍN tiene dos pies separados 1,8m que se apoyan sobre una superficie y miden su rugosidad en base a las huellas de las ruedas (marcas que dejan las ruedas). Con un trineo de prueba móvil colocado en el medio de la carretera entre los pies, MERLIN mide la distancia vertical "y" entre la superficie de la carretera y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante que conecta las bases de los pies. Los resultados se registran en una mesa montada en la máquina y se toman mediciones repetidas a lo largo de la vía de la rueda. Cuando se completa la observación, se retira la tabla y se genera un histograma en la tabla. El "ancho" (en milímetros) del histograma (D) representa la rugosidad en la escala MERLIN. (Del Aguila, 1999).

### Figura 8

*Medición de las desviaciones en función a la cuerda AB.*



*Nota.* (Del Aguila, 1999)

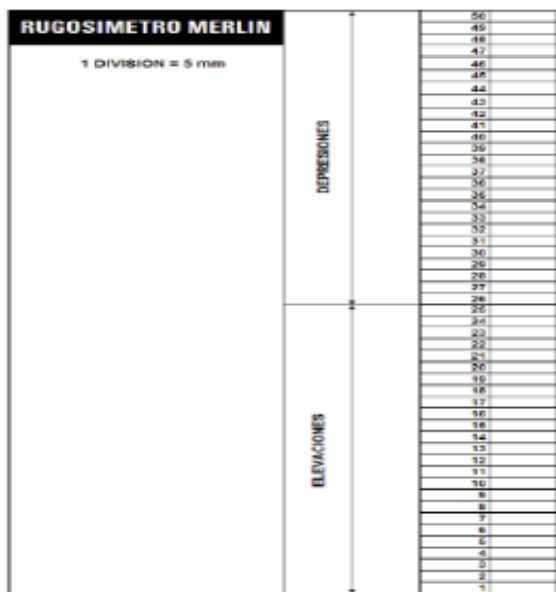
Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, la varilla vertical sobresale hacia abajo, pero no llega al suelo, y el brazo móvil pivota en su extremo

inferior. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el suelo mediante un patín roscado regulable para adaptarse a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior remata en un puntero o indicador que se desliza por el borde de la tabla, en función de la posición del extremo inferior del patín en movimiento cuando hace contacto con la carretera.

La relación del brazo entre el pivote de la corredera móvil y el extremo inferior del puntero de pivote es 1:10, de modo que un movimiento vertical de 1 mm en el extremo inferior de la corredera móvil produce un desplazamiento de 1 cm. puntero. Se utiliza una escala gráfica de 50 segmentos con un espesor de 5 mm para registrar el movimiento del puntero. Esta escala se fija al borde de la placa sobre la que se desliza el puntero. (Del Aguila, 1999)

**Figura 9**

*Escala para determinar la dispersión de las desviaciones.*



*Nota.* Tomado de Del Aguila (1999)

### **2.2.5.1 Modo de uso**

Para realizar la prueba, dos personas trabajan juntas, un operador conduce el equipo y toma lecturas, y un asistente registra las lecturas. Asimismo, se deberá seleccionar un tramo de 400 m de longitud en uno de los carriles de la vía. Las mediciones se realizan contra trazas de flujo externas.

Para determinar el valor de rugosidad se realizan 200 observaciones de "irregularidades presentes en la superficie de la carretera" (desviaciones de la cuerda central), cada una de las cuales fue detectada por el patín móvil MERLÍN y mostrada en secuencia, el cual desliza el puntero sobre la escala de la placa para producir una lectura.

El equipo debe ser estacionado y observado periódicamente, generalmente cada 2m, en la práctica se utiliza como referencia para solucionar el problema la circunferencia de la rueda MERLIN, que es aproximadamente de este tamaño, es decir, la rueda gira una vez después de cada prueba.

Durante cada observación, el instrumento debe colocarse sobre la superficie de la carretera sostenido por tres puntos fijos e inmutables: la rueda, el soporte trasero fijo y el estabilizador. La posición del puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, que se registrará en el formato de campo como se muestra. El formato consta de una cuadrícula de 20 filas y 10 columnas; comenzando en el cuadro (1,1), los datos se completan de arriba a abajo y de izquierda a derecha. (Del Aguila, 1999)

**Figura 10**

*Formato para recolección datos de campo*

**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											AFRANCO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPERMEABLE <input type="checkbox"/>
5											TRAT. MECANICO <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											MECANIZADO AL SEC <input type="checkbox"/>
9											SEALO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

*Nota.* Tomado de Del Aguila (1999)

### 2.2.5.2 Cálculo de la rugosidad

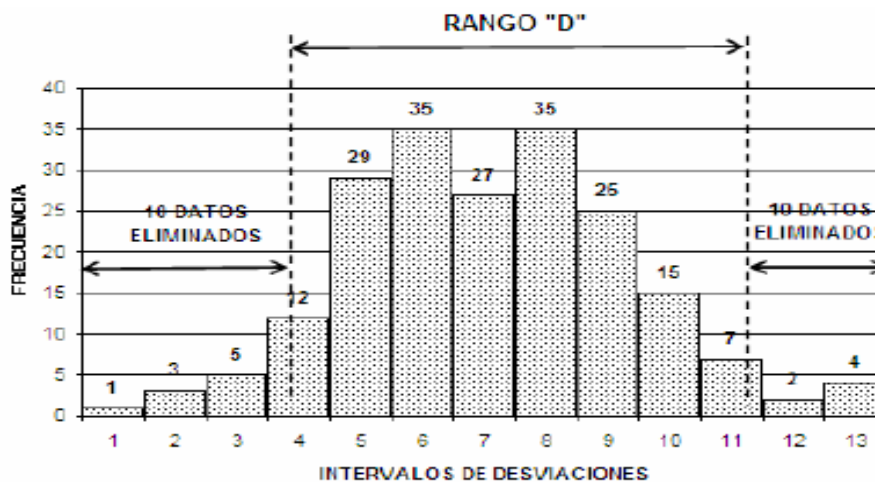
Como se mencionó anteriormente, para generar los 200 datos necesarios para determinar el valor de rugosidad, se utiliza una escala arbitraria de 50 unidades colocada en la placa del medidor de rugosidad para registrar los 200 pasos recorridos por la aguja del brazo móvil del medidor de rugosidad. Medidor de rugosidad. Cuando el contorno del terreno coincida con la línea central o cuerda, la división número 25 debe corresponder a la posición central del puntero en el tablero. Si las distintas posiciones del puntero coinciden o están próximas a la línea divisoria 25 (baja dispersión), el ensayo demostrará que el perfil de la superficie de la

carretera es igual o próximo a una línea recta (baja rugosidad). Por otro lado, si el puntero adopta repetidamente posiciones alejadas de la división 25 (alta dispersión), se muestra un perfil de la superficie de la carretera con muchos puntos de inflexión (alta rugosidad).

La distribución de los datos obtenidos por MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencia de las lecturas o posiciones tomadas por el puntero, que se puede representar en forma de histograma con fines educativos (abajo). Posteriormente, tras descartar el 10% de los datos correspondientes a posiciones del puntero no representativas o inestables, se estableció un rango de valores agrupados por intervalo de frecuencia (D). Elimina eficazmente el 5% inferior (10 puntos de datos) y el 5% superior (10 puntos de datos) del histograma. (Del Aguila, 1999)

**Figura 11**

*Histograma de la distribución de frecuencias*



*Nota.* Tomado de Del Aguila (1999)

Una vez eliminados los datos, el "ancho del histograma" se calcula en unidades de escala, teniendo en cuenta las puntuaciones que puedan resultar de la eliminación de datos. Por ejemplo, en la Figura 13, en el extremo inferior del histograma, debido al impacto de descartar 10 datos, se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y 1 de los 12 datos pertenece al intervalo 4, por lo que el resultado es el mismo  $11/12 = 0,92$ . Una situación similar ocurre en el extremo superior del histograma, donde la unidad decimal equivale a  $3/7=0,43$ . Por lo tanto, nuestro rango es igual a  $0,92+6+0,43 = 7,35$  unidades.

El rango D determinado debe expresarse en milímetros multiplicando el número de unidades calculado por el valor milimétrico de cada unidad.

$$\text{Rango D} = 7.35 \times 5\text{mm} = 36.75\text{mm}.$$

#### **Factor de corrección.**

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

Donde:

EP = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial del puntero.

Lf = Posición final del puntero.

#### **Cálculo del Rango D corregido.**

$$\text{Dc} = \text{D} \times \text{FC}$$

#### **Cálculo de IRI**

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.047\text{D}$$

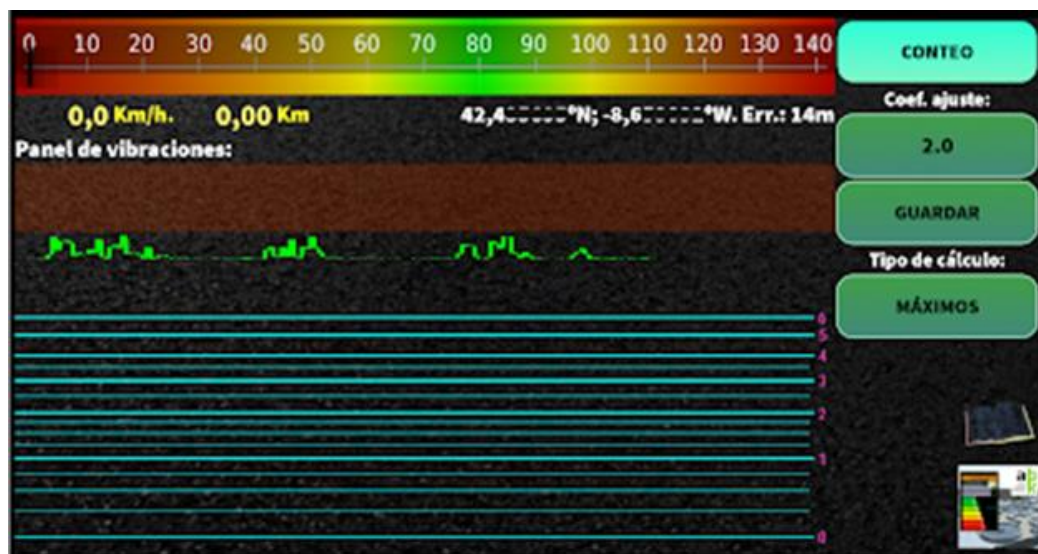
### 2.2.6 Aplicación ABAKAL IRI en Teléfono Inteligente

La metodología para determinar los valores IRI, es el modelo de cuarto de coche y está en el uso del Android del teléfono, su GPS interno y sus sensores de vibración, el aplicativo determina un informe del valor IRI cada 100 m., al mismo tiempo presenta un gráfico en Google earth el recorrido de la evaluación por colores cada 100 m. a la vez se puede calibrar.

El modelo consiste en medir los movimientos verticales de acuerdo con las irregularidades presentes en el pavimento y ellos son convertidos a un valor IRI, considerando dentro del modelo de evaluación que representa la masa del vehículo, la masa de la rueda, el amortiguador y la flexibilidad de la llanta.

**Figura 12**

*Aplicativo ABAKAL.*



*Nota.* (ABAKAL, 2020)

### 2.2.6.1 Velocidad de prueba

Se requiere mantener una velocidad constante de alrededor de 80 km/h, por lo que el velocímetro resalta esta velocidad en verde.

### 2.2.6.2 Posicionamiento del teléfono inteligente

El dispositivo puede colocarse en el parabrisas para asegurar un funcionamiento óptimo de los ajustes, ya sea para métodos estadísticos o para mediciones máximas.

#### Figura 13

*Posición del dispositivo móvil dentro del vehículo.*



*Nota.* (ABAKAL, 2020)

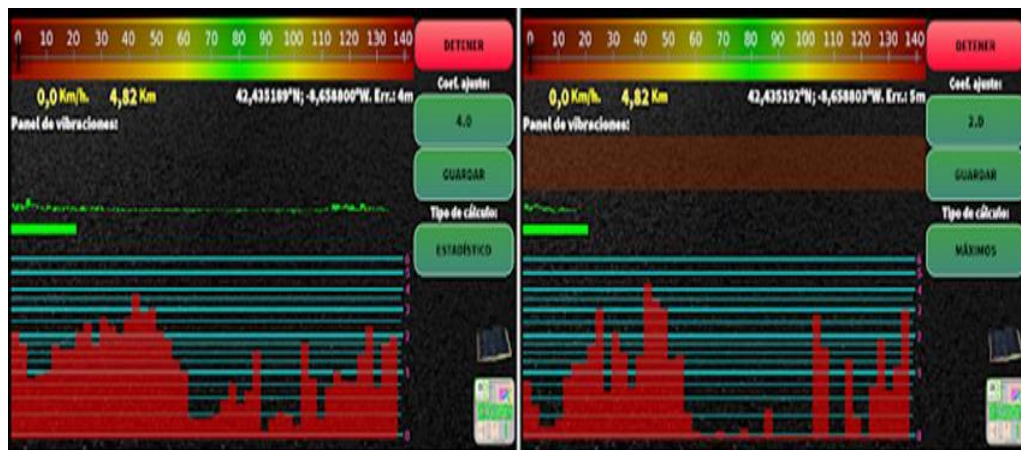
### 2.2.6.3 Tipos de calculo

Existen dos métodos para calcular la rugosidad: estadísticos y basados en valores máximos. El primero pondera la vibración transmitida por el vehículo al dispositivo, considerando órdenes de vibración y un coeficiente de ajuste. El segundo fija límites predefinidos para evaluar la prueba, donde reducir el límite

aumenta la valoración. No es posible definir de inicio cuál método se adapta mejor a la combinación vehículo-smartphone, por lo que se requiere contrastar con un IRI externo. Si se cambia vehículo o dispositivo, debe repetirse el procedimiento.

**Figura 14**

*Métodos de cálculo*



*Nota.* (ABAKAL, 2020).

#### 2.2.6.4 Generación de informe

El programa produce tres tipos de archivos como resultados, los cuales se almacenan en el directorio `"/storage/0/Abakal/IRI"`:

1. El archivo "informe IRI.csv" puede abrirse como una hoja de cálculo y es valioso para generar gráficos.
2. El archivo "informe IRI2.csv" es más adecuado para usar como tabla de control.
3. El archivo "informe IRI.kml" está diseñado para ser abierto en Google Earth

**Tabla 5**

*Resultados Informe IRI2.csv.*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI
42,453633	-8,677348	110	75,35	0	2,14
42,454028	-8,676213	108	75,82	100	1,75
42,454396	-8,675086	114	72,00	200	0,87
42,454814	-8,673987	119	73,30	300	0,95
42,455341	-8,672945	124	76,32	400	1,00
42,456012	-8,671988	129	80,24	500	1,69
42,456741	-8,671048	137	78,12	600	1,57
42,457411	-8,670161	142	71,78	700	1,59
42,458005	-8,669230	146	73,55	800	2,12

*Nota.* (ABAKAL, 2020).

**Figura 15**

*Informe IRI.kml.*



*Nota.* (ABAKAL, 2020).

## **2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS**

### **a) Pavimento flexible**

El pavimento asfáltico es una estructura flexible que responde a cargas en movimiento, como tráfico vehicular. Compuesto por capas bituminosas, base y subbase, absorbe presiones, se expande y transfiere cargas. Utilizado en áreas de alto tráfico como carreteras, aceras y aparcamientos. (Farro, 2022).

### **b) Patologías del pavimento flexible**

La compleja interacción entre el diseño, los materiales, la construcción, el tráfico rodado y el medio ambiente provoca fallos. Estos elementos interrelacionados son los que conducen a la degeneración gradual del pavimento, que empeora si la carretera no recibe un mantenimiento adecuado (Rodríguez, 2009).

### **c) Rugosidad**

La rugosidad del pavimento, clasificada en macrotextural y microtextural, es crucial en ingeniería vial. Medida con dispositivos como perfiles láser y evaluada mediante el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), impacta la seguridad vial y la durabilidad de las carreteras. (Hegmon, 1979)

### **d) Rugosímetro de MERLÍN**

Este dispositivo evalúa el perfil de carreteras, requiere esfuerzo físico al trabajar directamente en la superficie, pero proporciona mediciones regulares a través del tablero. Utiliza el método estándar de rugosidad, destacando por su fácil ejecución y simplicidad operativa y de mantenimiento. (Das, 2014)

**e) Transitabilidad**

El nivel de servicio de una infraestructura vial se define como su condición en la que se asegura un flujo continuo y sin interrupciones de tráfico durante un período determinado. (MTC, 2018).

**f) Serviciabilidad**

La capacidad de un pavimento se refiere a su habilidad para cumplir con las necesidades, tanto estáticas como dinámicas, para las que ha sido diseñado. Esta capacidad se define como la condición de la superficie del pavimento que satisface las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2010).

**g) Evaluación funcional**

El propósito principal es reconocer las imperfecciones que existen en la superficie y analizar la condición del pavimento flexible, centrándose en los elementos que perjudican la comodidad y la seguridad. A través de esta evaluación, se pueden identificar problemas como la rugosidad, fallos en la superficie, reducción

en la adherencia, gastos para los usuarios y efectos sobre el entorno ambiental. (Del Águila, 1999).

#### **h) Evaluación estructural**

La evaluación de la resistencia estructural de carreteras implica analizar las relaciones carga-deformación en las capas del pavimento. Los ensayos destructivos en laboratorio son comunes, pero se prefieren ensayos no destructivos para evaluar la resistencia sin dañar la estructura existente. (Instituto Nacional de Vías, 2008)

#### **i) ABAKAL**

Es una aplicación diseñada para el sistema operativo Android que utiliza los sensores de vibración y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de un smartphone. Su función principal es calcular el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), y también tiene la capacidad de generar gráficos e informes basados en los resultados obtenidos.

#### **j) IRI**

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se deriva de datos del International Road Roughness Experiment (IRRE). Representa el confort percibido a 80 km/h y se calcula mediante un modelo dinámico "Quarter-car", considerando el movimiento vertical de la suspensión de la rueda. (Caicedo et al., 2003)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

Se considera de tipo aplicada, ya que conlleva el uso de conocimientos relevantes orientados al trabajo de campo, desarrollado en un entorno real sin manipulación de variables, con el propósito de determinar la rugosidad del pavimento mediante métodos tradicionales como el empleo del equipo MERLIN y el uso de teléfonos inteligentes. (Maldonado, 2015)

##### **3.1.2 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación adoptado es no experimental, orientado a responder las preguntas planteadas en el estudio y a definir la estrategia empleada en la búsqueda de información. Se recurre principalmente a la investigación bibliográfica, con el fin de lograr una comprensión más profunda de trabajos previos, así como de información y datos difundidos en medios impresos, audiovisuales o electrónicos. Además, se contempla la recolección de datos directamente del investigador o de la realidad en la que ocurre el fenómeno, sin manipular ni controlar las variables involucradas (Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M., 2010)

### **3.1.3 Nivel de la investigación**

El estudio se clasifica como de nivel descriptivo-exploratorio, ya que se centra en la observación y descripción de los eventos con el fin de adquirir nuevos conocimientos de forma sistemática y metódica, orientados a la ampliación del saber existente. Es exploratorio porque busca profundizar en los hallazgos de investigaciones previas y establecer prioridades para futuros estudios. La investigación se sustenta en la recolección de datos de campo mediante un formato de evaluación estandarizado, cuyos resultados son procesados y presentados en cálculos y figuras. (Maldonado, 2015)

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

La población de estudio está constituida por la Avenida Tarapacá del distrito de Tacna en toda su extensión, considerando ambos carriles de circulación. En este sentido, la totalidad de la vía representa el universo de análisis, ya que sobre ella se busca evaluar el nivel de rugosidad del pavimento flexible y su estado funcional.

### **3.2.2 Muestra**

La muestra se definió como un tramo específico de la Avenida Tarapacá, intersección Av. Von Humboldt hasta Av. Gustavo Pinto, seleccionado de manera intencional por presentar un nivel de transitabilidad crítico y representativo de las

condiciones generales de la vía. Dicho tramo fue dividido en unidades de muestreo de 400 metros para el rugosímetro MERLIN y cada 100 m para el aplicativo ABAKAL IRI, asegurando la representatividad de los resultados.

### **3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.3.1 Técnicas**

La investigación se desarrolló mediante la aplicación directa del software ABAKAL IRI instalado en un teléfono inteligente, el cual registró datos de rugosidad cada 100 metros utilizando como vehículo de medición una camioneta Nissan Frontier. Paralelamente, se empleó el equipo MERLIN para recopilar información en ambos carriles de la avenida Tarapacá, considerando una longitud de evaluación de 400 metros. Con este equipo se efectuaron mediciones continuas, registrando 200 datos cada dos metros a lo largo de la vía, con el propósito de obtener el valor ponderado del IRI en m/km. Finalmente, todos los datos obtenidos fueron procesados y analizados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel.

#### **Evaluación de campo**

La evaluación de la rugosidad superficial se llevó a cabo en campo aplicando dos metodologías: el rugosímetro MERLIN y el aplicativo móvil ABAKAL IRI. La recolección de datos fue ejecutada directamente por el tesista, contando con el

apoyo de personal técnico especializado. Los ensayos se realizaron el sábado 15 de agosto de 2025, bajo condiciones controladas para garantizar la confiabilidad de los resultados.

La recolección de datos fue ejecutada por los investigadores con el apoyo de personal especializado en el uso de la aplicación, tal como se evidencia en el registro fotográfico adjunto:

**Figura 16**

*Calibración del equipo en el carril derecho y carril izquierdo*



Nota. En la figura se muestra forma de calibración del equipo utilizando las pastillas de bronce

**Figura 17**

*Inicio de la prueba carril derecho*



Nota. En la figura se muestra el inicio de la evaluación del IRI, carril derecho

**Figura 18**

*Inicio de la prueba carril izquierdo*



Nota. En la figura se muestra el inicio de la evaluación del IRI, carril izquierdo

**Figura 19**

*Evaluación carril derecho e izquierdo, tramo I*



Nota. En la figura se muestra la evaluación de la rugosidad

**Figura 20**

*Evaluación de la rugosidad tramo II*



Nota. En la figura se muestra evaluación de la rugosidad

**Figura 21**

Evaluación de la rugosidad tramo III



Nota. En la figura continua la evaluación de la rugosidad

**Figura 22**

*Evaluación de la rugosidad tramo IV*



Nota. En la figura se muestra evaluación de la rugosidad en su tramo final

**Figura 23**

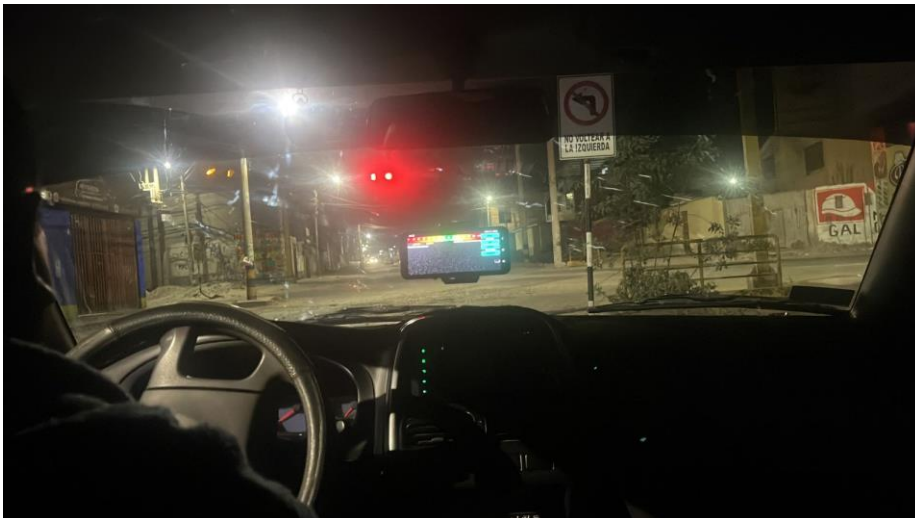
Camioneta utilizada en la determinación de la rugosidad mediante el aplicativo ABAKAL IRI



Nota. En la figura se muestra la evaluación con la aplicación ABAKAL IRI en el carril derecho e izquierdo

**Figura 24**

*Montaje del Smartphone en el parabrisas*



Nota. En la figura se visualiza la forma como se coloca en el parabrisas del vehículo

**Figura 25**

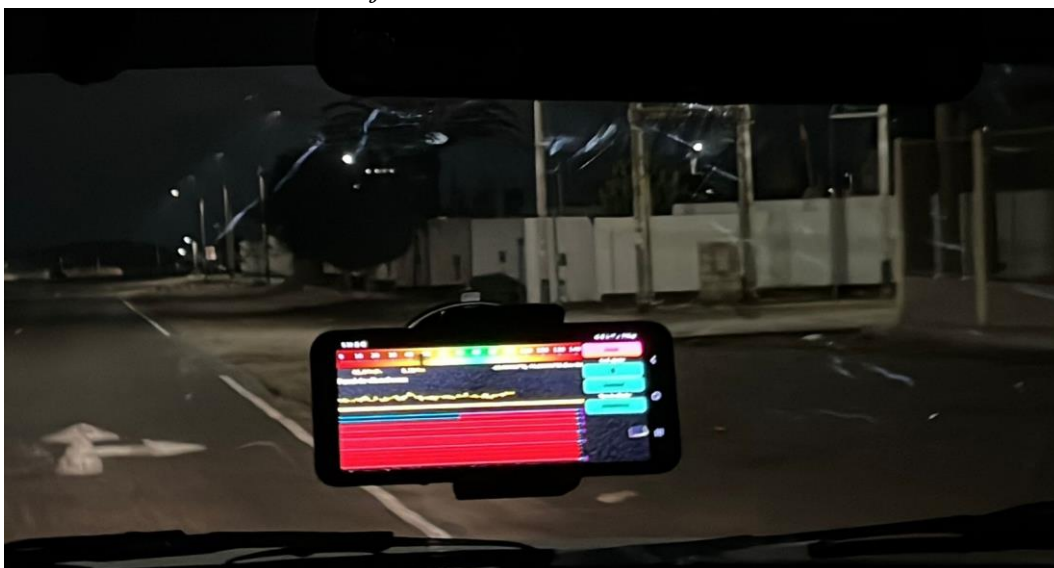
*Inicio de la evaluación configurando el ABAKAL IRI*



Nota. En la figura se visualiza la configuración del teléfono por estadísticos

**Figura 26**

*Evaluación de datos IRI en ejecución carril derecho*



Nota. En la figura se visualiza la toma de datos cada 100m. con el ABAKAL IRI

### **Figura 27**

*Recopilación de datos IRI en pleno ensayo, carril izquierdo*



Nota. En la figura se visualiza la toma de datos cada 100m. con el ABAKAL IRI

#### **3.3.2 Instrumentos**

- Equipos de medición: Equipo MERLIN, teléfono inteligente Samsung Galaxy Flip 5.
- Soporte para el teléfono inteligente para instalar en el parabrisas
- Vehículo de ensayo, camioneta Nissan Frontier
- Registro audiovisual, cámara fotográfica.

#### **3.4 Análisis de datos**

En la Avenida Tarapacá se analizaron los datos de rugosidad obtenidos con el rugosímetro MERLIN y la aplicación ABAKAL IRI. Los registros, tomados en



**Figura 29**

*Cálculo del valor IRI en tramo de 400 m.*



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACA DEL DISTRITO DE TACNA, 2025						
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	I	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+0.00 al Km 0+400.00	<b>CARRIL:</b>	<b>DERECHO</b>
<b>LONGITUD:</b>	400.00 m	<b>FECHA:</b>	16/08/2025	<b>OPERADOR:</b>	BACH. BLÁS ADUVIRE, L.F.	<b>AUXILIAR:</b>	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

LECTURA INICIAL: 33  
 LECTURA FINAL: 23

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

**FACTOR DE CORRECCION** F.C. = 1.21

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI - EXTREMO INFERIOR CE - CENTRO ES - EXTREMO SUPERIOR

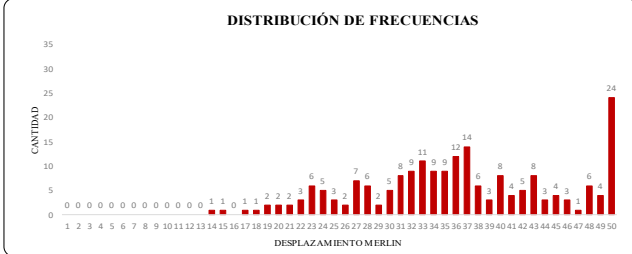
**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$      $IRI = 0.0485D$

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACION DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCION: 1.21

Resultado del IRI:  
**RANGO "D": 142.92 mm**  
**RANGO CORREGIDO "Dcr": 172.93 mm**  
**RUGOSIDAD IRI: 8.74 m/Km**

Observaciones:

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLÍN													N° LECTURA	FRECUENCIA
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS														
													1	0
													2	0
													3	0
													4	0
													5	0
													6	0
													7	0
													8	0
													9	0
													10	0
													11	0
													12	0
													13	0
													14	1
													15	1
													16	0
													17	1
													18	1
													19	2
													20	2
													21	2
													22	3
													23	6
													24	5
													25	3
													26	2
													27	7
													28	6
													29	2
													30	5
													31	8
													32	9
													33	11
													34	9
													35	9
													36	12
													37	14
													38	6
													39	3
													40	8
													41	6
													42	6
													43	8
													44	3
													45	4
													46	3
													47	1
													48	6
													49	4
													50	24



CONVERSION A DE "IRI" A "PSI"	
INDICE DE REGULADIDAD INTERNACIONAL - IRI	8.738 m/Km
CONVERSION A PSI	1.02
CLASIFICACION DEL PSI	MALG

CONVERSION A DE "PSI" A "PCI"	
INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI	1.02
CONVERSION A PCI	20.4
CLASIFICACION DEL PCI	MUY MALO

Nota. En la figura se visualiza el formato Excel para el cálculo del valor IRI por tramos de evaluación

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando el equipo MERLIN**

A partir de la información recolectada en campo con el rugosímetro MERLIN, se realizaron las lecturas de rugosidad en tramos de prueba de 400 m, registrando una lectura cada dos metros, lo que permitió obtener un total de 200 mediciones por tramo. Los datos fueron procesados en una hoja de cálculo de Excel para calcular la rugosidad en 4 tramos del carril derecho y 4 del carril izquierdo, abarcando una longitud total de 1,60 km. Este procedimiento permitió determinar los valores de rugosidad y evaluar la transitabilidad en la avenida Tarapacá, en el tramo comprendido entre la avenida. Von Humboldt y la avenida. Gustavo Pinto.

##### ***4.1.1 Lecturas y cálculo del valor IRI y PSI obtenidas del equipo MERLIN***

En cada tramo de evaluación, definido por progresivas, se registraron mediciones en ambos carriles derecho e izquierdo, considerando tramos de 400 m y lecturas a intervalos de 2 m.

Los resultados procesados se organizan en tablas que muestran los valores de rugosidad obtenidos por tramo, mientras que los gráficos permiten visualizar las variaciones y tendencias a lo largo de la longitud evaluada. Esta presentación facilita la interpretación de los datos y la comparación entre carriles y progresivas.

## CARRIL DERECHO

**Tabla 6**

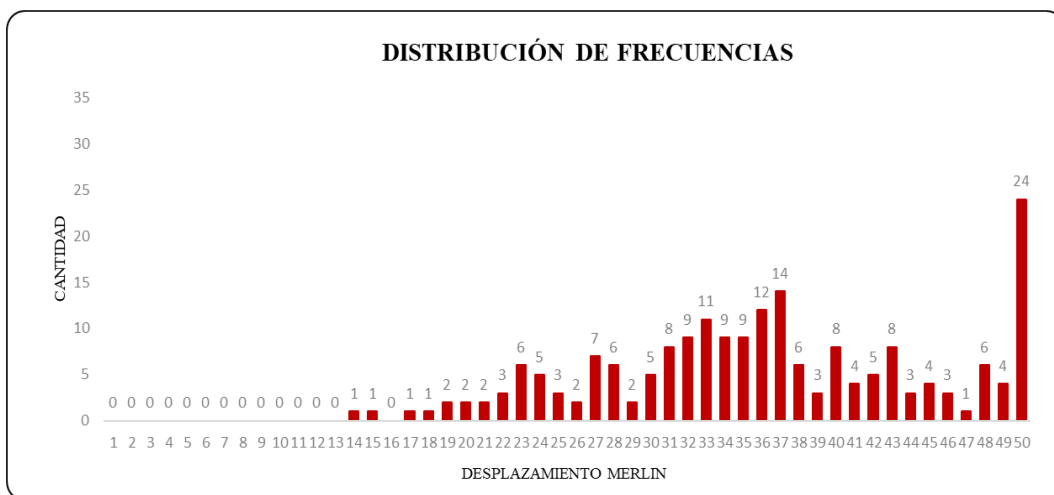
*Datos de campo, tramo de ensayo 1 en la progresiva 0+000 – 0+400*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 1 en el carril derecho iniciando en la intersección de la avenida Tarapacá con avenida Von Humboldt.

**Figura 30**

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



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y el valor IRI

**Tabla 7**

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

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	142,92	mm
Factor de Corrección	1,210	
Rango D corregido	172,93	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>8,74</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,02</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 8,74 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,02, calificación MALO

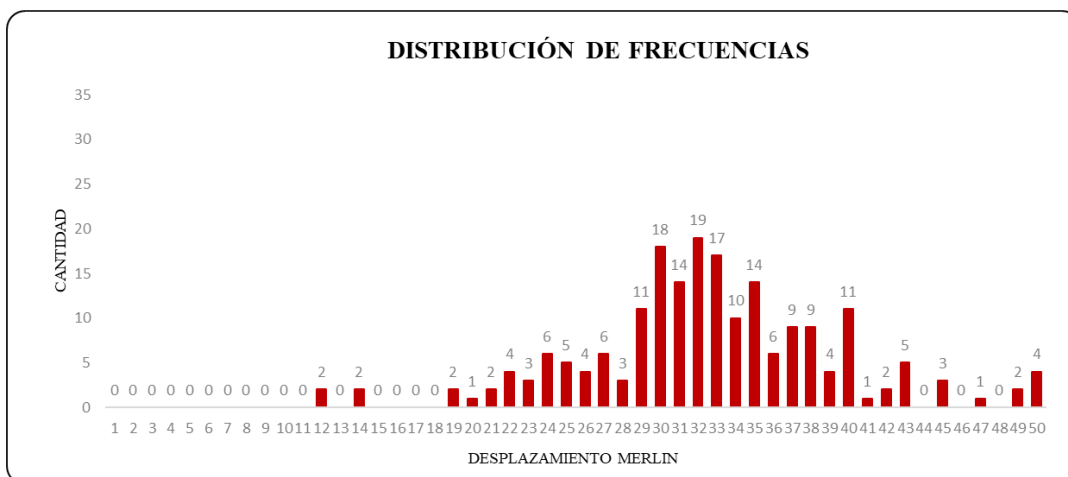
**Tabla 8***Hoja de campo, tramo de ensayo 2 en la progresiva 0+400 – 0+800*

<b>LECTURAS EN CAMPO</b>										
<b>1</b>	22	39	35	38	50	45	35	31	29	34
<b>2</b>	20	33	33	31	32	27	40	29	36	27
<b>3</b>	33	31	29	33	39	50	30	27	36	27
<b>4</b>	27	35	43	30	12	14	37	22	40	32
<b>5</b>	32	40	34	41	21	33	49	30	43	37
<b>6</b>	32	30	31	33	43	34	40	33	32	29
<b>7</b>	29	32	38	30	31	45	37	33	33	29
<b>8</b>	24	34	30	35	30	50	30	32	14	23
<b>9</b>	35	35	35	33	22	30	36	35	50	37
<b>10</b>	40	21	24	40	32	36	28	42	24	25
<b>11</b>	32	49	37	35	33	32	37	39	31	29
<b>12</b>	26	34	38	47	25	42	19	24	38	34
<b>13</b>	30	33	22	33	32	43	38	32	31	37
<b>14</b>	30	19	24	35	30	38	30	30	28	32
<b>15</b>	40	28	35	25	34	25	40	33	36	27
<b>16</b>	31	30	31	40	31	26	26	31	36	35
<b>17</b>	31	38	38	33	33	24	43	35	40	23
<b>18</b>	32	31	34	29	32	34	32	38	39	29
<b>30</b>	32	30	34	37	23	32	30	29	33	26
<b>20</b>	30	40	29	32	12	45	35	31	25	37
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 2 en el carril derecho

**Figura 31**

*Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 2*



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 9**

*Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 2*

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	108,75	mm
Factor de Corrección	1,21	
Rango D corregido	131,59	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>6,79</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,45</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 6,79 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,45, calificación MALO

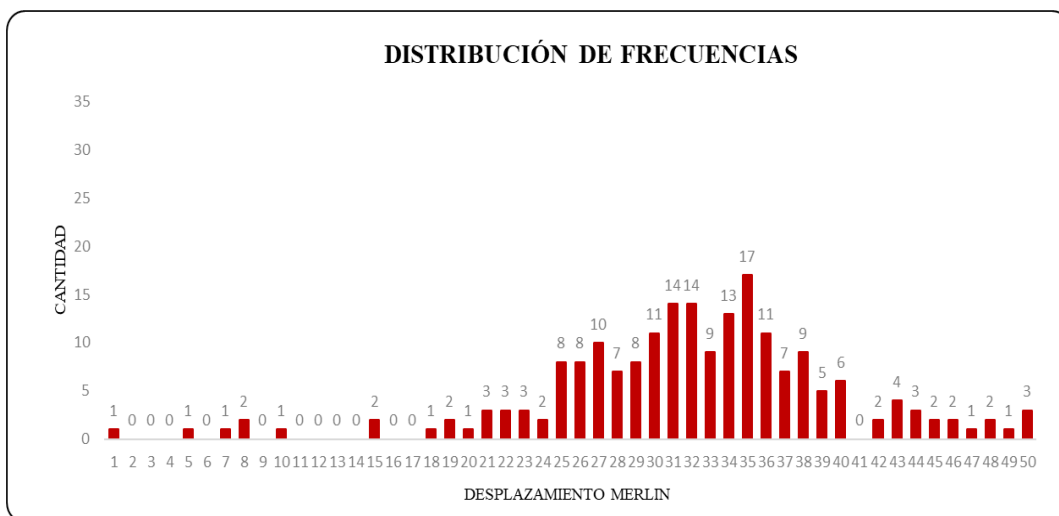
**Tabla 10***Hoja de campo, tramo de ensayo 3 en la progresiva 0+800 – 1+200*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 3 en el carril derecho

**Figura 32**

*Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 3*



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 11**

*Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 3*

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	125,00	mm
Factor de Corrección	1,210	
Rango D corregido	151,25	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>7,72</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,23</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 7,72 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,23, calificación MALO.

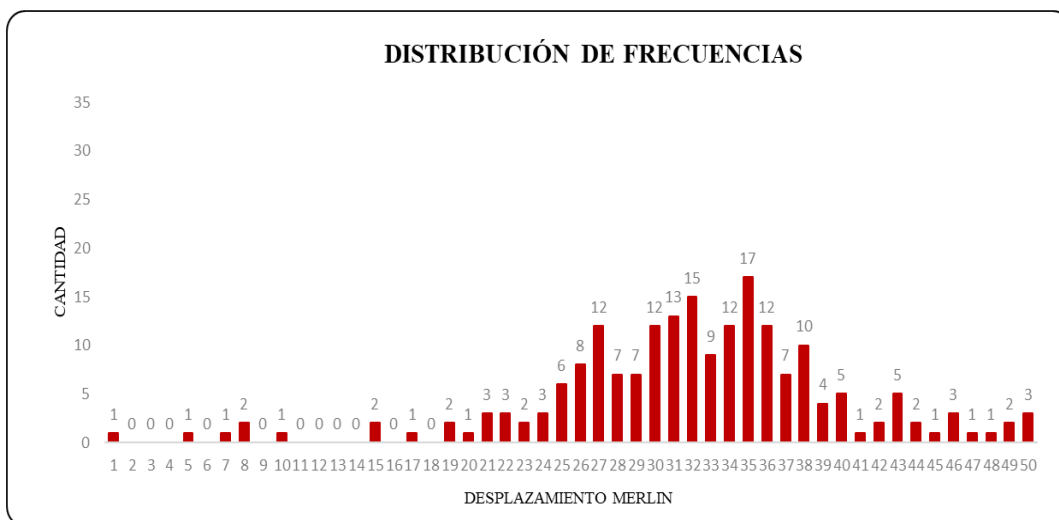
**Tabla 12***Hoja de campo, tramo de ensayo 4 en la progresiva 1+200 – 1+600*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 4 en el carril derecho

**Figura 33**

*Distribución de frecuencias para el cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 4*



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 13**

*Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 4*

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	132,50	mm
Factor de Corrección	1,210	
Rango D corregido	160,33	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>8,14</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,14</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 8,14 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,14, calificación MALO

## CARRIL IZQUIERDO

**Tabla 14**

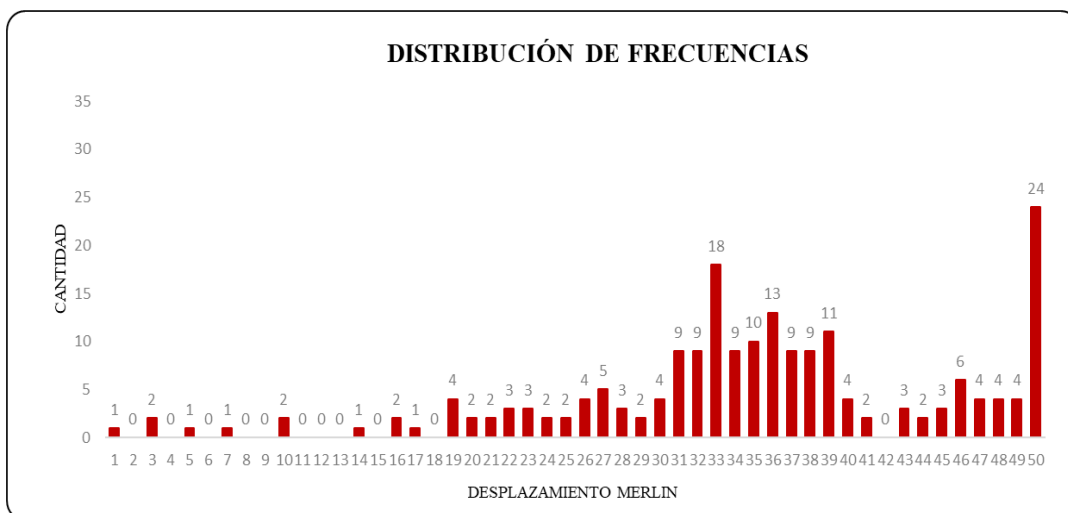
*Hoja de campo, tramo de ensayo 1 en la progresiva 0+000 – 0+400*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 1 en el carril izquierdo

**Figura 34**

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



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 15**

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

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	157,92	mm
Factor de Corrección	0,80	
Rango D corregido	126,33	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>6,54</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,52</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 6,54 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,52, calificación MALO

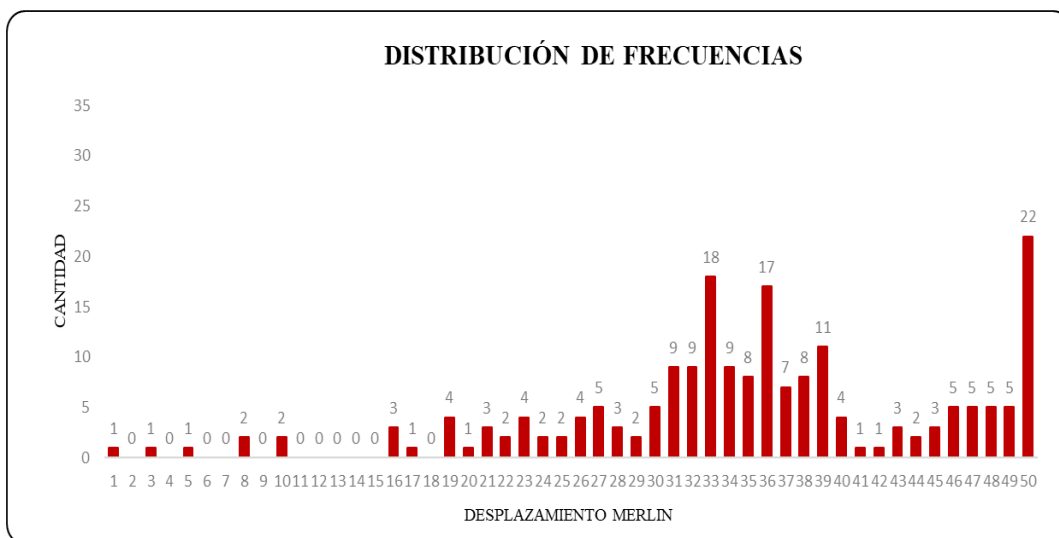
**Tabla 16***Hoja de campo, tramo de ensayo 2 en la progresiva 0+400 – 0+800*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 2 en el carril izquierdo

**Figura 35**

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



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 17**

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

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	162,73	mm
Factor de Corrección	0,80	
Rango D corregido	130,18	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>6,72</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,47</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 6,72 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,47, calificación MALO

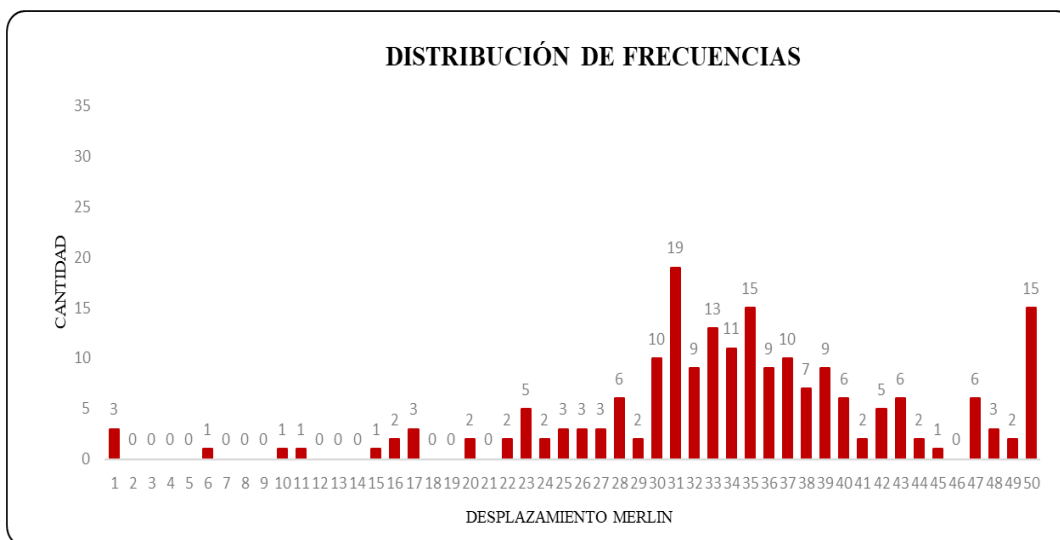
**Tabla 18***Hoja de campo, tramo de ensayo 3 en la progresiva 0+800 – 1+200*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 3 en el carril izquierdo

**Figura 36**

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



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 19**

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

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	145,00	mm
Factor de Corrección	0,80	
Rango D corregido	116,00	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>6,06</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,66</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 6,06 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,66, calificación MALO

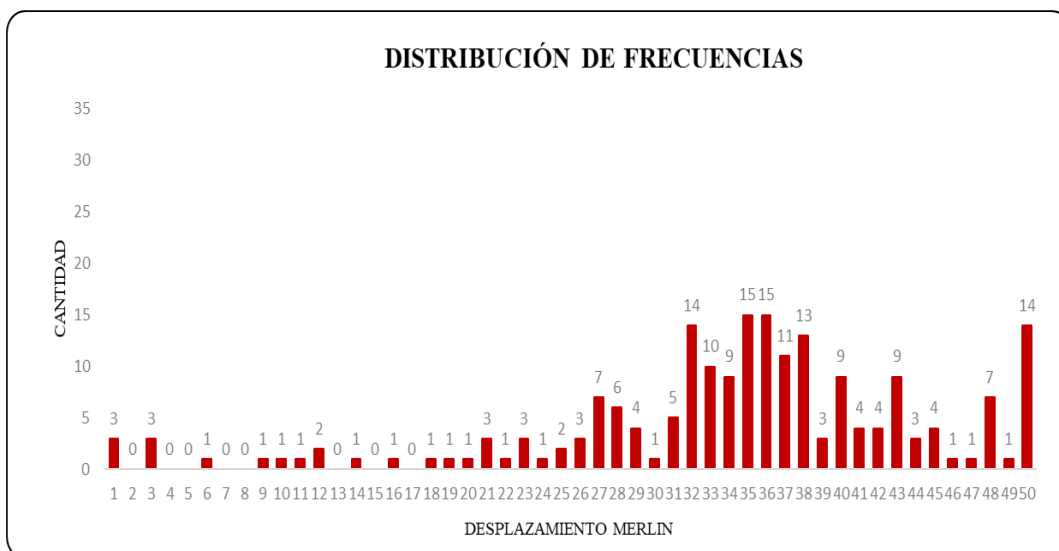
**Tabla 20***Hoja de campo, tramo de ensayo 4 en la progresiva 1+200 – 1+600*

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

Nota. Tabla que muestra las lecturas del ensayo 4 en el carril izquierdo

**Figura 37**

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



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del rango D y valor IRI

**Tabla 21**

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

Parámetro	Valor	Unidad
Rango D	176,43	mm
Factor de Corrección	0,80	
Rango D corregido	141,14	mm
Valor IRI - Rugosidad	<b>7,24</b>	<b>m/km</b>
Valor PSI - Transitabilidad	<b>1,34</b>	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del valor IRI 7,24 m/km, calificación del pavimento MALO y la transitabilidad (PSI) igual a 1,34, calificación MALO

#### 4.1.2 Resumen de resultados del valor IRI

**Tabla 22**

*Resumen de valores IRI y su calificación*

CARRIL DERECHO			CARRIL IZQUIERDO		
PROGRESIVA	RUGOSIDAD carril derecho (m/km)	ESTADO DEL PAVIMENTO	PROGRESIVA	RUGOSIDAD carril izquierdo (m/km)	ESTADO DEL PAVIMENTO
0+000 al 0+400	8.74	Malo	0+000 al 0+400	7.24	Malo
0+400 al 0+800	6.79	Malo	0+400 al 0+800	6.06	Malo
0+800 al 1+200	7.72	Malo	0+800 al 1+200	6.72	Malo
1+200 al 1+600	8.14	Malo	1+200 al 1+600	6.54	Malo
PROMEDIO	<b>7.85</b>		PROMEDIO	<b>6.64</b>	

Nota. En la tabla se muestra los valores ponderados del valor IRI

#### 4.1.3 Resumen de resultados del valor PSI

**Tabla 23**

*Resumen del valor PSI que corresponde a la transitabilidad*

CARRIL DERECHO			CARRIL IZQUIERDO		
PROGRESIVA	PSI	TRANSITABILIDAD	PROGRESIVA	PSI	TRANSITABILIDAD
0+000 al 0+400	<b>1.02</b>	Mala	0+000 al 0+400	<b>1.34</b>	Mala
0+400 al 0+800	<b>1.45</b>	Mala	0+400 al 0+800	<b>1.66</b>	Mala
0+800 al 1+200	<b>1.23</b>	Mala	0+800 al 1+200	<b>1.47</b>	Mala
1+200 al 1+600	<b>1.14</b>	Mala	1+200 al 1+600	<b>1.52</b>	Mala
PROMEDIO	<b>1.21</b>		PROMEDIO	<b>1.50</b>	

Nota. En la tabla se muestra la calificación de la transitabilidad

#### 4.2 Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando la aplicación ABAKAL

##### **IRI.**

De acuerdo con la evaluación realizada en el tramo de investigación mediante el aplicativo ABAKAL IRI, se obtuvieron los valores del Índice de Rugosidad

Internacional a partir de mediciones efectuadas directamente en campo. El registro de datos se llevó a cabo en condiciones controladas de circulación, considerando velocidades de desplazamiento comprendidas entre 40 y 60 km/h. Este rango operativo permitió garantizar la precisión de las lecturas, reducir posibles sesgos por variaciones en la conducción y obtener resultados representativos del estado real del pavimento evaluado.

**Tabla 24**

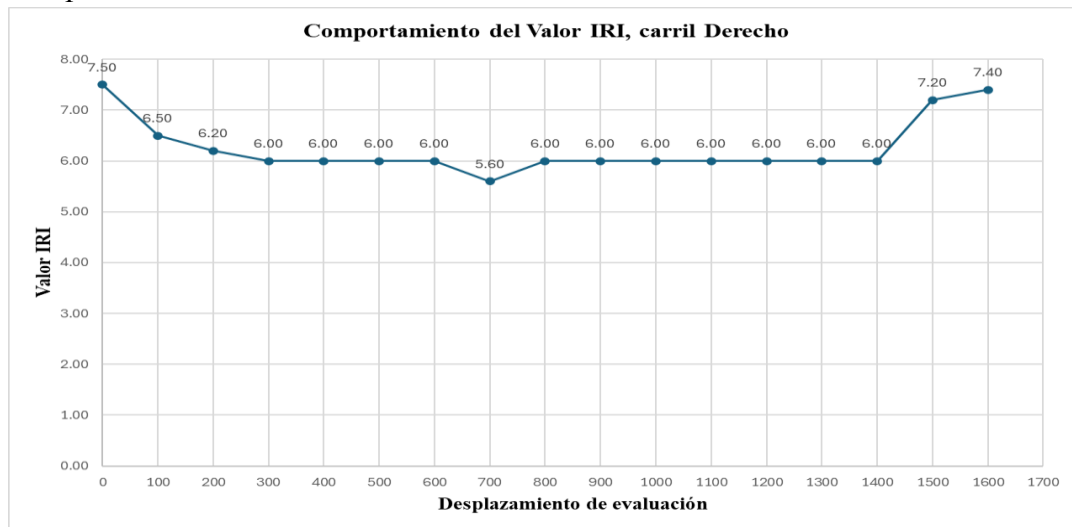
*Valores IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL carril derecho*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI Carril Derecho
-18.025882	-70.242875	598.0	40	0	7.50
-18.025381	-70.242086	600.2	40	100	6.50
-18.024889	-70.241292	603.7	42	200	6.20
-18.024396	-70.240473	605.0	42	300	6.00
-18.023888	-70.239633	608.1	42	400	6.00
-18.023381	-70.238802	609.4	46	500	6.00
-18.022857	-70.237956	612.8	45	600	6.00
-18.02233	-70.237125	619.5	40	700	5.60
-18.021813	-70.236287	624.7	56	800	6.00
-18.021315	-70.23549	627.8	58	900	6.00
-18.020847	-70.234582	628.9	58	1,000.00	6.00
-18.020522	-70.233678	628.8	42	1,100.00	6.00
-18.020195	-70.232723	629.3	52	1,200.00	6.00
-18.019862	-70.23179	629.0	56	1,300.00	6.00
-18.019507	-70.230809	630.1	42	1,400.00	6.00
-18.019623	-70.231318	630.3	40	1,500.00	7.20
-18.019686	-70.231344	630.6	40	1,600.00	7.40

*Nota.* En la tabla se muestra los valores IRI determinados en la evaluación utilizando el aplicativo ABAKAL en la calzada derecha

**Figura 38**

*Comportamiento de los valores IRI cada 100 m; carril derecho*



Nota. En la figura se puede ver en el desplazamiento los valores IRI obtenidos en la evaluación del carril derecho

**Figura 39**

*Desplazamiento por carril derecho utilizando aplicativo ABAKAL*



Nota. En la figura se puede ver el desplazamiento por la avenida Tarapacá considerando colores de acuerdo con el valor IRI

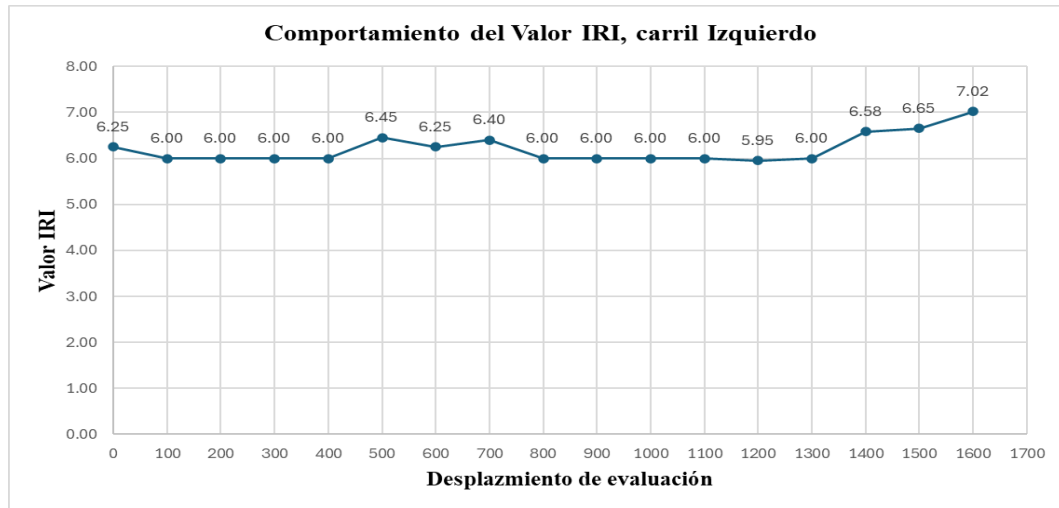
**Tabla 25***Valores IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL carril izquierdo*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI Carril Izquierdo
-18.019686	-70.231344	631	40	0	6.25
-18.020003	-70.232232	628	42	100	6.00
-18.020361	-70.233217	625	47	200	6.00
-18.020685	-70.234118	622	56	300	6.00
-18.021017	-70.235002	620	52	400	6.00
-18.021529	-70.235825	616	58	500	6.45
-18.022029	-70.236651	613	58	600	6.25
-18.022553	-70.237477	609	59	700	6.40
-18.023082	-70.238359	605	55	800	6.00
-18.023604	-70.239226	600	56	900	6.00
-18.02413	-70.240076	598	48	1,000.00	6.00
-18.024619	-70.240877	596	46	1,100.00	6.00
-18.025117	-70.24171	594	52	1,200.00	5.95
-18.02561	-70.242526	592	55	1,300.00	6.00
-18.026127	-70.243371	590	50	1,400.00	6.58
-18.027382	-70.244375	588	40	1,500.00	6.65
-18.028482	-70.245675	585	40	1,600.00	7.02

*Nota.* En la tabla se muestra los valores IRI determinados en la evaluación utilizando el aplicativo ABAKAL en el carril izquierdo

**Figura 40**

*Comportamiento de los valores IRI cada 100 m; carril izquierdo*



*Nota. En la figura se puede ver en el desplazamiento los valores IRI obtenidos en la evaluación del carril izquierdo*

**Figura 41**

*Desplazamiento por el carril izquierdo utilizando aplicativo ABAKAL*



*Nota. En la figura se puede ver el desplazamiento por la avenida Tarapacá, carril izquierdo considerando colores de acuerdo con el valor IRI*

#### 4.2.1 Resumen de resultados del valor IRI obtenido por la aplicación ABAKAL IRI

**Tabla 26**

*Resumen de resultados del valor IRI obtenidos con la aplicación ABAKAL IRI*

AVENIDA TARAPACÁ	ABAKAL IRI	
CARRIL DERECHO	6,26	6,24 m/km
CARRIL IZQUIERDO	6,21	

Nota. En la tabla se visualiza los valores del IRI por carril y su ponderado obtenido de la aplicación 6,24 m/km

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con la aplicación ABAKAL IRI

En la evaluación realizada en el tramo de la avenida Tarapacá se empleó un teléfono inteligente modelo Samsung Galaxy Flip 5 como dispositivo de medición. Este equipo permitió registrar los valores del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de manera práctica y precisa, aplicando tecnología móvil en la recolección de datos sobre la condición del pavimento.

Los resultados obtenidos en la Tabla 27 muestran que el carril derecho alcanzó un valor promedio de 6.26 m/km, mientras que el carril izquierdo presentó un promedio de 6.21 m/km. En conjunto, el IRI ponderado del tramo evaluado fue de 6.24 m/km, lo que refleja el nivel de rugosidad promedio de la vía.

**Tabla 27**

*Resumen de los resultados de los valores IRI determinados con la aplicación ABAKAL IRI*

AVENIDA TARAPACÁ	ABAKAL IRI	
CARRIL DERECHO	6,26	6,24 m/km
CARRIL IZQUIERDO	6,21	

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los resultados del valor IRI obtenidos con la aplicación ABAKAL IRI

## 5.2 Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el rugosímetro MERLIN

**Tabla 28**

*Resumen de los resultados de los valores IRI determinados con el equipo MERLIN*

AVENIDA TARAPACÁ	IRI MERLIN	
CARRIL DERECHO	7,85	7,24 m/km
CARRIL IZQUIERDO	6,64	

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los resultados del valor IRI obtenidos con el equipo MERLIN

Los resultados en la Tabla 28 evidencian que el carril derecho presenta un valor de IRI de 7.85 m/km y en el carril izquierdo un valor de IRI de 6,64 m/km con el rugosímetro MERLIN. Esta diferencia refleja una variación esperada entre carriles, pero en ambos casos los valores superan los límites establecidos para una superficie en buen estado, clasificando al pavimento como de condición deficiente o mala.

Por su parte, el ponderado registra un IRI de 7,24 m/km, también superior al umbral aceptable de confort y serviciabilidad. Esta situación indica que ambos carriles requieren intervención, aunque el carril derecho evidencia una condición ligeramente más crítica. Los valores confirman la necesidad de plantear medidas de rehabilitación o mantenimiento estructural en este tramo de la vía.

### 5.3 Análisis de la evaluación del IRI y su grado de similitud entre ABAKAL IRI y el rugosímetro MERLIN

**Tabla 29**

*Valor ponderado del IRI y grado de similitud*

AVENIDA TARAPACÁ	IRI MERLIN	IRI ABAKAL IRI	GRADO DE SIMILITUD
CARRIL DERECHO	7,85	6,26	<b>86,19%</b>
CARRIL IZQUIERDO	6,64	6,21	

Nota. En la tabla se muestra el grado de similitud del 86,19% confirmando que ambas metodologías ofrecen mediciones dentro del margen aceptable de variación

En la Tabla 29 se determinó un grado de similitud del 86,19% entre los resultados obtenidos, lo que evidencia que las metodologías empleadas generan mediciones consistentes y se encuentran dentro de un margen aceptable de variación. Este nivel de coincidencia respalda la precisión de los datos registrados y aporta solidez al proceso de validación realizado. Asimismo, el 86,19% alcanzado constituye un indicador de confiabilidad que permite afirmar que el aplicativo ABAKAL IRI representa una herramienta viable y precisa para el análisis de la rugosidad superficial del pavimento, siendo útil en evaluaciones técnicas y en investigaciones de infraestructura vial.

#### 5.4 Análisis de la transitabilidad y el tipo de intervención para la propuesta de solución

**Tabla 30**

*Calificación del estado del pavimento y la transitabilidad para determinar el tipo de intervención*

Metodología utilizada	IRI y PSI	Calificación del Estado del Pavimento	Calificación de la Transitabilidad	Tipo de Intervención
MERLIN	7,24 m/km	MALO	MALO	RECONSTRUCCIÓN
	1,34			
ABAKAL IRI	6,24 m/km	MALO	MALO	RECONSTRUCCIÓN
	1,61			

Nota. La Tabla 30 muestra la calificación del estado del pavimento y la transitabilidad para determinar el tipo de intervención recomendable

Los resultados obtenidos mediante las metodologías MERLIN y ABAKAL IRI muestran valores de IRI de 7.24 m/km y 6.24 m/km, respectivamente, lo que ubica al pavimento en la categoría de Malo según los parámetros establecidos por el MTC en el Perú. Asimismo, los valores de PSI igual a 1.34 y 1.61 confirman que la serviciabilidad es deficiente, lo que implica que la vía no ofrece condiciones adecuadas de confort ni de seguridad para los usuarios. Estos indicadores reflejan un deterioro significativo de la superficie de rodadura.

En términos de transitabilidad, tanto los altos niveles de rugosidad como los bajos índices de serviciabilidad revelan que el flujo vehicular en la avenida evaluada se ve afectado negativamente, generando incomodidad, mayor tiempo de recorrido y posibles riesgos de seguridad vial. Los valores obtenidos en la Tabla 30 evidencia que los problemas estructurales del pavimento no pueden ser resueltos con simples mantenimientos rutinarios o periódicos, ya que la vía ha superado los umbrales de servicio aceptables.

Por estas razones, el tipo de intervención recomendado en ambos métodos es la reconstrucción del pavimento, una solución que permitirá restituir la capacidad estructural de la vía y mejorar la transitabilidad. Esta propuesta se justifica no solo por los valores de IRI y PSI obtenidos, sino también por la necesidad de garantizar condiciones de servicio acordes con los estándares nacionales. La reconstrucción contribuirá a optimizar el confort de los usuarios, reducir los costos de operación vehicular y mejorar la seguridad vial en el tramo analizado.

Dichos resultados concuerdan con lo determinado por (Alvarez, S. y Rivero, R., 2021), se evidencia que la medición del IRI mediante el perfilómetro estático MERLIN constituye un elemento clave para evaluar las condiciones de una carretera. La necesidad de automatizar tanto la recopilación de datos como el cálculo del IRI en campo permitió identificar los principales requerimientos del proyecto. Para registrar los cambios relativos a la cuerda media se empleó un

acelerómetro, el cual capturó la trayectoria y determinó la rotación de las ruedas del equipo. Las pruebas realizadas ofrecieron resultados satisfactorios, logrando una reducción significativa en los costos operativos y en el tiempo de procesamiento de la información.

De forma similar existe concordancia con los resultados encontrados por (Limay Romero, 2021), donde los resultados obtenidos permitieron determinar los valores de rugosidad expresados en unidades IRI. Para el camino de ida Cajamarca – Baños del Inca se obtuvo un valor de 1.07 m/km, mientras que para el camino de retorno Baños del Inca – Cajamarca el valor fue de 1.10 m/km. Estos resultados confirman que el rugosímetro MERLIN no solo constituye una herramienta de fácil uso y bajo costo, sino que también ofrece datos confiables y eficientes para evaluar las condiciones del pavimento.

También existe concordancia con los resultados obtenidos por (Chambilla Velasquez, E. y Ramos Deza, Y., 2021), concluye que los resultados obtenidos con el rugosímetro MERLIN arrojaron un IRI de 3.28 m/km en el primer carril, clasificado como normal, y un IRI promedio de 3.51 m/km en el segundo carril, también catalogado como normal. En contraste, con la aplicación IRI-Calc-Free, el primer carril alcanzó un valor de 3.85 m/km, lo que lo ubica en la categoría regular, mientras que el segundo carril obtuvo 4.21 m/km, clasificándose como malo. A

pesar de estas diferencias, las conclusiones muestran que los valores de IRI obtenidos con ambos métodos son bastante cercanos y comparables.

También existe concordancia con los resultados obtenidos por (Zeballos, G. y Vizcarra, C., 2021), donde concluye que, al emplear un método innovador basado en teléfonos inteligentes como ROADROID, en comparación con el método tradicional mediante el rugosímetro MERLIN, los resultados de rugosidad fueron consistentes. En el carril derecho, los valores de IRI obtenidos fueron de 3.63 m/km con MERLIN y 3.73 m/km con ROADROID, mientras que en el carril izquierdo se registraron 3.52 m/km y 3.44 m/km, respectivamente. Estos hallazgos verifican que las mediciones proporcionadas por la aplicación son comparables y muy cercanas a las obtenidas con el equipo tradicional.

De forma similar existe concordancia con los resultados encontrados por (Manco, 2020), donde concluye que, para el carril derecho, los valores obtenidos fueron  $IRI_p = 1.94$  m/km,  $eIRI = 2.40$  m/km y  $PSI = 3.51$ , mientras que para el carril izquierdo se registraron  $IRI_p = 2.34$  m/km,  $eIRI = 2.73$  m/km y  $PSI = 3.26$ . En ambos casos, la transitabilidad se calificó como buena. Al comparar los resultados entre los dos métodos, se observó una variabilidad que fluctúa entre 0.00% y 156.95%, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0.2276 para el carril

derecho y 0.4044 para el carril izquierdo, lo que evidencia una correlación positiva, aunque de nivel bajo.

Finalmente, en concordancia con los resultados encontrados por (Reyes, 2020), quien concluye que los resultados obtenidos mediante el rugosímetro MERLIN y la aplicación TotalPave IRI, complementados con la evaluación realizada con el software ProVal, permitieron determinar la rugosidad de la avenida La Prensa, la cual presentó una variación aproximada de 2 m/km, clasificándola como pavimento nuevo. Asimismo, la correlación entre el IRI y el PSI arrojó un valor de idoneidad de 3.31, lo que refleja una transitabilidad buena desde el punto de vista cualitativo.

## CONCLUSIONES

1. El análisis comparativo entre el aplicativo móvil ABAKAL y el rugosímetro MERLIN en la Av. Tarapacá permitió evidenciar que ambos métodos arrojan valores de IRI clasificados como malos, confirmando que la vía presenta una deficiente transitabilidad y requiere una intervención estructural. La concordancia en los resultados valida el uso de tecnologías móviles como alternativa complementaria a los equipos tradicionales para la evaluación de pavimentos, siendo una herramienta práctica y económica para la gestión via.
2. Las mediciones realizadas con el rugosímetro MERLIN mostraron valores de IRI también clasificados como malos, ratificando que el pavimento no cumple con los estándares de transitabilidad aceptables. Este método, por su carácter tradicional y reconocido, sirvió como referencia para validar las mediciones del aplicativo ABAKAL.
3. La comparación entre los resultados de ABAKAL y MERLIN evidenció una diferencia mínima, lo que demuestra una correlación aceptable entre ambos métodos. Esto confirma que los smartphones representan una alternativa viable para complementar los sistemas tradicionales de medición de la rugosidad, favoreciendo su aplicación en proyectos de evaluación y mantenimiento de

carreteras.

4. La comparación entre los resultados de ABAKAL y MERLIN evidenció una diferencia mínima, lo que demuestra una correlación aceptable entre ambos métodos. Esto confirma que los teléfonos inteligentes representan una alternativa viable para complementar los sistemas tradicionales de medición de la rugosidad, favoreciendo su aplicación en proyectos de evaluación y mantenimiento de carreteras.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Tacna priorizar la ejecución de proyectos de rehabilitación estructural en la Av. Tarapacá, en vista de que tanto el aplicativo ABAKAL IRI como el rugosímetro MERLIN evidencian valores de IRI clasificados como malos donde la intervención debe ser considerada como una acción prioritaria dentro de los planes de inversión en infraestructura vial.
2. Se recomienda al Instituto Vial Provincial de Tacna la implementación de un sistema de monitoreo técnico periódico, que articule equipos tradicionales de medición como MERLIN con aplicaciones móviles como ABAKAL. Este enfoque mixto permitirá optimizar recursos económicos, mejorar la cobertura en las evaluaciones y disponer de información actualizada para la gestión de pavimentos.
3. Se recomienda al Gobierno Regional Tacna promover políticas públicas y mecanismos de financiamiento orientados a la innovación tecnológica en la gestión vial, con el fin de facilitar la adopción de herramientas móviles en la evaluación y mantenimiento de carreteras, donde este esfuerzo fortalecerá la planificación estratégica y garantizará estándares adecuados de transitabilidad.

4. Se recomienda fomentar la capacitación continua a los profesionales de la especialidad y a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil en el uso de tecnologías móviles aplicadas a la ingeniería vial, promoviendo su integración con los métodos tradicionales de evaluación, donde este proceso formativo permitirá validar la eficacia de las metodologías en condiciones de campo y fortalecer la elaboración de propuestas técnicas que contribuyan a la optimización de los recursos destinados a la conservación y mantenimiento de la infraestructura vial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAKAL. (2020). *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil*. España: ABAKAL ingenieros consultores, S.L.
- 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). *Indices de medición de la regularidad de un pavimento*. Republica del El Salvador: Ministerio de Obras Publicas, 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, E.-0. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*. EE.UU: ASTM International.
- Caro, F. y Peña, G. (2012). Análisis y criterios para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) en vías urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica. *Inteknia*, 57-72.
- 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.
- Chambilla Velasquez, E. y Ramos Deza, Y. (2021). *Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de MERLIN y el aplicativo IRI-Calcul-Free en la avenida Simón Bolívar, Puno*. Puno: Universidad César Vallejo.
- 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.
- Gonzalo, J. y Beingolea, H. (2021). *Aplicacion del Smartphone y el rugosímetro de*

- MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021.* Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación.* Mexico: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Limay Romero, T. (2021). *Análisis del índice de rugosidad internacional (IRI) de la superficie del pavimento de la vía Cajamarca - Baños del Inca, utilizando el Rugosímetro de MERLIN.* Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- 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 BI-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.
- Manco, K. (2020). *Análisis de la variabilidad del índice de rugosidad internacional (IRI) de la carretera Baños del Inca-Llacanora, utilizando el equipo*

- MERLIN y la aplicación ROADROID en un Smartphone*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- 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). *Evaluacion superficial de la condicion y serviciabilidad del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y ROADROID en el circuito Humedal Lucre-Huacarpay*. Cusco: Universidad Andina 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., Yapuchura, V., Condorchoa, J., Vicente, R. y Molero, N. (2024). Evaluation of pavement irregularities using a mobile application. *Journal of international crisis and risk communication research*, 7(12), 472-485. <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/386538665>
- Perera, R. y Khon, S. (2002). Issues in Pavement Smoothness: A Summary Report. *NCHRP Web Document 42* (págs. 20-51). Plymouth, Michigan: TRB.
- 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*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Reyes, B. (2020). *Determinación del índice de rugosidad internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN*. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- 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.
- 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, 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>.
- Zeballos, G. y Vizcarra, C. (2021). *Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugpsimtero 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.*

## ANEXO 1. – MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES/INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Independiente</b>		Tipo de Investigación
¿Cómo el análisis comparativo del IRI entre el teléfono inteligente y el rugosímetro de MERLIN, permitirá dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?	Determinar el análisis comparativo del IRI entre el teléfono inteligente y el rugosímetro de MERLIN para dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.	La influencia del análisis comparativo del Índice de Rugosidad Internacional en el pavimento asfáltico entre teléfono inteligente y el rugosímetro de MERLIN, permitirá notablemente dar solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.	APLICACIÓN DE TELÉFONO INTELIGENTE Y RUGOSÍMETRO MERLIN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Medición con aplicativo ABAKAL IRI</u></li> <li>• Valor del IRI con ABAKAL IRI</li> <li>• <u>Medición con rugosímetro MERLIN</u></li> <li>• Valor del IRI con MERLIN</li> <li>• <u>Comparación de resultados entre métodos</u></li> <li>• Diferencia porcentual entre ABAKAL IRI Y MERLIN</li> </ul>	<p>Aplicada</p> <p>Diseño de la Investigación</p> <p>- No experimental</p> <p>Ámbito de Estudio</p> <p>- Avenida Tarapacá, tramo: Av. Von Humboldt – Av. Gustavo Pinto, Tacna - 2025.</p> <p>Población</p> <p>- Constituido por la avenida Tarapacá del distrito de Tacna en toda su extensión</p> <p>Muestra</p> <p>Tramo específico de la Avenida Tarapacá, intersección Av. Von Humboldt hasta Av. Gustavo Pinto, seleccionado de manera intencional por presentar un nivel de transitabilidad crítico</p> <p>Técnicas de Recolección de datos.</p>
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Dependiente</b>		
¿Cuál es el valor del análisis del IRI obtenido con el aplicativo del teléfono inteligente ABAKAL en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?	Determinar el IRI obtenido con el aplicativo de teléfono inteligente ABAKAL en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.	La determinación del valor del análisis del IRI del pavimento asfáltico utilizando el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL, ayudará dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá en el distrito de Tacna – 2025.	ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Condición funcional del pavimento</u></li> <li>• Valor promedio del IRI (m/km)</li> <li>• <u>Nivel de transitabilidad</u></li> <li>• PSI en relación del IRI</li> <li>• <u>Clasificación del estado de la vía</u></li> <li>• Clasificación del IRI según MTC</li> <li>• Calificación de la transitabilidad</li> </ul>	<p>- Observación.</p> <p>- Formato de campo</p> <p>- Metodología MERLIN</p> <p>- Aplicación directa del Smartphone</p> <p>- Uso del aplicativo ABAKAL</p> <p>Instrumentos</p> <p>- Ficha o formulario de observación.</p> <p>- Guías de observación y formatos de campo para uso del MERLIN</p> <p>- Reportes del MERLIN</p> <p>- Smartphone Samsung Galaxy Z Flip 5</p> <p>- Reportes del App ABAKAL</p>
¿Cuál es el valor del análisis del IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?	Determinar el IRI obtenido por el rugosímetro de Merlín en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.	La determinación del valor del análisis del IRI del pavimento asfáltico utilizando el rugosímetro de MERLÍN, ayudará dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025			
¿Existe alguna similitud entre los valores determinados mediante el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL y rugosímetro de MERLIN en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna, 2025?	Comparar los valores determinados del análisis mediante el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.	La comparación de los valores obtenidos en el análisis IRI determinados mediante el aplicativo para teléfono inteligente ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, logrará satisfacer los requerimientos para dar propuesta de solución en la Av. Tarapacá del distrito de Tacna – 2025.			





**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025						
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	II	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+400.00 al Km 0+800.00	<b>CARRIL:</b>	DERECHO
<b>LONGITUD:</b>	400.00 m	<b>FECHA:</b>	16/08/2025	<b>OPERADOR:</b>	BACH. BLAS ADUVIRE, L.F.	<b>AUXILIAR:</b>	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN									
22	39	35	38	50	45	35	31	29	34
20	33	33	31	32	27	40	29	36	27
33	31	29	33	39	50	30	27	36	27
27	35	43	30	12	14	37	22	40	32
32	40	34	41	21	33	49	30	43	37
32	30	31	33	43	34	40	33	32	29
29	32	38	30	31	45	37	33	33	29
24	34	30	35	30	50	30	32	14	23
35	35	35	33	22	30	36	35	50	37
40	21	24	40	32	36	28	42	24	25
32	49	37	35	33	32	37	39	31	29
26	34	38	47	25	42	19	24	38	34
30	33	22	33	32	43	38	32	31	37
30	19	24	35	30	38	30	30	28	32
40	28	35	25	34	25	40	33	36	27
31	30	31	40	31	26	26	31	36	35
31	38	38	33	33	24	43	35	40	23
32	31	34	29	32	34	32	38	39	29
32	30	34	37	23	32	30	29	33	26
30	40	29	32	12	45	35	31	25	37

**FACTOR DE CORRECCIÓN** F.C. = 1.21

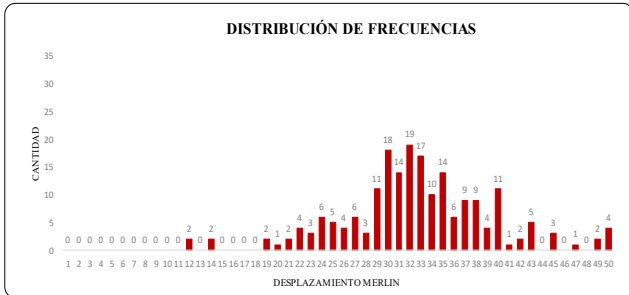
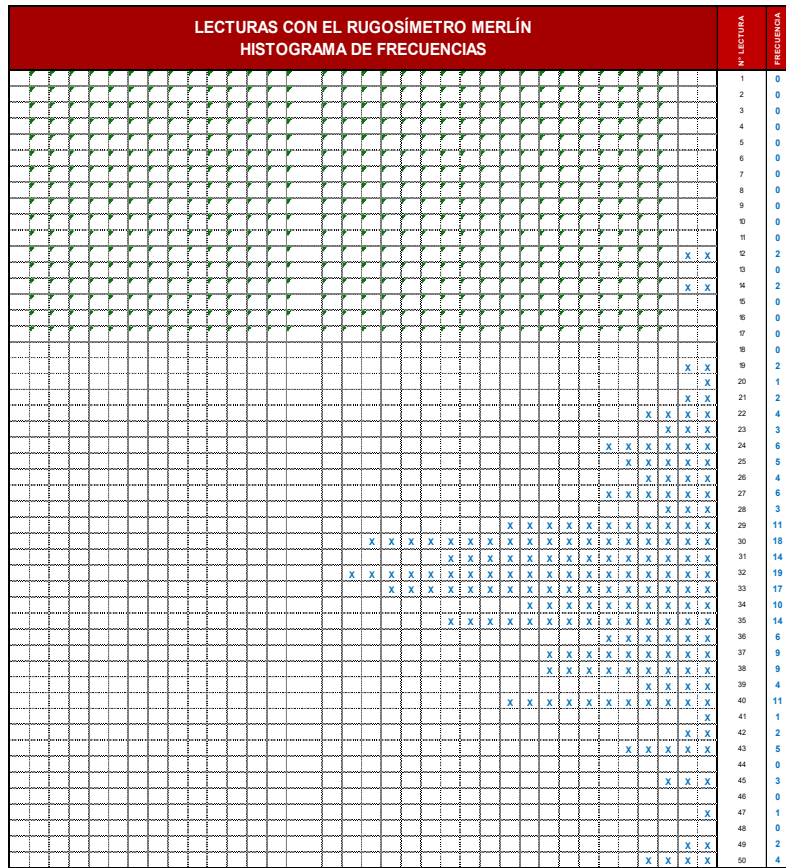
**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (Ei + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 Ei = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 IRI = 0.593 + 0.0471D      IRI = 0.0485D

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 1.21

Resultado de IRI:  
**RANGO "D": 108.75 mm**  
**RANGO CORREGIDO "Dcr": 131.59 mm**  
**RUGOSIDAD IRI: 6.79 m/Km**

Observaciones:



CONVERSIÓN A DE "IRI" A "PSI"	
ÍNDICE DE REGULABILIDAD INTERNACIONAL - IRI	6.791 m/Km
CONVERSIÓN A PSI	1.45
CLASIFICACIÓN DEL PSI	MALO

CONVERSIÓN A DE "PSI" A "PCI"	
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI	1.45
CONVERSIÓN A PCI	29
CLASIFICACIÓN DEL PCI	MALO



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025						
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	III	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+800.00 al Km 1+200.00	<b>CARRIL:</b>	DERECHO
<b>LONGITUD:</b>	400.00 m	<b>FECHA:</b>	16/08/2025	<b>OPERADOR:</b>	BACH. BLAS ADUVIRE, L.F.	<b>AUXILIAR:</b>	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

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

**FACTOR DE CORRECCIÓN** F.C. = 1.21

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR, CE = CENTRO, ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 49 \text{ mm}$      $D < 49 \text{ mm}$   
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$      $IRI = 0.0485D$

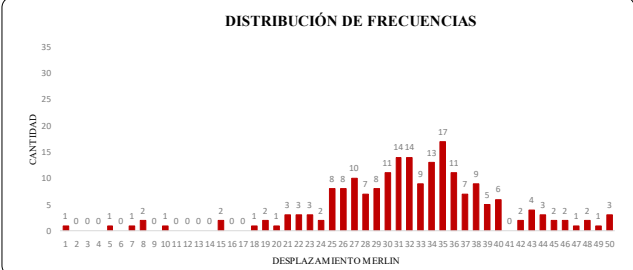
**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 1.21

Resultado del IRI:  
**RANGO "D": 125.00 mm**  
**RANGO CORREGIDO "Dc": 151.25 mm**

**RUGOSIDAD IRI: 7.72 m/Km**

Observaciones:

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN										N° LECTURA	FRECUENCIA	
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS												
1											X	1
2												0
3												0
4												0
5											X	1
6												0
7											X	1
8											X	1
9											X	2
10											X	0
11											X	1
12												0
13												0
14												0
15												0
16											X	2
17											X	0
18												1
19											X	2
20											X	1
21											X	3
22											X	3
23											X	3
24											X	2
25											X	8
26											X	8
27											X	10
28											X	7
29											X	9
30											X	11
31											X	14
32											X	14
33											X	9
34											X	13
35											X	17
36											X	11
37											X	7
38											X	9
39											X	5
40											X	6
41											X	0
42											X	2
43											X	4
44											X	3
45											X	2
46											X	2
47											X	1
48											X	2
49											X	1
50											X	3



CONVERSIÓN A DE "IRI" A "PSI"	
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL - IRI	7.717 m/Km
CONVERSIÓN A PSI	1.23
CLASIFICACIÓN DEL PSI	MALO

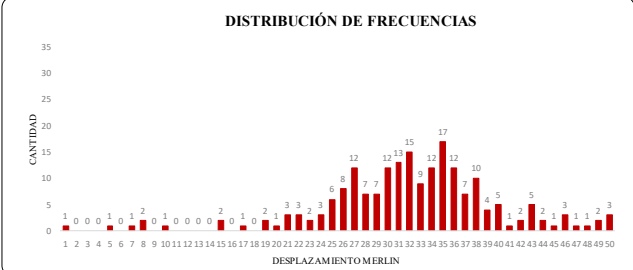
CONVERSIÓN A DE "PSI" A "PCI"	
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI	1.23
CONVERSIÓN A PCI	24.6
CLASIFICACIÓN DEL PCI	MUY MALO



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025						
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	IV	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 1+200.00 al Km 1+600.00	<b>CARRIL:</b>	DERECHO
<b>LONGITUD:</b>	400.00 m	<b>FECHA:</b>	16/08/2025	<b>OPERADOR:</b>	BACH. BLAS ADUVIRE, L.F.	<b>AUXILIAR:</b>	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN																																																		N° LECTURA	FRECUENCIA	
1	43	46	34	33	32	36	49	30	35	34	[Grid of 50x20 cells for rugosimeter readings, with 'X' marks indicating data points]																																																		1	1
2	38	30	34	31	30	35	28	30	36	15																																																			1	0
3	40	31	25	33	42	40	39	35	32	31																																																			2	0
4	37	27	30	35	48	37	43	32	28	31																																																			3	0
5	33	8	26	32	30	42	36	31	36	31																																																			4	1
6	34	43	28	33	33	25	32	31	35	31																																																			5	0
7	39	25	31	19	27	50	31	35	36	30																																																			6	1
8	36	22	25	27	36	30	32	36	34	35																																																			7	0
9	40	44	34	34	26	26	34	32	38	27																																																			8	1
10	40	10	28	34	35	32	21	29	38	30																																																			9	2
11	37	50	7	38	38	35	34	47	15	29																																																			10	0
12	39	38	5	38	50	37	34	30	43	28																																																			11	1
13	19	22	26	28	23	31	40	35	35	28																																																			12	0
14	25	27	21	34	46	24	46	35	37	35																																																			13	0
15	21	33	24	33	30	36	38	39	26	35																																																			14	0
16	27	27	25	32	37	33	32	32	32	32																																																			15	0
17	36	49	31	36	20	35	31	29	1	32																																																			16	2
18	38	8	35	44	27	27	29	29	37	29																																																			17	0
19	22	23	30	43	45	35	29	27	36	33																																																			18	1
20	17	26	26	24	32	26	27	41	27	38																																																			19	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	1																																																		
<b>FACTOR DE CORRECCIÓN</b> F.C. = 1.21											21	3																																																		
<b>CÁLCULO DEL VALOR DE "D"</b>											22	3																																																		
D = (Ei + CE + ES) x 5 mm											23	2																																																		
Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.											24	3																																																		
Ei = EXTREMO INFERIOR, CE = CENTRO, ES = EXTREMO SUPERIOR											25	6																																																		
<b>CÁLCULO DEL "IRI"</b>											26	8																																																		
D > 40 mm D < 40 mm											27	12																																																		
IRI = 0.593 + 0.0471D IRI = 0.0485D											28	7																																																		
<b>RESULTADOS</b>											29	7																																																		
Datos:											30	12																																																		
NÚMERO DE DATOS: 200.00											31	13																																																		
DATOS DESCARTADOS: 20.00											32	15																																																		
RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00											33	9																																																		
FACTOR DE CORRECCIÓN: 1.21											34	12																																																		
Resultado del IRI:											35	17																																																		
RANGO "D": 132.50 mm											36	12																																																		
RANGO CORREGIDO "Dcr": 160.33 mm											37	7																																																		
RUGOSIDAD IRI: 8.14 m/Km											38	10																																																		
Observaciones:											39	4																																																		
											40	5																																																		
											41	1																																																		
											42	2																																																		
											43	5																																																		
											44	2																																																		
											45	1																																																		
											46	3																																																		
											47	1																																																		
											48	1																																																		
											49	2																																																		
											50	3																																																		



CONVERSIÓN A DE "IRI" A "PSI"	
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL - IRI	8.144 m/Km
CONVERSIÓN A PSI	1.14
CLASIFICACIÓN DEL PSI	MALO

CONVERSIÓN A DE "PSI" A "PCI"	
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI	1.14
CONVERSIÓN A PCI	22.8
CLASIFICACIÓN DEL PCI	MUY MALO

# CARRIL IZQUIERDO



## UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025						
TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	I	PROGRESIVA:	Km 0+0.00 al Km 0+400.00	CARRIL:	IZQUIERDO
LONGITUD:	400.00 m	FECHA:	16/08/2025	OPERADOR:	BACH. BLAS ADUVIRE, L.F.	AUXILIAR:	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

LECTURA INICIAL: 37  
LECTURA FINAL: 22

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

FACTOR DE CORRECCIÓN F.C. = 0.80

**CÁLCULO DEL VALOR "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI-EXTREMO INFERIOR CE-CENTRO ES-EXTREMO SUPERIOR

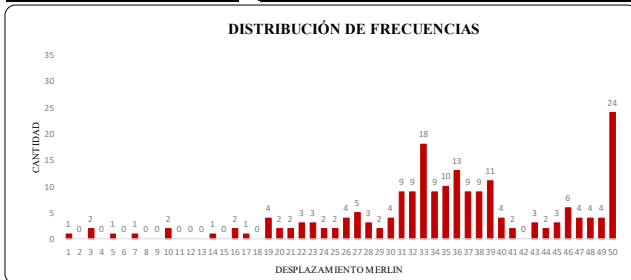
**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$      $D < 40 \text{ mm}$   
 $IRI = 0.593 + 0.047 \cdot D$      $IRI = 0.048SD$

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0.80

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 157.92 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dc": 126.33 mm  
**RUGOSIDAD IRI: 6.54 m/Km**

Observaciones:

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN		N° LECTURA	FRECUENCIA
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS			
1		1	1
2		2	0
3		3	2
4		4	0
5		5	1
6		6	0
7		7	1
8		8	0
9		9	0
10		10	2
11		11	0
12		12	0
13		13	0
14		14	1
15		15	0
16		16	2
17		17	1
18		18	0
19		19	4
20		20	2
21		21	2
22		22	3
23		23	3
24		24	2
25		25	4
26		26	4
27		27	6
28		28	3
29		29	2
30		30	4
31		31	9
32		32	9
33		33	18
34		34	9
35		35	10
36		36	13
37		37	9
38		38	9
39		39	11
40		40	4
41		41	2
42		42	3
43		43	3
44		44	6
45		45	4
46		46	4
47		47	4
48		48	4
49		49	4
50		50	24



CONVERSIÓN A DE "IRI" A "PSI"	
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL - IRI	6.543 m/Km
CONVERSIÓN A PSI	1.52
CLASIFICACIÓN DEL PSI	MALO

CONVERSIÓN A DE "PSI" A "PCI"	
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI	1.52
CONVERSIÓN A PCI	30.4
CLASIFICACIÓN DEL PCI	MALO





**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025</b>						
<b>TRAMO:</b>	II	<b>N° DE ENSAYO:</b>	III	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+800.00 al Km 1+200.00	<b>CARRIL:</b>	IZQUIERDO
<b>LONGITUD:</b>	400.00 m	<b>FECHA:</b>	16/08/2025	<b>OPERADOR:</b>	BACH. BLAS ADUVIRE, L.F.	<b>AUXILIAR:</b>	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

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

**FACTOR DE CORRECCIÓN F.C. = 0.80**

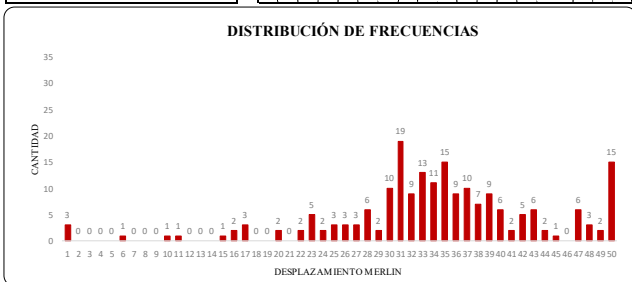
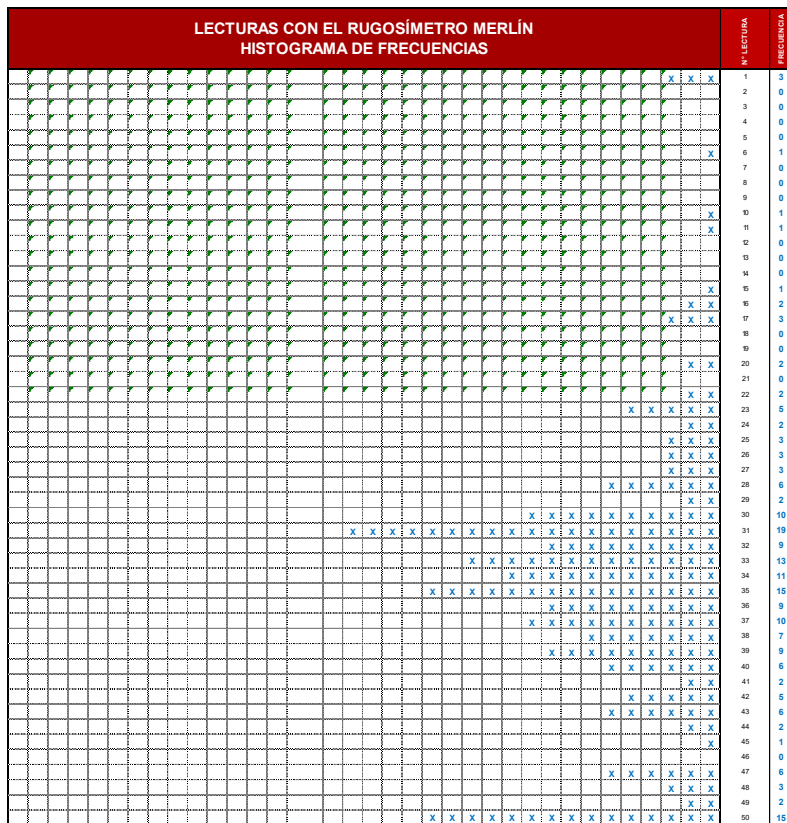
**CÁLCULO DEL VALOR "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI-EXTREMO INFERIOR CE-CENTRO ES-EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0.80

Resultado del IRI:  
**RANGO "D": 145.00 mm**  
**RANGO CORREGIDO "Dc": 116.00 mm**  
**RUGOSIDAD IRI: 6.06 m/Km**

Observaciones:



CONVERSIÓN A DE "IRI" A "PSI"	
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL - IRI	6.06 m/Km
CONVERSIÓN A PSI	1.66
CLASIFICACIÓN DEL PSI	MALO

CONVERSIÓN A DE "PSI" A "PCI"	
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI	1.66
CONVERSIÓN A PCI	33.2
CLASIFICACIÓN DEL PCI	MALO



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IRI ENTRE EL TELÉFONO INTELIGENTE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN, DANDO PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA AVENIDA TARAPACÁ DEL DISTRITO DE TACNA, 2025</b>						
<b>TRAMO:</b>	II	<b>N° DE ENSAYO:</b>	IV	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 1+200.00 al Km 1+600.00	<b>CARRIL:</b>	IZQUIERDO
<b>LONGITUD:</b>	400.00 m	<b>FECHA:</b>	16/08/2025	<b>OPERADOR:</b>	BACH. BLAS ADUVIRE, L.F.	<b>AUXILIAR:</b>	BACH. LIMACHE LAQUI, M.N.

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

**FACTOR DE CORRECCIÓN** F.C. = 0.89

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (Ei + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 Ei = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

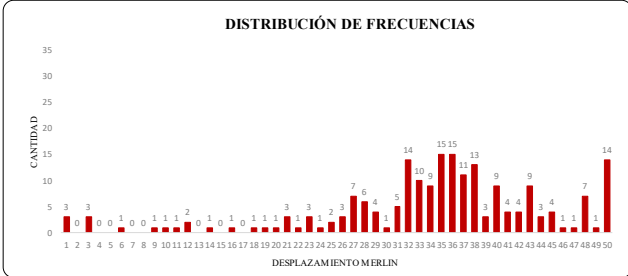
**RESULTADOS**

**Datos:**  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0.80

**Resultado del IRI:**  
**RANGO "D":** 176.43 mm  
**RANGO CORREGIDO "Dcr":** 141.14 mm  
**RUGOSIDAD IRI:** 7.24 m/Km

**Observaciones:**

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN																				N° LECTURA	FRECUENCIA
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																					
																				1	3
																				2	0
																				3	3
																				4	0
																				5	0
																				6	1
																				7	0
																				8	0
																				9	1
																				10	1
																				11	1
																				12	2
																				13	0
																				14	1
																				15	0
																				16	1
																				17	0
																				18	1
																				19	1
																				20	1
																				21	3
																				22	1
																				23	3
																				24	1
																				25	2
																				26	3
																				27	7
																				28	6
																				29	4
																				30	1
																				31	5
																				32	14
																				33	10
																				34	9
																				35	15
																				36	15
																				37	11
																				38	13
																				39	3
																				40	9
																				41	4
																				42	4
																				43	9
																				44	3
																				45	4
																				46	1
																				47	1
																				48	7
																				49	1
																				50	14



CONVERSIÓN A DE "IRI" A "PSI"		
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL - IRI		7.241 m/Km
CONVERSIÓN A PSI		1.34
CLASIFICACIÓN DEL PSI		MALO

CONVERSIÓN A DE "PSI" A "PCI"		
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE - PSI		1.34
CONVERSIÓN A PCI		26.8
CLASIFICACIÓN DEL PCI		MALO