

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



TESIS

**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
APLICANDO METODOLOGÍAS INTELIGENTES PARA
PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV.
LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN
LANCHIPA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2025”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. ALVARO MANUEL CAPACUTI TICONA

Bach. EBER WILLIAM FLOREZ CHOQUEPUMA

TACNA – PERÚ

2025

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

TESIS

**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
APLICANDO METODOLOGÍAS INTELIGENTES PARA
PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV.
LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN
LANCHIPA DE LA CIUDAD DE TACNA, 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 20 de diciembre del 2025, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

SECRETARIO : Mtro. ROSALI CRISTINA ALANIA COTRADO

VOCAL : Mtro. MILTON CESAR GORDILLO MOLINA

ASESOR : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Alvaro Manuel Capacuti Ticona identificado con DNI 71943151 y Eber William Florez Choquepuma identificado con DNI 76399918 en calidad de: Bachilleres en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, así como Omar Arturo Cutimbo Ticona con DNI 43536748; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos autores de la tesis titulada: *“Evaluación Superficial del Pavimento Flexible Aplicando Metodologías Inteligentes para Proponer Alternativas de Mantenimientos en La Av. los Molles del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la Ciudad de Tacna, 2025”* la misma que presentamos para optar: Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

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

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

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

Tacna, 20 de diciembre del 2025



Alvaro Manuel Capacuti Ticona
DNI: 71943151



Eber William Florez Choquepuma
DNI: 76399918



Omar Arturo Cutimbo Ticona
DNI: 43536748

DEDICATORIA

Expreso mi profunda gratitud a mis padres, Baldomero Capacuti y Adela Ticona. Su esfuerzo ejemplar y amor inagotable fueron el pilar fundamental que me permitió alcanzar este importante hito académico.

A mis hermanas, Aracelli y Rocío, les agradezco infinitamente por su motivación permanente y sus sabios consejos, esenciales para la realización de mis propósitos.

Alvaro Manuel Capacuti Ticona

Un agradecimiento a mi familia, por el respaldo ha sido fundamental en cada etapa de mi formación. A mis padres, Tiburcio Florez y Valentina Choqueque (que hoy descansa en paz), les debo la fortaleza, los valores y la motivación que me han impulsado a seguir adelante. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha guiado mi camino.

Asimismo, agradezco de manera especial a mis hermanos, quienes siempre depositaron su confianza en mí y me brindaron un apoyo.

Eber William Florez Choquepuma

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a mis mentores académicos y a los compañeros de clase de la Universidad Privada de Tacna. El apoyo que me brindaron y su motivación incesante me acompañaron en cada fase de mis estudios. Sus cátedras y recomendaciones enriquecieron notablemente mi recorrido por la universidad.

Extendemos un sincero agradecimiento a nuestro Asesor, el Mtro. Omar Cutimbo, por su inagotable paciencia y el aporte decisivo en la estructuración y culminación exitosa de este proyecto de investigación. De igual modo, expreso mi gratitud a Martín Isla, un destacado profesional cuya sabiduría y mentoría han sido fundamentales en mi desarrollo dentro del campo de la Ingeniería.

A Dios, fuente de toda iluminación y resguardo, por ser nuestro sustento y guía firme durante el desarrollo de este trayecto.

Alvaro Manuel Capacuti Ticona

Eber William Florez Choquepum

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del Problema.....	7
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos	7
1.3. Justificación e Importancia	7
1.3.1. Justificación teórica	9
1.3.2. Justificación práctica.	9
1.3.3. Justificación metodológica.....	9
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. Hipótesis	10
1.5.1. Hipótesis General.....	10
1.5.2. Hipótesis Específicas	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes del estudio	12
2.1.1. A nivel Internacional	12
2.1.2. A nivel Nacional.....	13
2.1.3. A nivel Local	15
2.2. Bases Teóricas.....	17
2.2.1. Rugosidad del pavimento flexible	17
2.2.2. Transitabilidad	17

2.2.3. Serviciabilidad	17
2.2.4. Rugosidad	18
2.2.5. Causas posibles de la rugosidad en el pavimento	19
2.2.6. Clasificación de los Pavimentos	23
2.2.7. Fallas en el Pavimento Flexible	27
2.2.8. Metodologías para la obtención de la rugosidad	38
2.2.9. Rugosímetro de Merlín	39
2.2.10. Procedimiento de ensayo del Índice Internacional de Rugosidad	40
2.2.11. Aplicación de teléfonos inteligentes	47
2.2.12. TotalPave	49
2.2.13. RoadBounce	60
2.3. Definición de términos	66
2.3.1. Rugosidad	66
2.3.2. TotalPave	66
2.3.3. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	66
2.3.4. RoadBounce	66
2.3.5. Rugosímetro MERLIN	67
2.3.6. Transitabilidad	67
2.3.7. Regularidad superficial	67
2.3.8. Índice de serviciabilidad	67
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	68
3.1. Diseño de investigación	68
3.2. Acciones y actividades	68
3.3. Materiales y/o instrumentos	71
3.3.1. Rugosímetro modelo TCP-065 (Merlin):	71
3.3.2. Teléfono inteligente Redmi 13C	72
3.3.3. Aplicativo TotalPave	73
3.3.4. Aplicativo ROADBOUNCE	74
3.3.5. Vehículo de la marca Hilux del año o similar en peso:	74
3.4. Población y/o muestra de estudio	75
3.4.1. Población	75
3.4.2. Muestra	75
3.5. Operacionalización de las variables	76
3.6. Procesamiento y análisis de datos	76
3.6.1. Procedimiento para la evaluación de superficie con el dispositivo MERLÍN	76
3.6.2. Procedimiento para la evaluación de superficie con el dispositivo Totalpave	79

3.6.3. Procedimiento para la evaluación de superficie con el dispositivo RoadBounce.....	84
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	89
4.1. Resultados de los valores IRI obtenidos por el rugosímetro de Merlín	89
4.1.1. Datos <i>obtenidos</i> del rugosímetro de Merlín	89
4.2. Resultados de los valores IRI obtenidos del aplicativo TotalPave	109
4.2.1. Datos obtenidos del aplicativo TotalPave	110
4.3. Resultados del valor IRI obtenido del aplicativo RoadBounce	114
4.3.1. Datos obtenidos del aplicativo RoadBounce	114
4.3.2. Proponer el estado del pavimento conforme con el valor del IRI obtenido mediante el rugosímetro de Merlín	117
4.4. Comparación del IRI obtenido con las metodologías rugosímetro de Merlín, aplicativo TotalPave y RoadBounce	118
4.5. Análisis de la serviciabilidad y transitabilidad obtenida con el rugosímetro de Merlín, TotalPave y RoadBounce para proponer el estado del pavimento.....	119
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	122
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
ANEXOS.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de niveles del Índice de Serviciabilidad	18
Tabla 2. Valores IRI (m/km) Internacionalmente aplicados	21
Tabla 3. Valores IRI	22
Tabla 4. Tabla normativa para los valores de IRI según el tipo de calzada.....	23
Tabla 5. Registros generados por el sistema TotalPave tras la evaluación.....	57
Tabla 6. Cuadro Resumen de los Valores IRI obtenido con el rugosímetro de Merlín	109
Tabla 7. Datos IRI obtenido con el aplicativo TotalPave - calzada derecho	110
Tabla 8. Datos IRI adquiridos con el aplicativo TotalPave - calzada izquierda.....	112
Tabla 9. Cuadro resumen de los Valores IRI obtenido con el aplicativo TotalPave cada 400m.....	114
Tabla 10. Datos IRI adquirido con el aplicativo RoadBounce calzada derecha.....	115
Tabla 11. Datos IRI obtenido con el aplicativo RoadBounce calzada izquierda	116
Tabla 12. Cuadro resumen de los Valores IRI obtenido - aplicativo RoadBounce cada 400m.....	117
Tabla 13. Rango de valores.....	117
Tabla 14. Clasificación según la rugosidad del estado del pavimento – rugosímetro de Merlín.....	118
Tabla 15. Cuadro Comparativo porcentual de similitud IRI con las metodologías aplicadas	118
Tabla 16. Cuadro Comparativo porcentual de similitud IRI con las metodologías aplicadas	119
Tabla 17. Clasificación de la Serviciabilidad de pavimento	119
Tabla 18. Resultados de la Serviciabilidad – Transitabilidad del Rugosímetro de Merlín	120
Tabla 19. Resultados de la Serviciabilidad – Transitabilidad del aplicativo TotalPave	121
Tabla 20. Resultados de la Serviciabilidad – transitabilidad del aplicativo RoadBounce	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Via estudiada, Av. Los Molles, L=2,30 Km.....	4
Figura 2. Gráfico del perfil del área de investigación la calzada izquierda Av. Los Molles	4
Figura 3. Gráfico del perfil del área de investigación la calzada derecha Av. Los Molles	5
Figura 4. Ruta donde se manifiesta el deterioro superficial en la Av. Los Molles	5
Figura 5. Vía investigada, presencia de fallas en la Av. Los Molles	6
Figura 6. Vía estudiada, deterioro de la capa superficial del pavimento	6
Figura 7. Escala del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/km	21
Figura 8. Sección típica de pavimento flexible	24
Figura 9. Sección típica de pavimento rígido	25
Figura 10. Piel de cocodrilo	28
Figura 11. Agrietamiento en bloque	29
Figura 12. Agrietamiento en bloque	29
Figura 13. Depresión	30
Figura 14. Huecos en el pavimento	30
Figura 15. Huecos en el pavimento	31
Figura 16. Desplazamientos	32
Figura 17. Hinchamiento	32
Figura 18. Exudación	33
Figura 19. Corrugación	33
Figura 20. Grieta de borde	34
Figura 21. Grieta de reflexión de Junta	34
Figura 22. Desnivel carril/berma	35
Figura 23. Grieta longitudinal y transversal	35
Figura 24. Parcheos y acometida de servicio público	36
Figura 25. Pulimientos de agregado	36
Figura 26. Cruce de vía férrea	37
Figura 27. Grieta parabólica	37
Figura 28. Desprendimiento de agregado	38
Figura 29. Equipos y métodos de medición de la regularidad	40
Figura 30. Rugosímetro Merlín con sus elementos	40
Figura 31. Esquema de pie y patín del Merlín	41

Figura 32. Formato de recolección de datos.....	43
Figura 33. Histograma de la distribución de frecuencias.....	45
Figura 34. Porcentaje de la población que se conectó a internet a través del móvil	48
Figura 35. Logo del aplicativo TotalPave	51
Figura 36. Interfaz del aplicativo TotalPave	51
Figura 37. Alineamiento del equipo móvil en el soporte del parabrisas.....	52
Figura 38. Procedimiento empleado para ajustar y nivelar adecuadamente el dispositivo antes de iniciar la medición.....	53
Figura 39. Interfaz principal del aplicativo TotalPave.	54
Figura 40. Soporte del teléfono asegurado en el parabrisas.....	57
Figura 41. Herramienta de nivelación del dispositivo móvil.....	58
Figura 42. Registro del IRI en los segmentos de la vía.	59
Figura 43. Registros IRI.	61
Figura 44. Logo oficial del aplicativo RoadBounce.....	62
Figura 45. Montaje y alineación del dispositivo en el parabrisas.....	62
Figura 46. Interfaz de registro de datos durante el recorrido.....	63
Figura 47. Mapa de rugosidad representado en colores según IRI.....	64
Figura 48. Exportación del archivo CSV con valores de IRI.....	65
Figura 49. Equipo de Rugosímetro Merlín	72
Figura 50. Equipo móvil utilizado para la medición	73
Figura 51. Aplicativo Totalpave utilizado en la investigación.....	73
Figura 52. Aplicativo RoadBounce utilizado en la investigación.....	74
Figura 53. Vehículo Toyota Hilux empleado en el registro de la rugosidad vial	75
Figura 54. Registro de lecturas con el rugosímetro MERLÍN.	80
Figura 55. Dispositivo móvil instalado en la zona central del parabrisas.....	82
Figura 56. Pantalla de recolección de datos del aplicativo TotalPave.....	82
Figura 57. Registros obtenidos en TotalPave listos para descarga.....	83
Figura 58. Aplicación RoadBounce empleada durante el estudio.	85
Figura 59. Toma de lecturas en carriles de subida y bajada usando RoadBounce.....	86
Figura 60. Exportación de los datos obtenidos desde RoadBounce.	87
Figura 61. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 0+000 al 0+400.....	92
Figura 62. Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 0+000 al 0+400.	90
Figura 63. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 0+400 al 0+800.....	91

Figura 64. Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 0+400 al 0+800	92
Figura 65. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 0+800 al 1+200	93
Figura 66. Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 0+800 al 1+200	93
Figura 67. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 1+200 al 1+600	94
Figura 68. Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 1+200 al 1+600	95
Figura 69. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 1+600 al 2+000	96
Figura 70. Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 1+600 al 2+000	99
Figura 71. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 2+000 al 2+300	100
Figura 72. Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 2+000 al 2+300	100
Figura 73. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 0+000 al 0+400	99
Figura 74. Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 0+000 al 0+400	99
Figura 75. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 0+400 al 0+800	100
Figura 76. Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 0+400 al 0+800	103
Figura 77. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 0+800 al 1+200	102
Figura 78. Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 0+800 al 1+200	102
Figura 79. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 1+200 al 1+600	103
Figura 80. Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 1+200 al 1+600	104
Figura 81. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 1+600 al 2+000	105

Figura 82. Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 1+600 al 2+000	106
Figura 83. Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 2+000 al 2+300	107
Figura 84. Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 2+000 al 2+300	107
Figura 85. Valores IRI cada 100 m en la calzada derecha.....	111
Figura 86. Trayecto por la calzada derecha usando el aplicativo TotalPave.....	111
Figura 87. Valores IRI cada 100 m en la calzada izquierda	113
Figura 88. Desplazamiento por la calzada izquierda utilizando aplicativo TotalPave.....	113
Figura 89. Variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha.....	115
Figura 90. Variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha.....	116

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	137
Anexo 2. Reporte de aplicativo TotalPave	139
Anexo 3. Reporte de aplicativo RoadBounce.....	141

RESUMEN

La finalidad primordial del presente estudio es diagnosticar y evaluar superficialmente el pavimento flexible aplicando metodologías inteligentes de evaluación para proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025. La investigación optó por un método ágil y poco complejo que implica el empleo de *software* instalado en dispositivos móviles. Para conseguir el IRI, se utilizaron dos aplicaciones: TotalPave (un desarrollo reciente de origen canadiense) e IRI Rugosidad Vial. Aunque la licencia de estas *apps* conlleva un costo, su aplicación permite medir y establecer la rugosidad superficial del pavimento de una forma sencilla, rápida y coste-efectiva. Este proceso se adhiere a las directrices establecidas en el Manual de Conservación Vial y la Norma CE 010 Pavimentos Urbanos. Para calcular el Índice de Regularidad Internacional (IRI) del pavimento en la Avenida Los Molles, se empleó un teléfono inteligente iPhone 15 Plus que fue fijado dentro de un vehículo Toyota, manteniendo un rango de velocidad de desplazamiento entre 30 y 50 kilómetros por hora. El IRI fue determinado en la calzada mediante la integración de los *softwares* TotalPave y RoadBounce, utilizando los criterios de medición del Rugosímetro de Merlín. El análisis resultante permite aconsejar la ejecución de tareas de conservación vial directamente sobre la capa superficial de asfalto.

Palabras clave: Índice de rugosidad; pavimento flexible; Transitabilidad; total pave; Índice de serviciabilidad.

ABSTRACT

The primary purpose of this study is to diagnose and superficially evaluate the flexible pavement by applying intelligent assessment methodologies to identify maintenance alternatives on Av. Los Molles in the district of Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna-2025. The research opted for an agile and straightforward method that involves the use of software installed on mobile devices. To obtain the IRI, two applications were used: TotalPave (a recent Canadian development) and IRI Road Roughness. Although the licenses for these apps incur a cost, their application allows for measuring and determining the surface roughness of the pavement in a simple, fast, and cost-effective manner. This process adheres to the guidelines established in the Road Maintenance Manual and the CE 010 Standard for Urban Pavements. To calculate the International Roughness Index (IRI) of the pavement on Los Molles Avenue, an iPhone 15 Plus smartphone was used, which was secured inside a Toyota vehicle, maintaining a travel speed range between 30 and 50 kilometers per hour. The IRI was determined on the roadway through the integration of the TotalPave and RoadBounce software, using the measurement criteria of the Merlin Roughness Meter. The resulting analysis allows for recommending road maintenance tasks directly on the asphalt surface layer.

Keywords: Roughness index; flexible pavement; trafficability; total pave; serviceability index.

INTRODUCCIÓN

En la infraestructura vial en Tacna, el ciclo de vida proyectado del pavimento se ve comprometida debido a la influencia de múltiples agentes externos que provocan su deterioro prematuro. El pavimento, al igual que cualquier otra estructura, está sujeto a un proceso de deterioro gradual. Este proceso de deterioro conduce eventualmente a la aparición de fallas, como grietas, deformaciones o desgaste, dichos desperfectos son consecuencia potencial de un planteamiento de diseño impropio, de la ejecución constructiva errónea, o de la selección de materiales subestándar, agentes climáticos, entre otros que afectan la calidad del rodaje y aumentando el costo tanto para los usuarios como para el mantenimiento.

La Avenida Los Molles, inaugurada con su pavimento en 2016, abarca una extensión de 4.1 kilómetros. La vía está compuesta por dos carriles por sentido, sumando un ancho total de 6 metros por cada calzada.

Actualmente, no se ha llevado a cabo ninguna labor de conservación preventiva en esta arteria. El crecimiento demográfico experimentado por el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa a lo largo de los años ha intensificado significativamente la carga del transporte urbano, lo que ha acelerado la degradación del asfalto. El firme flexible hoy muestra diversas imperfecciones como rugosidad superficial, la aparición de baches, y fisuras tanto longitudinales como transversales. Ante este panorama, resulta crucial determinar la condición actual de la capa asfáltica utilizando técnicas modernas y económicas que, a su vez, garanticen la confiabilidad de los resultados.

Para verificar la funcionalidad de la Avenida Los Molles, esta tesis incorpora la medición del uso del Rugosímetro de Merlín y dos aplicaciones instaladas en *smartphones*: TotalPave y RoadBounce. Los datos recopilados facilitan la clasificación del Se evaluará la condición operativa y la capacidad de tránsito de la vía, tomando como referencia el valor obtenido del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

La presente tesis consta de cinco capítulos; el capítulo uno de la tesis inicia con la exposición del problema a investigar y la definición de la formulación del problema. Posterior se detalla la justificación del estudio, por consiguiente, la determinación de los objetivos generales y específicos. Además, en esta parte se definen los propósitos de la tesis junto con las posibles soluciones planteadas hipótesis principales y secundarias.

El Tercer Capítulo está dedicado al diseño metodológico del estudio. En él, se aborda el tipo y nivel de investigación, la definición de la población, la muestra, la definición operativa de las variables, y los procedimientos empleados para la recolección y el procesamiento de la información.

Cuarto capítulo, se da a conocer los datos obtenidos con la metodología del rugosímetro de Merlín, aplicativo TotalPave y RoadBounce.

Quinto capítulo, se logra exponer los resultados mediante la confrontación de las metodologías revisadas a través de una tabla comparativa, lo que facilita el análisis de los datos empíricos.

El trabajo concluye con la exposición del estudio de conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El problema en la infraestructura vial en Tacna, diversos elementos desencadenan deterioros en la calzada mucho antes de alcanzar su período de servicio programado. El pavimento, al igual que cualquier otra estructura, está sujeto a un proceso de deterioro gradual. Este proceso de deterioro conduce eventualmente a la aparición de fallas, como grietas, deformaciones o desgaste, los errores podrían estar vinculados a una planificación deficiente, errores constructivos, mala calidad en los materiales, agentes climáticos, entre otros que afectan la calidad del rodaje y aumentando el costo tanto para los usuarios como para el mantenimiento.

La condición operativa de la calzada no solo afecta la calidad del rodaje y aumentan los costos de mantenimiento. Además del mal estado del pavimento puede causar daños a los vehículos que transitan sobre él, esto incrementa los gastos tanto para los dueños de automóviles como para la colectividad.

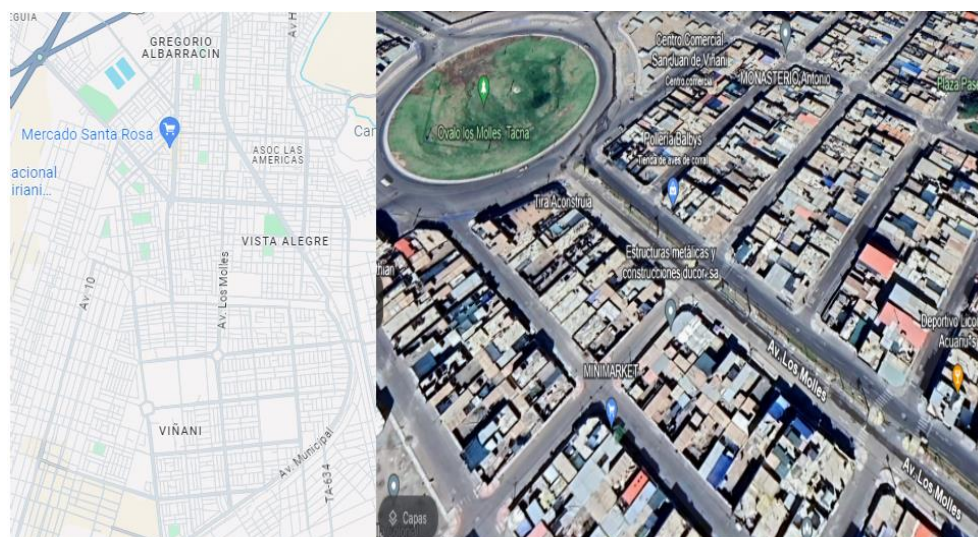
La avenida Los Molles fue pavimentada en el año 2016 de una longitud de 2,7 km, de dos calzadas compuesto por dos carriles en cada sentido, con un ancho de calzada de 6 m, como se aprecia en la Figura 1 y 2, a la actualidad no se realizó un cuidado periódico de la calzada en mención, la degradación de la superficie vial podría volverse severa o manifestar una intensidad considerable, así mismo a raíz de los años el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa registro un aumento demográfico es así; que se vio intensificando el transporte urbano.

Dado este panorama, es crucial verificar el estado actual del pavimento bituminoso. Por ello, se recurrirá a estrategias de evaluación económicas y contemporáneas, que a su vez garanticen la fiabilidad de los resultados. Específicamente, se emplearán los aplicativos TotalPave y RoadBounce en función al rugosímetro de Merlín, para comprobar la operatividad de la Avenida Los Molles; lo cual se puede apreciar en la Figura 3 y 4.

Por esta razón en esta investigación se procura, evaluar el índice de rugosidad IRI se usará la aplicación TotalPave y RoadBounce, se puede observar en la Figura 5 y 6, haciendo uso de un dispositivo móvil inteligente para proponer alternativas de mantenimiento para avenida Los Molles y la situación actual de la capa de rodadura de la vía.

Figura 1

Via estudiada, Av. Los Molles, L=2,30 Km



Nota. La figura ilustra la ubicación donde se llevó a cabo la investigación, con fuente en Google Earth.

Figura 2

Gráfico del perfil del área de investigación la calzada izquierda Av. Los Molles



Nota. La figura muestra la vista en perfil del carril izquierdo de la avenida Los Molles, donde se distinguen las dos calzadas que conforman la vía.

Figura 3

Gráfico del perfil del área de investigación la calzada derecha Av. Los Molles



Nota. La figura muestra la vista en perfil de la calzada derecha en la avenida Los Molles, en el cual distinguen las dos calzadas que conforman la vía.

Figura 4

Ruta donde se manifiesta el deterioro superficial en la Av. Los Molles



Nota. La figura 3 y 4 se muestra la existencia de rugosidades en la alineación longitudinal de la avenida Los Molles.

Figura 5

Vía investigada, presencia de fallas en la Av. Los Molles



Nota. En la imagen adjunta presenta la existencia de daños y deterioros en la calzada

Figura 6

Vía estudiada, deterioro de la capa superficial del pavimento



Nota. En la imagen adjuntar se aprecia el desgaste visible en la capa de rodadura correspondiente a la superficie vial.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de metodologías inteligentes influye en la evaluación de la condición superficial para proponer las alternativas de mantenimiento del pavimento flexible en la avenida Los Molles - distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna - 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo la metodología de evaluación del pavimento flexible mediante el Rugosímetro de merlín, TotalPave y RoadBounce permitirá proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025?
- b. ¿Cuáles son las alternativas de mantenimiento más adecuado para pavimento flexible en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025?
- c. ¿De qué manera influyen los resultados de las metodologías Rugosímetro de Merlín, Total Pave y RoadBounce en proponer alternativas de mantenimiento en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025?

1.3. Justificación e Importancia

La Avenida Los Molles, ubicada en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna, constituye una vía urbana de alto tránsito vehicular que actualmente presenta un deterioro progresivo del pavimento flexible. Las irregularidades superficiales resultantes que menoscaban la eficiencia del traslado, la seguridad y el confort del transporte dentro de la ciudad son causadas primordialmente por el aumento del flujo de vehículos pesados, la influencia de factores climatológicos, y la falta de una conservación vial regular y apropiada.

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC., 2014) define que el proceso de evaluación funcional del pavimento debe realizarse mediante indicadores que permitan cuantificar su nivel de servicio, siendo el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) uno de los parámetros más representativos para determinar la calidad superficial y funcional de una vía.

El IRI (World Bank, 1986), se originó a partir del Experimento Internacional de Rugosidad de Carreteras. El fin de este proyecto fue crear un patrón de referencia (un estándar) para la calibración y correlación de los instrumentos que miden la irregularidad longitudinal de la calzada. Esto permite contrastar las mediciones realizadas con diferentes dispositivos y procedimientos en cualquier parte del mundo. Como resultado, el índice se ha erigido en un recurso esencial para la administración de proyectos de conservación, ya que representa fielmente cómo interactúan el vehículo y la superficie de la vía.

En el presente estudio se aplicarán tres instrumentos para la determinación del IRI: el rugosímetro MERLIN, reconocido por su validez técnica y precisión en la medición de rugosidad superficial (Transport Research Laboratory, 1993) y dos aplicativos móviles inteligentes, TotalPave y RoadBounce, los cuales representan una innovación tecnológica en la evaluación de pavimentos.

La aplicación TotalPave, de origen canadiense, permite registrar y procesar datos de aceleración y posición mediante los sensores internos de teléfonos inteligentes, obteniendo resultados confiables y comparables con equipos tradicionales (TotalPave Technologies, 2023). De igual forma, el aplicativo RoadBounce, desarrollado por *Definitics Software Solutions Pvt. Ltd.*, posibilita medir la rugosidad vial mediante el análisis de las aceleraciones verticales del vehículo, generando resultados geoetiquetados que facilitan la identificación de tramos deteriorados (Definitics Software Solutions Pvt. Ltd., 2023).

La implementación de estos instrumentos permitirá evaluar de manera precisa, y accesible del estado de la capa de rodadura de la vía ubicada en la Avenida Los Molles, mediante la comparación de los resultados obtenidos por el rugosímetro MERLIN, instrumento avalado internacionalmente con los generados por los aplicativos móviles TotalPave y RoadBounce. Este enfoque proporcionará evidencia técnica sobre la confiabilidad y aplicabilidad de las herramientas inteligentes en la gestión vial urbana, especialmente en contextos con recursos económicos y tecnológicos limitados.

Asimismo, la investigación reviste importancia técnica, económica y social, al promover la incorporación de tecnologías móviles en la ingeniería civil orientada al mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Los datos obtenidos permitirán analizar la funcionalidad vehicular del campo de estudio y formular propuestas de intervención orientadas del pavimento, contribuyendo a la optimización de los recursos municipales, la mejora de optimizar las condiciones de seguridad en la vía y el fortalecimiento de la gestión de infraestructura urbana en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa.

1.3.1. Justificación teórica

Los fundamentos teóricos y las nociones conceptuales relativas al empleo de dispositivos móviles avanzados, dotados de aplicaciones que miden la irregularidad del firme (como TotalPave), serán esenciales para fundamentar las razones de la incomodidad experimentada por los usuarios en la vía analizada. Dichos principios permitirán explicar cómo la aspereza del pavimento afecta la calidad del desplazamiento en la ubicación estudiada.

1.3.2. Justificación práctica.

Los propósitos definidos en este estudio permitirán proponer medidas concretas para abordar la irregularidad del pavimento. Para ello, se aplicarán dispositivos móviles inteligentes utilizando *apps* como TotalPave y RoadBounce. Los datos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) que se obtengan de estas herramientas son válidos para evaluar tanto la condición funcional de la calzada como la idoneidad para la circulación vehicular.

1.3.3. Justificación metodológica.

El proceso de evaluación requerirá la implementación de las aplicaciones TotalPave y RoadBounce, ambas sujetas a un costo de licencia. El objetivo es cuantificar la irregularidad del pavimento de manera sencilla, expedita y viable económicamente. Al mismo tiempo, esta metodología se adhiere a las directrices establecidas en el manual de conservación vial y a la Norma CE 010 Pavimentos Urbanos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar superficialmente el pavimento flexible aplicando metodologías inteligentes de evaluación para proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

A continuación, se presentan los objetivos específicos.

- a. Calcular el valor IRI con Rugosímetro de merlín, TotalPave y RoadBounce que permitirá proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2025.
- b. Proponer las alternativas de mantenimiento más adecuado a la situación del pavimento flexible en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2025.
- c. Determinar cómo los resultados obtenidos mediante las metodologías Rugosímetro de Merlín, TotalPave y RoadBounce pueden influir en proponer alternativas de mantenimiento en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.

1.5. Hipótesis

La aplicación de metodologías inteligentes de evaluación superficial al pavimento flexible permitirá determinar su condición actual para proponer alternativas de mantenimientos en la avenida Los Molles - Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.

1.5.1. Hipótesis General

La aplicación de metodologías inteligentes de evaluación superficial al pavimento flexible permitirá determinar su condición actual para proponer alternativas de mantenimientos en la avenida Los Molles - Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa - Tacna, 2025.

1.5.2. Hipótesis Específicas

A continuación, se presentan las hipótesis específicas.

- a. El Valor IRI obtenido mediante el Rugosímetro de merlín permitirá en proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2025
- b. Al implantar las alternativas de mantenimiento prolongara la vida útil del pavimento flexible en la Av. Los Molles del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2025
- c. Los resultados obtenidos a través de las metodologías Rugosímetro de Merlín, TotalPave y RoadBounce influyen significativamente en la

determinación de alternativas de mantenimiento en la Av. Los Molles del
Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2025

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. A nivel Internacional

Staniek (2021) "Road pavement condition diagnostics using Smartphone-based data crowdsourcing in smart cities". El trabajo de Staniek se orienta a la valoración de una propuesta tecnológica denominada "herramienta de condición del camino". Esta innovación se basa en el aprovechamiento de datos de móviles dentro del entorno del transporte. El dispositivo que ideó el autor posibilita la detección y el diagnóstico de las imperfecciones en el firme vial, gracias a la monitorización del comportamiento cinético de los vehículos en la red. Los participantes del tráfico, al portar un *smartphone*, capturan y remiten al servidor RCT información consolidada sobre aceleraciones lineales, velocidad y localización. La información consolidada es sometida a procesamiento según un parámetro que fusiona el tiempo y la geolocalización. El resultado es un índice que calcula la calidad del servicio del pavimento en tramos de 10 metros, los cuales están previamente establecidos en el Sistema de Gestión de Pavimentos (PMS) de la entidad administradora de las vías urbanas.

Cameron (2012) "Innovative means of collecting international roughness index using Smartphone technology", abordó la problemática del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), una métrica de desempeño del pavimento de amplia aceptación que usualmente se recopila con vehículos altamente especializados. A pesar de su utilidad, el elevado costo asociado a la adquisición de estos datos a menudo restringe la capacidad de algunas administraciones viales para obtenerlos. Este contexto ha impulsado el uso de diferentes tecnologías en dispositivos de *smartphones* como una alternativa móvil de bajo desembolso. La investigación se enfocó en contrastar el valor del IRI de un desplazamiento constante con el IRI calculado por el acelerómetro de un teléfono inteligente. El examen se realizó a lo largo de un segmento de 1 km de carretera en New Brunswick, Canadá. Además, el estudio dispuso cuatro escenarios de prueba para examinar cómo factores como el tipo de vehículo, el elaborador del equipo, la configuración del montaje y la velocidad afectaban los hallazgos. Se encontró una fuerte correlación del 88,9% entre los datos del móvil y los recogidos por el perfilador inercial en incrementos de 100 metros. Los distintos escenarios produjeron valores promedio de IRI que variaron desde un 0,8% hasta un 85% de desviación respecto al IRI promedio de referencia de 2,60 m/km medido con el perfilador. Cabe destacar que el dispositivo

móvil presentó un coeficiente de variación (CV) sustancialmente mayor, oscilando entre 2,05 y 9,11, en contraste con el 1,12 del equipo de medición.

Según Peralta (2023) realizó la investigación titulada “Análisis del índice de rugosidad internacional de la superficie del pavimento flexible de la vía Colimes–Paján, utilizando equipos inteligentes”, con el objetivo de evaluar la regularidad superficial del pavimento mediante la aplicación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) empleando tecnologías móviles. El estudio se desarrolló en el tramo comprendido entre la intersección de la vía Colimes y el monumento de las Golondrinas, ubicado en el cantón Paján, Ecuador, con la finalidad de analizar las condiciones de la superficie del pavimento y comparar los resultados obtenidos mediante aplicaciones móviles especializadas. La metodología utilizada consistió en la recopilación de datos a través de aplicaciones instaladas en teléfonos inteligentes, específicamente IRI Calculator y TotalPave, las cuales emplean sensores integrados en los dispositivos móviles, como el acelerómetro y el sistema de posicionamiento global (GPS), para registrar las variaciones de la superficie del pavimento durante el desplazamiento. Estas herramientas tecnológicas representan una alternativa accesible y de bajo costo frente a los equipos especializados que se utilizan tradicionalmente para medir la rugosidad de las carreteras.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación TotalPave evidenciaron valores de rugosidad que oscilaron entre 1,87 m/km y 7,11 m/km, mientras que con la aplicación IRI Calculator se registraron valores entre 2,26 m/km y 5,11 m/km. A partir de estos datos se estableció una relación con el índice de serviciabilidad del pavimento, obteniéndose un valor aproximado de 3,51, lo cual indica que la vía presenta condiciones de transitabilidad aceptables; sin embargo, algunos tramos presentan deterioro que requiere intervenciones de mantenimiento. Finalmente, el autor concluye que el uso de aplicaciones móviles constituye una herramienta tecnológica viable para la evaluación preliminar del estado superficial de las vías, ya que permite identificar sectores con mayor deterioro y facilita la planificación de acciones de mantenimiento vial orientadas a mejorar las condiciones de servicio y seguridad del pavimento.

2.1.2. A nivel Nacional

Rios & Torres (2022) el presente trabajo de tesis “Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura. Busca ayudar en el proceso de evaluación del IRI de manera veloz y eficaz. Permite cuantificar la calidad de la rodadura en todo tipo de carreteras, lo que a su vez

facilita la determinación de un nivel de servicio vial preciso. Actualmente, la infraestructura de transporte resulta indispensable para movilizar tanto a ciudadanos como a mercancías vitales, utilizando tantos vehículos personales como transporte público. La carencia de un plan de conservación y conservación habitual provoca una aceleración severa en la degradación de la capa superficial, haciendo inevitable la necesidad de una reconstrucción completa de la vía. El registro del IRI a través del uso de aplicaciones instaladas en dispositivos móviles (smartphones) se presenta como una herramienta valiosa para establecer la calidad de la rodadura. Esta metodología puede fundamentar la propuesta de planes de rehabilitación o conservación en diversas arterias viales, ofreciendo un sistema de evaluación ágil y económicamente viable. El estudio se concentrará en la vía PE 18A, que sirve de conexión entre Tingo María y Huánuco. En este tramo se calculará el IRI utilizando las aplicaciones la app Abakal y Total Pave. El tramo vial seleccionada posee una sección longitudinal compuesta por dos carriles por cada dirección de tránsito. Dada su posición como única conexión terrestre entre estas dos localidades, la demanda de tráfico en esta carretera es extremadamente alta.

Fernandez (2021) en la presente tesis de estudio denominado: "Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la Avenida Ejército utilizando la aplicación Roadroid en Andahuaylas, 2021". El propósito primordial de esta investigación fue cuantificar el IRI y establecer el nivel de serviciabilidad de la Avenida Ejército en la provincia de Andahuaylas, empleando la herramienta móvil Roadroid. El segmento vial seleccionado para el muestreo comprendió la totalidad de la Avenida Ejército, iniciando a la altura del sector Martinelli (Andahuaylas) y extendiéndose hacia la cuadra anterior al mercado (San Jerónimo). La naturaleza de la investigación es experimental-aplicativa, ya que se basa en una evaluación directa en campo para la obtención de los resultados, utilizando la mencionada aplicación en un dispositivo inteligente. Como conclusión principal, se estableció que el IRI promedio estimado para el carril derecho fue de 1,49 m/km y de 1,41 m/km para el lado izquierdo, arrojando un promedio general de 1,45 m/km en ambos sentidos. Este valor sitúa la condición del pavimento en la condición BUENO, indicando un bajo nivel de rugosidad. Consecuentemente, el valor PSI que reporta el pavimento también fue calificado como BUENO.

Romero & Calderon (2023), realizaron el estudio titulado "Aplicación de un sistema de gestión de pavimentos (SGP) con datos automatizados por medio del aplicativo TotalPave, bajo el uso del índice de rugosidad (IRI) y el índice de condición del pavimento (PCI) para la determinación del estado situacional actual del pavimento rígido en la Av. 28 de Julio de la ciudad de Tingo María". La investigación tuvo como finalidad

analizar el estado actual del pavimento rígido mediante la implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos, empleando herramientas tecnológicas que permitan evaluar de manera más eficiente el deterioro de la infraestructura vial. Para el desarrollo del estudio se realizó el reconocimiento de las condiciones del pavimento en el tramo analizado y posteriormente se utilizó el aplicativo TotalPave, el cual permite registrar información mediante sensores integrados en dispositivos móviles. A partir de esta herramienta se calcularon los indicadores Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y Índice de Condición del Pavimento (PCI), parámetros utilizados comúnmente para determinar el nivel de deterioro y la calidad de servicio de las vías.

Los resultados obtenidos evidenciaron un IRI de 8,16 m/km, valor que indica que el pavimento presenta un estado muy malo. Asimismo, el PCI obtenido fue de 43, lo que clasifica la condición del pavimento como regular. Al comparar este valor con el método tradicional de evaluación se obtuvo un PCI de 42, mostrando resultados muy cercanos entre ambos procedimientos. De igual manera, el análisis estadístico permitió identificar una relación entre el IRI y el PCI con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,6871$, lo cual demuestra que ambos indicadores presentan una asociación significativa para la evaluación del estado del pavimento.

En conclusión, los autores señalan que el uso de aplicaciones tecnológicas como TotalPave constituye una alternativa eficiente para el análisis de las condiciones del pavimento, ya que permite obtener información en menor tiempo y contribuye a la planificación adecuada de actividades de mantenimiento y rehabilitación vial.

2.1.3. A nivel Local

Según Lozano y Mamani (2021) en la tesis “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. La investigación se centró en la cuantificación de la rugosidad del pavimento flexible en la Avenida Antúnez de Mayolo. Para este propósito, se emplearon teléfonos inteligentes como herramienta de medición, utilizando las aplicaciones móviles Roadroid y Abakal. Los datos arrojados por el software Roadroid revelaron que el valor promedio del IRI en la vía de descenso fue de 4,66 m/km, mientras que para la vía de ascenso el promedio fue de 4,49 m/km. Posteriormente, se determinaron los valores del IRI utilizando la aplicación Abakal. Con esta herramienta, la media del IRI resultó ser de 5,15 m/km para el tramo de bajada y de m/km para el tramo de subida. Se determinó la condición de circulación (transitabilidad) del pavimento a través de un análisis comparativo de los

datos obtenidos con las aplicaciones Roadroid y Abakal. Los promedios de IRI resultantes de las dos metodologías fueron de 4,58 m/km y 5.06 m/km, respectivamente. Basándose en estas cifras, ambas herramientas coinciden en que la condición de la superficie asfáltica es deficiente (MALA). Adicionalmente, se estableció que la capacidad de tránsito de la vía posee una valoración insatisfactoria, evidenciada por un Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) de solo 0,17.

Por otro lado Zevallos y Vizcarra, (2021) en su trabajo de investigación "Uso de teléfonos inteligentes y el Rugosímetro MERLIN para medir la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El peligro – Emp. PE-40, Tacna - 2020," utilizaron tanto aplicaciones móviles en *smartphones* como el Rugosímetro de MERLIN para evaluar el segmento vial TA-615. El propósito principal del estudio fue calcular la magnitud de la rugosidad en la superficie vial a través de la comparación de ambos métodos. Los hallazgos obtenidos con el Rugosímetro de MERLIN indicaron un IRI de 3,73 m/km para la dirección derecha y 3,53 m/km para la izquierda. El promedio de IRI resultante fue de 3,63 m/km, lo que sitúa el estado del pavimento en REGULAR. Posteriormente, este IRI promedio se empleó para calcular el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), cuyo valor fue de 2,59. Por lo tanto, se concluyó que la calidad de la circulación (transitabilidad) de la carretera también se cataloga como REGULAR. Al evaluar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) en la aplicación de la app ROADROID, se recabaron datos que mostraron un IRI de 3,44 m/km para la pista izquierda y 3,75 m/km para la pista derecha. Esto resultó en un IRI medio de 3,60 m/km.

Gonzalo & Beingolea (2021) en el estudio titulado: "Comparación de la Rugosidad del Pavimento Flexible mediante Smartphone y Rugosímetro de Merlín en la Av. Internacional, Tacna - 2021" (presentado en la Universidad Privada de Tacna), el objetivo central fue establecer y contrastar la rugosidad de la superficie asfáltica. Para ello, se empleó tanto una aplicación móvil (Smartphone) como la metodología del Rugosímetro de Merlín. Los hallazgos finales del trabajo permitieron definir un protocolo de cálculo para medir la rugosidad en dicha avenida. Al aplicar el Rugosímetro de Merlín, se determinó un valor medio de 4,61 m/km. Este resultado con la tabla de rangos de IRI del MTC para Perú, el estado del pavimento flexible se catalogó como MALA. Por lo tanto, se concluyó que, según el IRI obtenido con el Rugosímetro de Merlín, el estado de la avenida no cumple con los estándares de aceptabilidad. Podemos concluir que al cotejar la semejanza entre los valores IRI de los dos métodos, se puede contemplar el promedio de la similitud de los datos correctos de rugosidad vial para la calzada derecha entre la aplicación del rugosímetro Merlín y la aplicación Abakal IRI es de 88,67% y para la calzada izquierda es 86,19. Se concluyó que mientras en el

lado derecho de la vía los valores de IRI entre el Medidor de Rugosidad Merlín y la aplicación Abakal IRI eran muy similares, en el lado izquierdo de la vía tendían a diferir levemente y esta diferencia era consistente con cada uno. datos del equipo relacionados con la tecnología de recolección.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Rugosidad del pavimento flexible

La rugosidad se define como la discrepancia entre la superficie real de una carretera y su plano teórico ideal. Esta irregularidad posee dimensiones lo suficientemente grandes como para afectar negativamente diversos factores, tales como la dinámica operativa de los vehículos, el confort del conductor, las fuerzas variables aplicadas y el sistema de drenaje. Ejemplos de esta desviación incluyen las variaciones en el perfil longitudinal y el perfil transversal. (ASTM E. , 2012)

2.2.2. Transitabilidad

Según MTC (2018), la transitabilidad se entiende como la facultad de un automotor para recorrer una ruta o segmento sin experimentar detenciones.

Según (Pomasonco de la Cadena R. , 2010) en Perú, el concepto de "transitabilidad" se equipará a la "disponibilidad de uso" de la vía, lo que implica que la circulación vehicular no debe verse obstruida. Las interrupciones pueden obedecer a diversas causas, incluyendo protestas ciudadanas, desgaste de la calzada, labores de conservación o fenómenos naturales. Entre las fuerzas de la naturaleza que afectan la continuidad del servicio se encuentran eventos como desbordes (huaicos), erosión fluvial, caída de material pétreo, pérdida del material bituminoso o colapso de estructuras (como puentes). Estos factores adversos suelen manifestarse con mayor asiduidad durante las épocas de precipitaciones intensas.

2.2.3. Serviciabilidad

Según Pomasonco de la Cadena (2010), el Índice de Serviciabilidad Actual (PSI) es un parámetro clave empleado para cuantificar la calidad del desempeño que proporciona una superficie de carretera. Su finalidad radica en establecer la funcionalidad y la capacidad operativa en tiempo real de la estructura del pavimento. Este indicador surgió de los experimentos AASHO realizados en 1957. La valoración del PSI se realiza

utilizando un rango numérico que va desde 0 hasta 5. Dentro de este espectro, la puntuación más baja (cero) representa una superficie de rodadura en condiciones deplorables, mientras que el valor máximo (cinco) denota un pavimento en estado inmejorable. La descripción pormenorizada de esta clasificación se presenta a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1

Tabla de niveles del Índice de Serviciabilidad

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

Nota. Adaptado de diseño de pavimentos asfálticos por el método (AASHTO, 1993)

2.2.4. Rugosidad

Según MTC (2018), la rugosidad se cataloga como el "indicador más representativo del estado funcional" de la superficie que soporta el tránsito vehicular. Este criterio se cuantifica formalmente a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Múltiples investigaciones han ratificado que diversos agentes tienen un efecto sobre la calidad uniforme de la superficie vial. A continuación, se detallan los factores de mayor relevancia que alteran esta regularidad:

- **Antigüedad de la estructura**

El tiempo transcurrido desde la construcción del pavimento.

- **Dimensiones de las capas**

Los espesores de los componentes estructurales que conforman el pavimento. Se consideraron las siguientes características del concreto asfáltico: el contenido de asfalto, la gravedad específica y los vacíos internos con aire.

- **Atributos del material asfáltico**

Características intrínsecas del concreto bituminoso, tales como la proporción de huecos con aire, la densidad relativa (gravedad específica) y la cantidad de ligante asfáltico

- **Condiciones ambientales**

Variables climáticas como la temperatura media anual, la cantidad de lluvia (días de precipitación), el índice de heladas y el número de jornadas con temperaturas que superan los 32%.

2.2.5. Causas posibles de la rugosidad en el pavimento

La presencia de defectos en el pavimento, sean estos recientes o ya consolidados (como fisuras, grietas o baches), es atribuible a dos factores principales: la falta de políticas de conservación por parte de las entidades competentes o la omisión en la supervisión de los estándares de calidad durante la fase de construcción del proyecto. El efecto directo de esta negligencia es el surgimiento de irregularidades en la capa superficial de rodadura.

2.2.5.1. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos

La rugosidad en un pavimento flexible puede originarse por diversos factores relacionados con la fase constructiva, el tránsito vehicular, las condiciones ambientales y el mantenimiento vial. La presencia de fisuras, grietas, baches y deformaciones superficiales suele ser consecuencia de deficiencias en los controles de calidad durante la ejecución de la obra, así como de la ausencia de políticas de conservación vial por parte de las entidades competentes. Cuando no se aplican medidas de mantenimiento preventivo, el pavimento pierde progresivamente sus propiedades estructurales y funcionales, generando irregularidades longitudinales que se traducen en un incremento del Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

Un pavimento que exhibe una aspereza relativamente baja proporciona al conductor una sensación de bienestar al manejar. Por este motivo, resulta esencial estar al tanto de los indicadores que definen la textura superficial de la capa asfáltica.

A continuación, se detallan ciertos elementos que impactan negativamente en la rugosidad de la vía, incluyendo el periodo de servicio del propio pavimento, La calidad de una vía está directamente ligada a varios parámetros de diseño y de los materiales de construcción. Estos incluyen: Intensidad de Tráfico: El volumen promedio de vehículos que transitan diariamente al año (IMDA)., Composición de la Vía: La

configuración física de la estructura de la carretera y su respectivo Número Estructural, que cuantifica su capacidad portante. Características del Suelo y Capas de Apoyo: Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en las capas inferiores, como la subrasante, la base y la subbase granular.

Adicionalmente, las propiedades del entorno, bajo situaciones rigurosas, promueven la manifestación de imperfecciones, grietas y cuarteaduras en la capa de rodadura.

2.2.5.2. Índice de rugosidad internacional (IRI)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un parámetro estandarizado a nivel mundial que permite evaluar la regularidad superficial de los pavimentos y el confort de rodadura. Fue desarrollado por el Banco Mundial en la década de 1980 con el fin de unificar los criterios de evaluación funcional de carreteras mediante el *World Bank Technical Paper N.º 45* (Sayers & Karamihas, 1998).

Según la norma ASTM E867-06, la rugosidad constituye la separación de la superficie de la vía con relación a un plano de referencia teórico. El tamaño de estas irregularidades influye directamente en el comportamiento dinámico de los vehículos que transitan por ella, el confort y las cargas dinámicas sobre el pavimento (ASTM International, 2006). Estas irregularidades pueden manifestarse en el perfil longitudinal o transversal, afectando la durabilidad y seguridad de la vía.

El IRI se expresa en metros por kilómetro (m/km) y se obtiene simulando el desplazamiento de un vehículo patrón (Golden Car) sobre el perfil longitudinal del pavimento, determinando un valor representativo del grado de irregularidad superficial (Sayers & Karamihas, 1998). Los valores bajos del IRI ($< 2,0$ m/km) reflejan superficies en buen estado, mientras que los valores altos ($> 4,0$ m/km) indican deterioro o deformaciones. Por ello, el IRI constituye un indicador fundamental de desempeño vial utilizado en la gestión y mantenimiento de carreteras (Banco Mundial, 1986).

Actualmente, la medición del IRI se realiza mediante perfilómetros láser y equipos móviles con sensores inerciales o acelerómetros, que registran perfiles continuos y datos georreferenciados en tiempo real, optimizando la evaluación del estado funcional de las vías.

2.2.5.3. Escalas y características del IRI

Las unidades empleadas para expresar el IRI son diversas, incluyendo metros por

kilómetro (m/km), milímetros por metro (mm/m) y pulgadas por milla (in/mi).

Su valor varía entre 0 y 20 m/km, donde 0 m/km representa un camino perfectamente uniforme y 20 m/km una superficie intransitable, se puede apreciar en la Figura 7. Este rango de valores permite clasificar el estado funcional del pavimento en categorías de calidad que facilitan la evaluación del confort de conducción y el desempeño vial (Alvarenga C. , 2002) , tal como se observa en la tabla 2.

Tabla 2

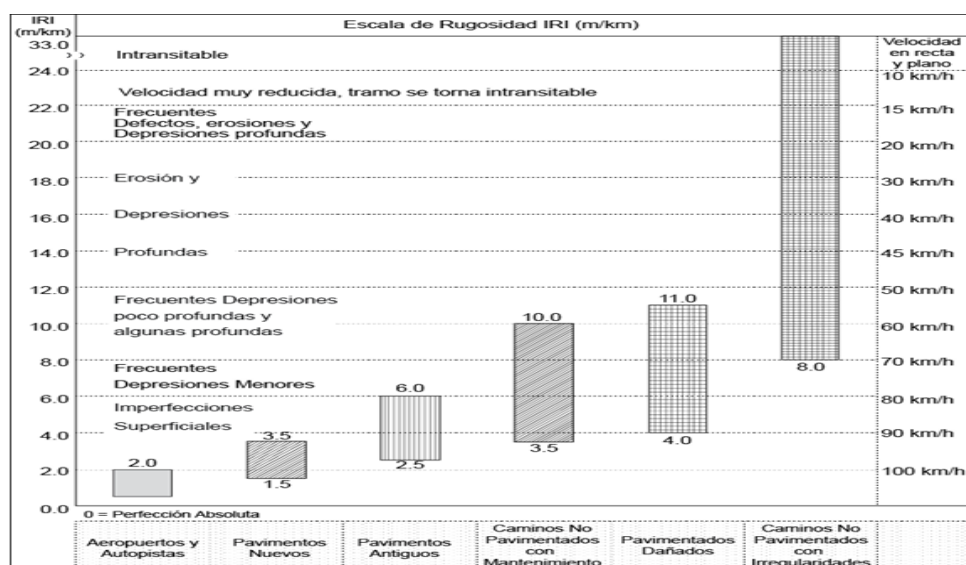
Valores IRI (m/km) Internacionalmente aplicados

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		

Nota. Cuadro adaptado de Alvarenga (2002).

Figura 7

Escala del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/km



Nota. Adaptado de Ministerio de Transportes y comunicaciones (2014) del sitio web [MAN 7 SGGP-2014.pdf](#). DOC: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos.

Según lo establecido en el Manual de Carreteras y en los lineamientos del Banco Mundial, el rango del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) depende del tipo de superficie del camino. En el caso de las vías pavimentadas, los valores del índice suelen ubicarse entre 0 y 12 m/km, mientras que en caminos sin pavimentar pueden alcanzar hasta 20 m/km. En esta escala, los valores menores representan una superficie de rodadura en buenas condiciones y con adecuada comodidad de viaje, en tanto que los valores elevados evidencian un deterioro significativo en el desempeño funcional del pavimento (Banco Mundial, 1986; Sayers & Karamihas, 1998).

La norma ASTM recomienda realizar mediciones en sublotos de 0,1 km, considerando escalas separadas para superficies pavimentadas y no pavimentadas, mientras que el Banco Mundial sugiere emplear el promedio global de las mediciones, clasificando la rugosidad según el tipo de vía (ASTM International, 2006).

En la Tabla 3 se observa que la normativa vial peruana está establecida, para que una vía expresa sea categorizada en condición de “buena”, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) no debe exceder los 2,5 m/km, valor que se encuentra asociado a los parámetros de diseño geométrico y a las velocidades directrices contempladas para este tipo de infraestructura, las cuales generalmente oscilan entre 80 y 100 km/h. De igual manera, el procedimiento de evaluación del IRI se desarrolla en función de la naturaleza del pavimento, diferenciando los valores límite según el tipo de superficie. Esta relación se detalla en la Tabla 4, donde se especifican los requerimientos normativos del IRI en correspondencia con la categoría y características del revestimiento vial.

Tabla 3

Valores IRI

País	Estado Del Pavimento		
	Bueno	Regular	Malo
EE.UU.	< 2,4	2,4 – 4,7	> 4,7
Chile	0 – 3,0	3,0 – 4,0	> 4,0
Honduras	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0
Uruguay	< 3,9	4,0 – 4,6	> 4,6
Perú	< 2,5	2,5 – 4,5	> 4,5

Nota. Tabla según Alvarenga (2002).

Tabla 4

Tabla normativa para los valores de IRI según el tipo de calzada.

Normativa u Organización	Requerimiento de IRI por Tipo de superficie	
	Descripción	Superficie
ASTM E 867	IRI obtenido en sub lotes de 0,1 km	Presenta dos escalas de valores IRI, que se emplean para la evaluación de vías pavimentada y no pavimentada.
Banco Mundial	Promedio global de toda la medición	Presenta una escala de rugosidad según el tipo de vías.

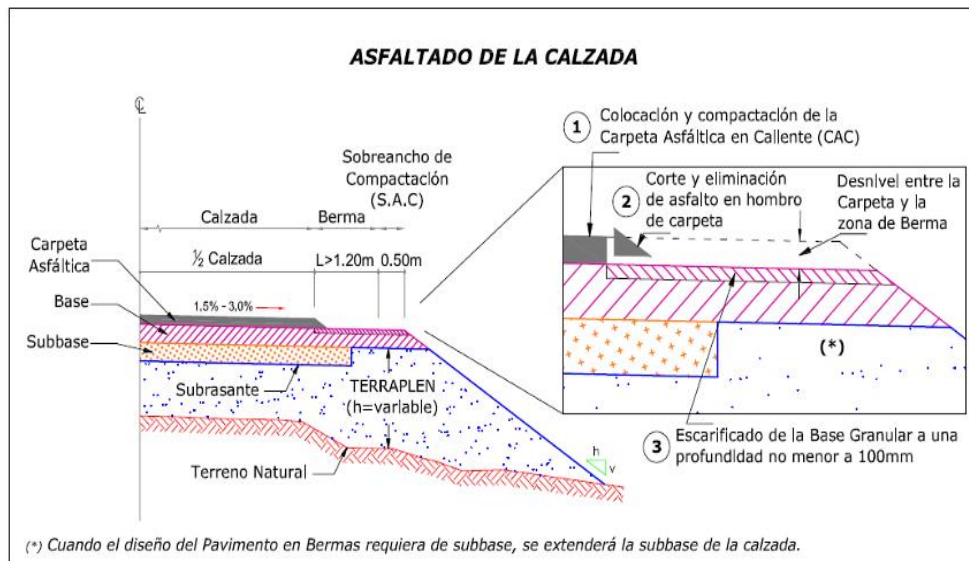
Nota. a tabla anexa presenta las especificaciones y la clase de pavimento conforme a los requisitos de IRI establecidos por el Banco Mundial y otras organizaciones.

2.2.6. Clasificación de los Pavimentos

Los pavimentos se clasifican de acuerdo con el tipo de estructura y el comportamiento que presentan frente a las cargas repetidas producidas por el tránsito vehicular. De manera general, se reconocen cuatro tipos principales de pavimentos: flexible, rígido, articulado y semi-rígido, cada uno con características particulares en cuanto a estructura, durabilidad y respuesta mecánica (MTC, 2014; AASHTO, 1993).

2.2.6.1. Pavimento flexible

El pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica, una base granular y una subbase granular, apoyadas sobre la subrasante. Su denominación proviene de su capacidad para distribuir las cargas hacia las capas inferiores mediante deformaciones elásticas, sin comprometer la integridad estructural. En la figura 8 se observa la sección típica de pavimento flexible, la cual es común en vías urbanas y carreteras debido a su costo de construcción moderado y su facilidad de mantenimiento, con una vida útil promedio entre 10 y 15 años, dependiendo del volumen de tránsito y el clima (MTC, 2014).

Figura 8*Sección típica de pavimento flexible*

Nota. Adaptado de Ministerio de Transportes y comunicaciones (2014) del sitio web [MAN 7 SGGP-2014.pdf](#). DOC: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos.

2.2.6.2. Pavimento rígido

El pavimento rígido es una estructura vial cuya capacidad portante se concentra principalmente en una losa de concreto hidráulico, la cual se apoya sobre una capa de base y, finalmente, sobre la subrasante. Su comportamiento estructural se caracteriza por la distribución de cargas a través de la flexión de la losa, lo que permite que los esfuerzos se repartan sobre un área más amplia en comparación con los pavimentos flexibles. Esto implica que la calidad de la subrasante influye, pero no determina en gran magnitud la capacidad estructural de la vía (AASHTO, 1993).

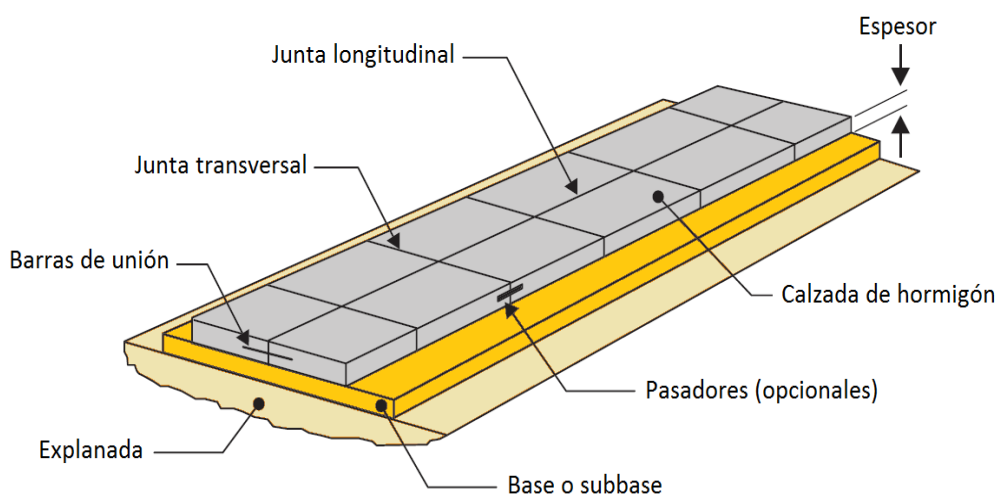
La losa de concreto puede ser simplemente apoyada o reforzada, dependiendo de la categoría de tránsito proyectado y las condiciones del terreno. En algunos diseños se emplea acero de refuerzo o barras de transferencia en las juntas para controlar la aparición de fisuras, mejorar la transferencia de cargas y prolongar la vida útil del pavimento. Este tipo de solución es común en vías de alto tránsito como avenidas principales, carreteras interurbanas y zonas logísticas (FHWA, 2016).

El pavimento rígido como se observa en la imagen 9, tiene como ventaja; mayor durabilidad frente a cargas pesadas y uso continuo; menor deformación permanente en la capa de rodadura y reducción en frecuencia de mantenimiento correctivo.

Sin embargo, también presenta desventajas, como un mayor costo inicial de construcción y mayor tiempo de ejecución, especialmente al considerar el curado del concreto (MTC, Manual de carreteras , 2018).

Figura 9

Sección típica de pavimento rígido



Nota. Adaptado de Calo et al., (2015) del sitio web [Componentes principales de un pavimento de hormigón – El blog de Víctor Yepes](#). DOC: Componentes principales de un pavimento de hormigón.

2.2.6.3. Base

La base es una capa estructural fundamental dentro del pavimento flexible, ubicada entre la capa de rodadura (carpeta asfáltica) y la subbase. Está constituida generalmente por material granular seleccionado, aunque también puede estar estabilizada con cemento, cal, emulsiones o aditivos, dependiendo de las condiciones de diseño y las solicitaciones del tránsito. Su función principal es distribuir las cargas que transmite el tráfico hacia las capas inferiores, aumentar la capacidad portante del sistema y reducir deformaciones permanentes en la subrasante. (MTC, 2014).

Una base correctamente diseñada y compactada contribuye significativamente al desempeño y durabilidad del pavimento, ya que mejora la resistencia estructural, la uniformidad de apoyo y disminuye la susceptibilidad a fallas prematuras como ahuellamientos, fisuras y asentamientos diferenciales. Además, la base cumple la función de soporte directo para la carpeta asfáltica, por lo que la calidad y granularidad del material influyen de manera directa en el comportamiento superficial del pavimento (AASHTO, 1993).

2.2.6.4. Sub Base

La subbase es una capa estructural situada inmediatamente por debajo de la base y por encima de la subrasante, cuya función principal es proporcionar soporte adicional, mejorar la distribución de cargas y servir como fundación para las capas superiores del pavimento. Esta capa contribuye a aumentar la capacidad portante del sistema, reduciendo la posibilidad de deformaciones permanentes y asentamientos diferenciales en la estructura vial (MTC, 2014).

Además de su función estructural, la subbase cumple un papel importante en el drenaje interno del pavimento, ya que permite el desalojo del agua infiltrada y ayuda a reducir la capilaridad, lo cual es esencial para prevenir fallas asociadas a la humedad, como la pérdida de soporte, bombeo o disgregación de capas superiores. Cuando el control de humedad está bien gestionado, el pavimento presenta mayor estabilidad y durabilidad (AASHTO, 1993).

La subbase puede estar conformada por material granular de calidad controlada, con $\text{CBR} \geq 40 \%$, o por materiales estabilizados mediante aditivos como cemento, cal, emulsiones asfálticas o polímeros. La elección depende del volumen de tránsito, las condiciones climáticas, la resistencia de la subrasante y los requerimientos estructurales del diseño (MTC, 2014).

2.2.6.5. Subrasante

La subrasante es la capa de terreno natural o relleno compactado sobre la cual se construye la estructura del pavimento. Constituye la fundación del sistema vial, ya que de sus características depende la capacidad de soporte y el desempeño estructural de todas las capas superiores. Por esta razón, es considerada uno de los elementos más importantes en el diseño de pavimentos flexibles (MTC, 2014).

La calidad de la subrasante se evalúa mediante estudios geotécnicos, que permiten determinar propiedades como el Índice de Soporte California (CBR), la densidad seca, la humedad óptima, la plasticidad y la capacidad de drenaje. Estas características permiten conocer su resistencia a la deformación frente a cargas repetidas generadas por el tránsito vehicular (AASHTO, 1993).

2.2.7. Fallas en el Pavimento Flexible

El pavimento flexible puede experimentar diferentes tipos de deterioro durante su vida útil, debido a factores como el tránsito repetitivo, las condiciones climáticas, la calidad de los materiales, la compactación inadecuada de capas, o la presencia de humedad. Estos deterioros afectan la regularidad superficial, reducen el confort de circulación y pueden comprometer la seguridad vial si no se atienden oportunamente (MTC, 2014).

Las fallas pueden manifestarse como deformaciones, fisuras o pérdida de material, y suelen ser el resultado de la fatiga estructural causada por cargas dinámicas repetidas o por la disminución de la capacidad portante de alguna de las capas inferiores, principalmente la subrasante. A medida que estas fallas progresan, incrementan el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), deteriorando el nivel de servicio de la vía (AASHTO, 1993).

2.2.7.1. Tipo de fallas en el Pavimento Flexible

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia y Pavimentos, emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), los deterioros que aparecen en una estructura de pavimento flexible donde pueden clasificarse en fallas superficiales y fallas estructurales, dependiendo del origen y la profundidad del daño (MTC, 2014).

a. Fallas estructurales

Las fallas superficiales corresponden a los deterioros que afectan únicamente la capa de rodadura, es decir, la superficie asfáltica expuesta al tránsito. Estos daños no comprometen la capacidad estructural del pavimento, sino que alteran la textura, fricción y comodidad de circulación. Se presentan como desgaste, pulimento, grietas superficiales, pérdida de material o baches aislados, y su corrección suele requerir mantenimiento preventivo o tratamientos superficiales (MTC, 2014).

b. Fallas superficiales

Las fallas estructurales es el deterioro proviene de una o más capas internas del pavimento, tales como la base, subbase o subrasante. Estas fallas afectan la capacidad portante del pavimento y su resistencia a las cargas repetidas, provocando deformaciones permanentes como ahuellamiento profundo, fisuras en forma de piel de cocodrilo, asentamientos y hundimientos. Cuando se presentan este tipo de fallas, la

superficie pierde estabilidad y se requiere intervención de rehabilitación o reconstrucción parcial para restablecer el desempeño del pavimento (MTC, 2014).

2.2.7.2. Fallas estructurales

a. Piel de Cocodrilo

Las grietas de fatiga, también denominadas comúnmente como "piel de cocodrilo", se caracterizan por ser un patrón de fisuras que se entrelazan y que aparecen en la superficie de la capa de rodadura bituminosa. Son el resultado directo del daño acumulado por la acción repetitiva de las cargas vehiculares. Según se muestra en la Figura 10, este tipo de deterioro comienza a gestarse en las zonas inferiores de la estructura asfáltica o en la capa de base estabilizada. Es allí donde se concentran las mayores tensiones y deformaciones provocadas por la presión de las ruedas, particularmente en carriles sometidos a tráfico constante (como las huellas dejadas por los neumáticos).

Figura 10

Piel de cocodrilo



b. Agrietamiento en Bloque

El deterioro de la capa superior de la carretera es habitualmente una consecuencia de las deformaciones irreversibles que se producen en las capas estructurales inferiores del pavimento. Esto no solo compromete la capacidad portante del conjunto, sino que también acelera el fallo prematuro de la capa superficial. Otra causa frecuente de esta condición es el empleo de un aglomerante asfáltico de calidad insuficiente. Este tipo de desgaste o falla es visible, tal como se evidencia en la Figura número 11. El área

afectada por esta condición se puede cuantificar utilizando unidades de superficie, ya sea en pies cuadrados o en metros cuadrados.

Figura 11

Agrietamiento en bloque



c. Abultamiento (bumps) y hundimiento (sags)

Los abultamientos (o elevaciones), cuya forma se visualiza en la Figura 12, se definen como pequeños levantamientos o desplazamientos en dirección ascendente que se localizan en la capa superior del terreno. Para cuantificar esta irregularidad, la unidad de medida utilizada es la longitud de la deformación, la cual se expresa en pies lineales o metros lineales.

Figura 12

Agrietamiento en bloque



d. Depresiones

Las depresiones en la calzada consisten en áreas delimitadas de la superficie donde la elevación es perceptiblemente menor que la del resto del pavimento circundante, como se observa en la Figura 13. A menudo, las concavidades poco profundas se vuelven evidentes solo después de que ha llovido, ya que el agua se acumula en ellas. Para su cuantificación, el tamaño de estas fallas se debe indicar en términos de área superficial, utilizando unidades como los pies cuadrados o los metros cuadrados.

Figura 13

Depresión



e. Hueco en los pavimentos

Los baches se manifiestan como pequeñas concavidades localizadas en la superficie de rodadura del pavimento. Estos deterioros suelen tener un diámetro máximo de 0,90 metros y su morfología es comparable a la de un cuenco, tal como se muestra visualmente en la Figura 14. La gravedad o magnitud de estos defectos se establece basándose en mediciones específicas que se toman en el sitio.

Figura 14

Huecos en el pavimento



f. Ahuellamientos

Se entiende por rodera a la depresión o surco lineal que se genera directamente sobre la superficie del pavimento, siguiendo el trayecto habitual de las ruedas de los vehículos. Es posible que se observe una elevación lateral en los bordes de esta hendidura en la capa asfáltica. Esta falla se vuelve particularmente notoria después de una precipitación, ya que el agua se acumula dentro de la huella, tal como se puede apreciar en la Figura 15. Para determinar la magnitud de esta propiedad, la superficie afectada se cuantifica utilizando unidades de área, como pies cuadrados o metros cuadrados.

Figura 15

Huecos en el pavimento



g. Desplazamiento

Esta anomalía se define como una modificación superficial extendida que ocurre en un sector definido de la calzada. Es el resultado directo de las fuerzas de empuje y arrastre generadas por el paso de los vehículos. Cuando el tráfico pasa sobre el pavimento, induce una oscilación rápida e intensa en la superficie, creando un patrón ondulado, tal como se ilustra en la Figura 16. Es importante notar que este tipo de deterioro se presenta generalmente solo en pavimentos que contienen ligantes asfálticos líquidos con bajo rendimiento, como las emulsiones o los cementos asfálticos rebajados (cutback). La extensión de la zona afectada se cuantifica en unidades de área, como pies cuadrados o metros cuadrados.

Figura 16*Desplazamientos***h. Hinchamiento**

El hinchamiento del pavimento se identifica por un levantamiento notorio de la superficie. Esta deformación se manifiesta como una onda amplia y progresiva que va en aumento, con una extensión longitudinal que supera los 3,0 m. Este fenómeno de elevación a menudo está asociado a la formación de fisuras en la capa de rodadura. La causa principal de este deterioro, ilustrado en la Figura 17, suele ser la congelación y expansión del agua en las capas inferiores de la estructura vial, o bien, la presencia de suelos subyacentes que poseen un alto potencial expansivo. La dimensión del área afectada por el hinchamiento se cuantifica utilizando unidades de superficie, ya sean pies cuadrados o metros cuadrados.

Figura 17*Hinchamiento*

2.2.7.3. Fallas Superficiales

a. Exudación

El material bituminoso en la superficie del pavimento crea un acabado brillante y reflectante. Con el tiempo, esta capa puede volverse pegajosa. La exudación en la mezcla asfáltica generalmente indica un exceso de asfalto, como se ilustra en detalle en la Figura 18 del informe. Esta característica se mide habitualmente por unidad de superficie, usando metros cuadrados o pies cuadrados.

Figura 18

Exudación



b. Corrugaciones

La corrugación, a menudo denominada efecto "lavadero", es una falla superficial caracterizada por una serie de crestas y valles muy juntos. Estos se repiten con una periodicidad consistente, generalmente con una separación inferior a 3,0 metros, tal como se detalla en la Figura 19. La extensión de este defecto se cuantifica utilizando unidades de superficie, ya sean metros cuadrados o pies cuadrados.

Figura 19

Corrugación



c. Grieta de borde

Las grietas de borde se presentan como fisuras paralelas, localizadas comúnmente entre 0,30 y 0,60 metros de distancia del extremo del pavimento, como se muestra en la Figura 20. El deterioro estructural de la vía se acelera por el tráfico y puede ser provocado por una reducción en la resistencia del material, a menudo inducida por las condiciones climáticas. La extensión de este daño se cuantifica en metros lineales o pies lineales.

Figura 20

Grieta de borde

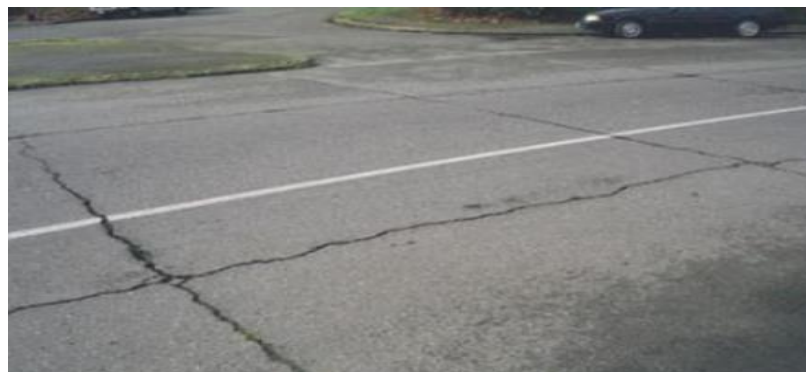


d. Grieta de Reflexión de junta

Estas grietas son el resultado directo del movimiento de las losas de concreto de cemento Portland situadas debajo del pavimento asfáltico. Este fenómeno, ilustrado en la Figura 21, se desencadena por las variaciones en la temperatura o la humedad. El daño ocurre debajo de la superficie de asfalto. La extensión de estas fisuras se cuantifica en metros lineales o pies lineales.

Figura 21

Grieta de reflexión de Junta



e. Desniveles Carril/Berma

Un factor crucial en el diseño de carreteras es la disparidad de elevación que existe entre el borde de la calzada y la berma adyacente. Este deterioro, que se ilustra en la Figura 22, es provocado por la erosión y el posterior hundimiento de la berma. La magnitud de este defecto se mide utilizando unidades de longitud, específicamente metros lineales o pies lineales.

Figura 22

Desnivel carril/berma



f. Grietas longitudinal y transversal:

Las grietas longitudinales se forman en dirección paralela al eje de la carretera o en el mismo sentido en que fue construida, como se aprecia con claridad en la Figura 23. La longitud de estas fisuras se mide habitualmente en metros lineales o pies lineales, dependiendo del estándar de medición adoptado. Es esencial tomar en cuenta esta diferencia de unidades al registrar los datos del proyecto.

Figura 23

Grieta longitudinal y transversal



g. Parcheos y acometida de servicio público

El parche se define como un área donde el pavimento defectuoso original ha sido reemplazado con material nuevo para ejecutar una reparación. Este proceso se visualiza en la Figura 24. La magnitud de la reparación se mide en metros cuadrados o pies cuadrados.

Figura 24

Parcheos y acometida de servicio público



h. Pulimientos de Agregado

Cuando la cantidad de agregado visible en la superficie del pavimento es muy escasa, la textura resultante no ejerce una influencia significativa en la capacidad de desaceleración de los vehículos. Este fenómeno se ilustra claramente en la Figura 25.

Figura 25

Pulimientos de agregado



i. Cruces de Vía Férreas

Las fallas asociadas a los cruces de vías férreas se manifiestan como depresiones o elevaciones (protuberancias). Estos defectos se localizan inmediatamente junto a o entre los rieles, como se muestra en la Figura 26. La extensión de estas anomalías se cuantifica utilizando unidades de área, ya sean metros cuadrados o pies cuadrados.

Figura 26

Cruce de vía férrea



j. Grietas Parabólicas

Las grietas parabólicas por deslizamiento presentan una morfología distintiva similar a una media luna abierta o en expansión. Estas fisuras son el resultado del deslizamiento o la deformación de la capa superficial del pavimento, lo cual es inducido por el frenado brusco o las maniobras de giro de los vehículos. Como se muestra en la Figura 27, esta falla se origina típicamente cuando se conjuga un asfalto de baja resistencia con una adherencia inadecuada entre la capa superficial y la capa subyacente de la estructura vial. Es crucial notar que la aparición de estos daños no está relacionada con problemas de inestabilidad geotécnica subyacente en la vía. El área de la superficie afectada por estas grietas se reporta en metros cuadrados o pies cuadrados.

Figura 27

Grieta parabólica



k. Desprendimientos de Agregado

Con el tiempo, diversos factores se convierten en obstáculos físicos o defectos en la superficie vial. Como se observa en la Figura 28, estos fallos pueden ser causados por una adherencia deficiente entre los agregados pétreos y el ligante bituminoso, el uso de un aglutinante asfáltico inadecuado, áridos contaminados con suciedad, o la precipitación durante la colocación de la mezcla asfáltica.

Figura 28

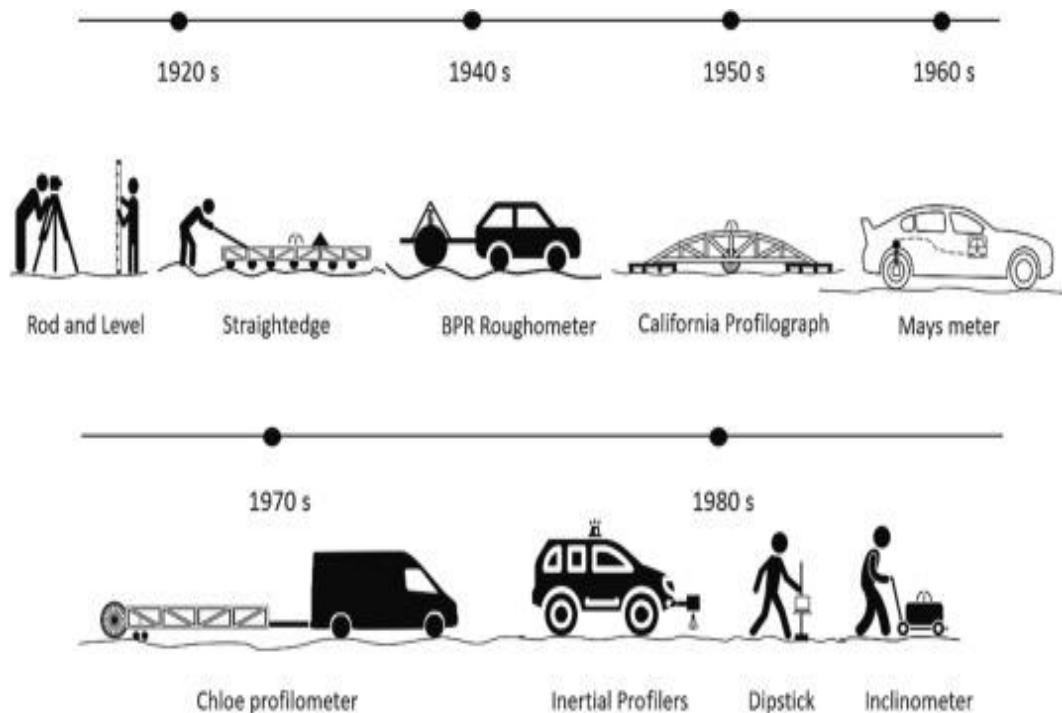
Desprendimiento de agregado



2.2.8. Metodologías para la obtención de la rugosidad

Diversos estudios y manuales técnicos han identificado una amplia variedad de equipos e instrumentos utilizados para la medición de la rugosidad superficial de los pavimentos, como se muestra en la Figura 29. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, es indispensable que estos dispositivos se encuentren adecuadamente calibrados y en óptimas condiciones operativas.

Asimismo, la evaluación visual previa del pavimento, complementada con los datos obtenidos por dichos instrumentos, permite determinar de manera precisa el estado de conservación de la vía, estableciendo relaciones cuantitativas entre las irregularidades superficiales, el nivel de servicio y el confort de rodadura. Estas mediciones son fundamentales para planificar intervenciones de mantenimiento y asegurar la funcionalidad del pavimento (MTC, 2014; Sayers & Karamihas, 1998).

Figura 29*Equipos y métodos de medición de la regularidad*

Nota. Adaptado de Mahmoud, E., AlRukaibi, F., & Alhassan, N. (2022) del sitio web <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112080> DOC: Road roughness measurement technologies and their applications: A review. Measurement, 2022, 112080

2.2.9. Rugosímetro de Merlín

El rugosímetro MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation) es un instrumento desarrollado por el (Transport Research Laboratory, 1993) con el propósito de medir la rugosidad longitudinal de pavimentos flexibles y rígidos mediante un sistema mecánico de referencia estable. Su diseño simple, portátil y de bajo costo lo convierte en una herramienta ampliamente utilizada para evaluaciones en campo, especialmente en contextos donde no se dispone de equipos automatizados de alta velocidad.

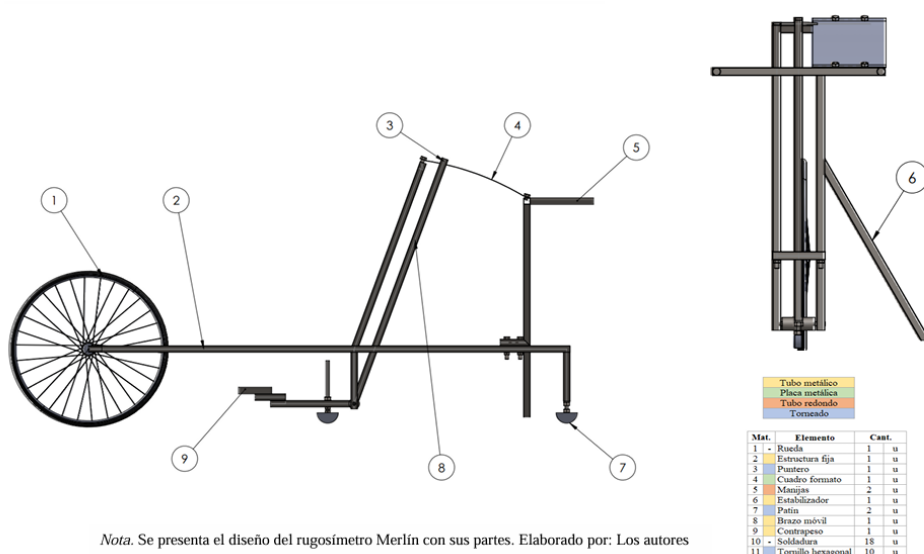
El funcionamiento del MERLIN se basa en la detección de las variaciones verticales que presenta la superficie evaluada. Para ello, el equipo utiliza un brazo móvil que registra las desviaciones respecto de una línea base fija, generando un perfil simplificado cuya amplitud permite estimar indirectamente el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Este método proporciona mediciones expresadas en m/km, lo que facilita la comparación con los estándares internacionales de regularidad superficial (Transport Research Laboratory, 1993).

Una de las ventajas del MERLIN es su elevada precisión dentro de la categoría de perfilómetros estáticos. Estudios comparativos han demostrado que los valores obtenidos con este equipo presentan una correlación muy alta con los resultados de dispositivos de referencia empleados para calcular el IRI, alcanzando coeficientes de determinación cercanos a $R^2 = 0,98$, lo que evidencia su confiabilidad para la evaluación de la condición del pavimento (Martínez, 2001; Sayers & Karamihas, 1998).

Gracias a estas características, el MERLIN la cual se observa en la Figura 30, se utiliza como herramienta de control de calidad, monitoreo del deterioro superficial y verificación del servicio vial. Su implementación resulta especialmente útil para la planificación de mantenimientos rutinarios y periódicos, así como para la identificación de tramos que requieren rehabilitación, contribuyendo directamente a la mejora de la seguridad y comodidad del tránsito vehicular.

Figura 30

Rugosímetro Merlín con sus elementos



Nota. Se presenta el diseño del rugosímetro Merlín con sus partes. Elaborado por: Los autores

Nota. Adaptado de E. J. Chaluisa Candelejo y D. A. Estévez Chiriboga, 2023, del sitio web <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25106> DOC: *Diseño, elaboración e implementación de un “rugosímetro Merlín” en el laboratorio de pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus Sur* (p. 47).

2.2.10. Procedimiento de ensayo del Índice Internacional de Rugosidad

La determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN se basa en el registro de las irregularidades longitudinales del pavimento utilizando un sistema mecánico de referencia. El principio fundamental de medición

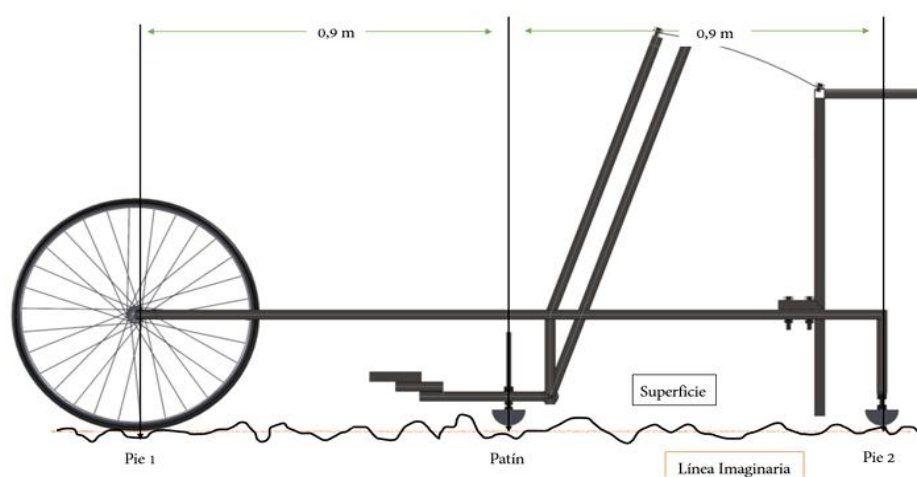
consiste en proponer la variación vertical de la superficie respecto a una cuerda imaginaria de longitud constante, lo que permite estimar la regularidad del camino con alta precisión (Transport Research Laboratory, 1993).

El equipo está conformado por dos apoyos metálicos separados por aproximadamente 1.8 metros, los cuales actúan como puntos de referencia rígidos al descansar sobre la huella de rodadura. Esta configuración geométrica establece una base estable desde la cual se registran las desviaciones del pavimento. En la parte media del dispositivo se ubica un patín móvil, encargado de medir la distancia vertical “y” entre la superficie evaluada y la línea que une ambas patas del instrumento (Martínez, 2001).

Durante el recorrido, se observa la Figura 31, el operador desplaza el MERLIN a lo largo del tramo seleccionado, realizando lecturas sucesivas que reflejan las ondulaciones presentes en la superficie. Estas observaciones se anotan en el formato correspondiente, generando posteriormente un histograma de frecuencias. El parámetro “D”, correspondiente al ancho del histograma, es expresado en milímetros y constituye la medida básica de rugosidad en la escala propia del MERLIN (Sayers & Karamihas, 1998).

Figura 31

Esquema de pie y patín del Merlín



Nota. Adaptado de E. J. Chaluisa Candelejo y D. A. Estévez Chiriboga, 2023, del sitio web <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25106> DOC: *Diseño, elaboración e implementación de un “rugosímetro Merlín” en el laboratorio de pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus Sur* (p. 50).

2.2.10.1.Recolección de Datos

Para efectuar el proceso de medición con el rugosímetro MERLIN, se requiere la participación de dos operarios: uno encargado de manipular el equipo y otro responsable de registrar las lecturas en el formato correspondiente. Antes de iniciar el levantamiento, se selecciona un tramo representativo del pavimento de aproximadamente 400 metros, siguiendo un único carril y ubicándose sobre la huella externa del tráfico, donde se concentra mayor desgaste (TRL, 1993; Martínez, 2001).

El método requiere capturar 200 puntos de dato, lo cual es necesario para describir las características de la rugosidad que se extiende a lo largo del pavimento. Estas mediciones registran las discrepancias con respecto a una línea de referencia (cuerda promedio). El patín móvil del equipo MERLIN detecta dichas desviaciones y su posición se visualiza en una escala grabada integrada en el dispositivo. La toma de datos se ejecuta en intervalos espaciados uniformemente, generalmente cada 2 metros. Para facilitar el trabajo *in situ*, se aprovecha la circunferencia de la rueda del MERLIN como guía, de manera que una lectura es registrada por cada rotación completa del neumático.

Mientras se recopilan los datos, es esencial que el equipo esté firmemente asegurado sobre la superficie de medición. Esto se logra mediante sus tres puntos de contacto: el soporte fijo trasero, la rueda frontal y el estabilizador lateral. El indicador del dispositivo exhibe cifras que fluctúan entre 1 y 50. Estos valores deben ser documentados en un formulario de campo que está diseñado como una tabla matricial de 20 filas por 10 columnas. En la Figura 32 se observa el proceso de registro debe ser sistemático, iniciando en la primera casilla 1,1 y avanzando secuencialmente de arriba hacia abajo y luego de izquierda a derecha. Este procedimiento se repite hasta obtener las 200 observaciones requeridas para la construcción del histograma, lo cual es el paso previo al cálculo definitivo del índice de rugosidad. (Martínez, 2001).

Figura 32*Formato de recolección de datos*

ENSAYO PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)																																																																																																																																																																																																																																																																						
PROYECTO: _____ SECTOR: _____ TRAMO: _____ CARRIL: _____					OPERADOR: _____ SUPERVISOR: _____ FECHA: _____																																																																																																																																																																																																																																																																	
ENSAYO N°		HORA		KM																																																																																																																																																																																																																																																																		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 20px;"></th> <th style="width: 20px; text-align: center;">1</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">2</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">3</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">4</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">5</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">6</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">7</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">8</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">9</th> <th style="width: 20px; text-align: center;">10</th> <th style="width: 150px;"></th> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">1</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">TIPO DE PAVIMENTO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">2</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">AFIRMADO </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">3</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">BASE GRANULAR </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">4</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">BASE IMPRIMIDA </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">5</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">TRAT. BI - CAPA </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">6</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">CARPETA EN FRIO </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">7</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">CARPETA EN CALIENTE </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">8</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">RECAPEO ASFALTICO </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">9</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">SELLO </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">10</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td style="border: none;">RECUBRIMIENTO BITUMINOSO </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">11</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">12</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">13</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">14</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">15</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">16</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">17</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">18</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">19</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; color: red;">20</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td> </tr> </table>												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1											TIPO DE PAVIMENTO	2											AFIRMADO	3											BASE GRANULAR	4											BASE IMPRIMIDA	5											TRAT. BI - CAPA	6											CARPETA EN FRIO	7											CARPETA EN CALIENTE	8											RECAPEO ASFALTICO	9											SELLO	10											RECUBRIMIENTO BITUMINOSO	11												12												13												14												15												16												17												18												19												20											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																																												
1											TIPO DE PAVIMENTO																																																																																																																																																																																																																																																											
2											AFIRMADO																																																																																																																																																																																																																																																											
3											BASE GRANULAR																																																																																																																																																																																																																																																											
4											BASE IMPRIMIDA																																																																																																																																																																																																																																																											
5											TRAT. BI - CAPA																																																																																																																																																																																																																																																											
6											CARPETA EN FRIO																																																																																																																																																																																																																																																											
7											CARPETA EN CALIENTE																																																																																																																																																																																																																																																											
8											RECAPEO ASFALTICO																																																																																																																																																																																																																																																											
9											SELLO																																																																																																																																																																																																																																																											
10											RECUBRIMIENTO BITUMINOSO																																																																																																																																																																																																																																																											
11																																																																																																																																																																																																																																																																						
12																																																																																																																																																																																																																																																																						
13																																																																																																																																																																																																																																																																						
14																																																																																																																																																																																																																																																																						
15																																																																																																																																																																																																																																																																						
16																																																																																																																																																																																																																																																																						
17																																																																																																																																																																																																																																																																						
18																																																																																																																																																																																																																																																																						
19																																																																																																																																																																																																																																																																						
20																																																																																																																																																																																																																																																																						
OBSERVACIONES : _____ _____ _____																																																																																																																																																																																																																																																																						

Nota. Adaptado de E. M. Canchaco Ordoño, 2021, del sitio web <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58816> DOC: Evaluación de fallas en pavimento flexible aplicando la metodología PCI y estudio de regularidad superficial, carretera Platería – Ácora, Puno (p. 31).

2.2.10.2.Cálculo para el rugosímetro de Merlín

La cuantificación de la rugosidad empleando el Rugosímetro MERLIN se fundamenta en la utilización de 200 lecturas. Estas observaciones se toman de una escala de 50 segmentos (arbitraria) que se encuentra integrada en el cuerpo del aparato. Dicha escala permite proponer las posiciones consecutivas que ocupa el indicador asociado al brazo móvil mientras el equipo se desplaza. La división número 25 constituye el punto central y se adopta como la línea de referencia cuando la irregularidad de la superficie coincide con la cuerda promedio del instrumento.

Cuando la mayoría de las lecturas se concentran alrededor de esta posición central, es decir, presentan poca dispersión se interpreta que la superficie del pavimento es relativamente uniforme, lo cual refleja baja rugosidad. Por el contrario, si el puntero se desplaza con frecuencia hacia los extremos de la escala, se evidencia una mayor variabilidad en el perfil longitudinal, característica de un pavimento con elevado nivel de irregularidad.

Una vez obtenidas las mediciones, se analiza la distribución de frecuencias de los valores registrados por el puntero. Para representar esta variación, suele elaborarse un histograma, el cual permite visualizar el comportamiento de los datos. Con fines de

análisis, se descarta el 10 % de las lecturas, eliminando el 5 % de valores inferiores y el 5 % de superiores, dado que corresponden a lecturas atípicas o no representativas del comportamiento real del pavimento. Tras este ajuste, se determina el rango D, el cual representa el ancho efectivo del histograma y sirve como parámetro base para la estimación de la rugosidad del pavimento (Martínez, 2001).

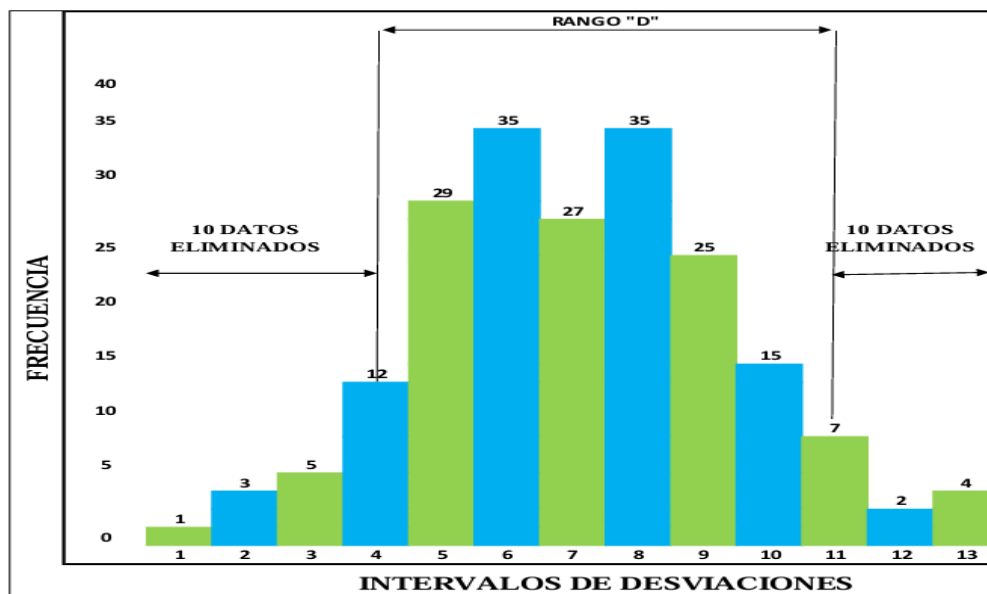
2.2.10.3. Graficar la distribución de frecuencias

Una vez obtenidas las 200 lecturas en campo, el siguiente paso consiste en organizar los valores registrados por el puntero del MERLIN en una distribución de frecuencias. Este procedimiento permite visualizar cómo se concentran las lecturas a lo largo de la escala graduada y facilita la identificación de la variabilidad presente en el perfil longitudinal del pavimento.

Para elaborar el histograma, se contabiliza cuántas veces aparece cada valor dentro de la escala de 1 a 50. Posteriormente, con el objetivo de reducir el efecto de lecturas atípicas o imprecisas, se aplica un filtro estadístico que excluye el 10 % de los datos más extremos, distribuidos en partes iguales entre los valores bajos y altos de la serie. Es decir, se elimina el 5 % de lecturas inferiores y el 5 % de lecturas superiores del conjunto original, conforme a la metodología planteada por el TRL para el uso del MERLIN (TRL, 1993; Martínez, 2001).

Una vez depurado el histograma, se determina el intervalo efectivo de variación, identificado como el ancho del histograma, el cual se expresa en unidades de la escala. Este intervalo corresponde a la distancia entre el límite inferior y superior de los valores remanentes después del descarte. En algunos casos, los límites pueden involucrar fracciones cuando una parte de las lecturas cae dentro del intervalo excluido. Al sumar dichas fracciones con el número de intervalos completos, se obtiene el valor D, que representa la amplitud total de la dispersión en la escala del MERLIN.

Finalmente, este parámetro se convierte a milímetros multiplicándolo por el valor equivalente de cada división de la escala. En la Figura 33, para el MERLIN, cada unidad representa 5 mm, por lo que el rango expresado en unidades puede transformarse directamente aplicando este factor. El resultado constituye el parámetro D, que será posteriormente correlacionado con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para obtener la medida final de regularidad superficial del pavimento.

Figura 33*Histograma de la distribución de frecuencias*

Nota. Adaptado de E. M. Canchaco Ordoño, 2021, del sitio web <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58816> DOC: Evaluación de fallas en pavimento flexible aplicando la metodología PCI y estudio de regularidad superficial, carretera Platería – Ácora, Puno (p. 32).

2.2.10.4. Cálculo del factor de corrección para el ajuste de “D”

Después de depurar las lecturas del MERLIN y obtener el ancho inicial del histograma (D) en unidades de la escala, es necesario aplicar un factor de corrección (F.C.) que compense las variaciones que pueden presentarse debido al desgaste del patín móvil, a la calibración del equipo o a pequeñas desviaciones geométricas acumuladas durante el ensayo. Este ajuste garantiza que el valor final del parámetro D represente de manera más precisa el comportamiento real del pavimento (Martínez, 2001).

a) Factor de corrección (F.C.)

El factor de corrección se calcula utilizando la Ecuación 1, nos permite calcular el factor de corrección (F.C.) y se obtiene de la fórmula 1:

$$F.C. = \frac{(EP \times 10)}{(Li - Lf)} \times 5 \quad (1)$$

Donde:

EP = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial.

Lf = Posición final.

Este factor permite normalizar las lecturas, compensando posibles pérdidas de precisión por el desgaste progresivo del componente móvil, asegurando así la validez de los resultados obtenidos.

b) Cálculo del rango corregido D_c

Una vez determinado el factor de corrección, se obtiene el rango corregido mediante la Ecuación 2, que ajusta el ancho del histograma:

$$D_c = D \times F.C \quad (2)$$

Donde:

D = Ancho del histograma (rango obtenido luego del descarte del 10%).

F.C. = Factor de corrección calculado previamente.

El valor D_c representa la versión ajustada del parámetro de rugosidad del MERLIN y será la base para estimar el valor final del IRI.

c) Cálculo del rango corregido D_c

Finalizando, el Índice Internacional de Rugosidad se calcula utilizando la Ecuación 3, que corresponde a la correlación desarrollada por el TRL y el Banco Mundial para convertir los resultados del MERLIN al estándar internacional:

$$IRI = IRI = 0,593 + 0,047 D_c \quad (3)$$

(Donde algunas versiones incluyen el F.C., pero la forma típica de correlación es con D_c ya corregido).

Este resultado expresa la rugosidad en m/km, permitiendo comparar el tramo evaluado con los límites aceptados por diferentes normativas y sistemas de gestión vial. El procedimiento garantiza que un equipo de bajo costo como el MERLIN produzca mediciones equivalentes a las obtenidas por perfilómetros de referencia utilizados internacionalmente.

Donde:

D = Ancho del histograma (rango obtenido luego del descarte del 10%).

F.C. = Factor de corrección calculado previamente.

El valor D_c representa la versión ajustada del parámetro de rugosidad del MERLIN y será la base para estimar el valor final del IRI.

2.2.11. Aplicación de teléfonos inteligentes

El uso de los teléfonos inteligentes se ha consolidado en la última década como una de las principales herramientas tecnológicas de interacción, acceso a información y productividad. Según el informe de GlobalWebIndex (2018), “el 94 % de los usuarios de internet poseen un smartphone, convirtiéndose en el dispositivo principal de conexión a la red, especialmente entre los jóvenes que dedican entre el 90 % y 100 % de su tiempo de navegación a través de pantallas móviles” (p. 3). Este comportamiento ha dado origen al término *mobile first*, que se refiere a los usuarios que priorizan el uso del móvil frente a otros dispositivos para acceder a internet y realizar sus actividades cotidianas.

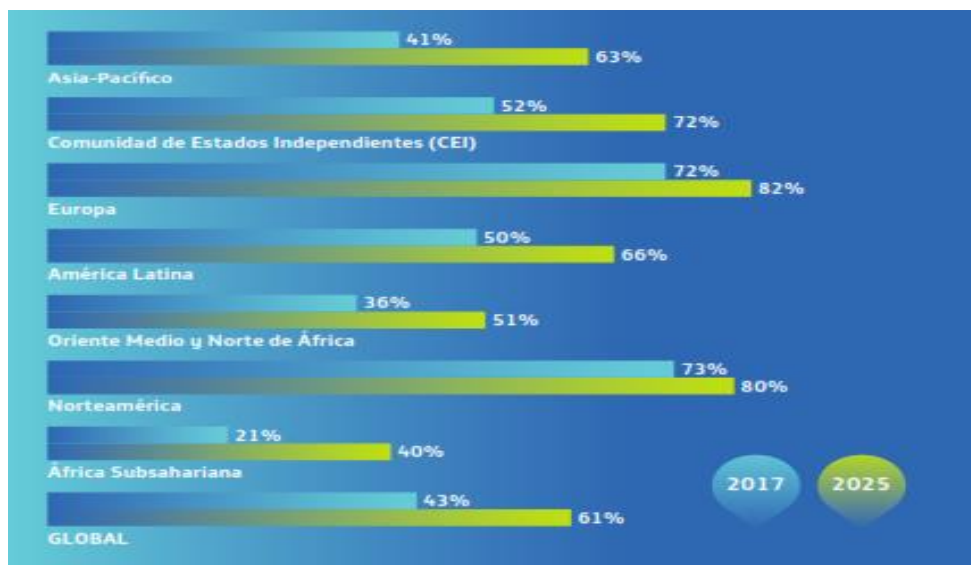
En la actualidad, los smartphones se han convertido en herramientas multifuncionales, no solo para comunicación o entretenimiento, sino también para recolectar, procesar y analizar datos técnicos gracias a sus sensores internos (GPS, acelerómetro, giroscopio) y la disponibilidad de aplicaciones móviles especializadas. Por tanto, la lógica del “mobile first” (primar el móvil como plataforma de acceso) adquiere relevancia cuando se busca integrar tecnologías inteligentes en ingeniería civil, como en la evaluación del pavimento.

Durante la última década, el uso de teléfonos inteligentes ha experimentado un crecimiento sostenido a nivel mundial, consolidándose como una de las principales herramientas tecnológicas de acceso a la información. Según proyecciones de la GSMA (2021), se estima que para el año 2025 la penetración de los dispositivos móviles conectados representará alrededor del 71 % del tráfico global de internet, lo que demuestra la expansión constante de la conectividad móvil y su impacto en la sociedad digital. De manera complementaria, SQ Magazine (2022) destaca que el acceso a internet mediante dispositivos móviles se ha convertido en el principal medio de conexión en la mayoría de regiones del mundo, lo cual favorece la adopción de tecnologías móviles en distintas áreas de aplicación, incluyendo la ingeniería civil.

La Figura 34 ilustra la distribución porcentual de los usuarios que accedieron a internet mediante dispositivos móviles en las distintas regiones, durante el año 2021.

Figura 34

Porcentaje de la población que se conectó a internet a través del móvil



Nota. Adaptado de Huayllapuma, A., & Calderon, J. L. (2022), del sitio web <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2373> DOC: Uso del aplicativo TotalPave en la determinación de la rugosidad de la Av. Von Humboldt, tramo: Av. Tarapacá – Av. Municipal, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2022, (p. 22).

El desarrollo de las aplicaciones móviles marcó un hito en la evolución tecnológica moderna. En julio de 2008, Apple incorporó la App Store a través de una actualización de iTunes, permitiendo que los usuarios pudieran descargar programas directamente desde sus dispositivos. Pocos meses después, en octubre del mismo año, Google lanzó su propia plataforma denominada Android Market, la cual más adelante adoptó el nombre de Google Play. Estas iniciativas dieron origen a la era de las plataformas digitales de distribución, que permiten a los usuarios de sistemas operativos iOS y Android acceder a una amplia variedad de aplicaciones, ya sean gratuitas o de pago (Telefónica, 2019)

Actualmente, las *apps* móviles forman parte de la vida diaria, siendo utilizadas para la comunicación, el entretenimiento, la educación y la productividad. De acuerdo con Telefónica (2019), su uso abarca desde la interacción en redes sociales, juegos en línea y compras digitales, hasta operaciones bancarias, transporte urbano, educación virtual y monitoreo de actividades físicas. En el ámbito técnico, los aplicativos también se emplean para procesar datos estadísticos, realizar cálculos de materiales de construcción y medir la rugosidad del pavimento, evidenciando su versatilidad y su utilidad en la ingeniería civil.

A lo largo del tiempo, las aplicaciones predilectas en iOS han sido: Facebook, WhatsApp Messenger, YouTube, Facebook Messenger, Instagram, Snapchat, Google Maps, WeChat, QQ y Skype. En contraste, los usuarios de Android han mostrado una preferencia particular por: WhatsApp Messenger, Facebook, Facebook Messenger, Instagram, Subway Surfers, Skype, Twitter, Candy Crush Saga, Clean Master y Snapchat. (Telefónica, 2019).

Estas estadísticas reflejan el impacto global de los aplicativos móviles y su potencial para ser aprovechados en distintos campos de estudio, incluyendo la gestión y evaluación de la infraestructura vial.

2.2.12. TotalPave

El aplicativo móvil TotalPave, desarrollado por la empresa canadiense Total Pave Inc., con sede en Fredericton (New Brunswick, Canadá), está diseñado para la recolección de datos del estado de la carretera mediante el uso de smartphones, permitiendo capturar el valor del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y otros indicadores como el PCI (Pavement Condition Index) con costos reducidos frente a los equipos tradicionales (TotalPave Technologies, 2023). La plataforma website de la empresa especifica que se puede «collect standard road condition data with your smartphone same data lower cost» montando el dispositivo en el parabrisas del vehículo o en el manubrio de una bicicleta.

Para asegurar la precisión en la medición con TotalPave que se aprecia en la Figura 35, se recomienda mantener una velocidad constante del vehículo dentro del rango entre 20 km/h y 110 km/h, lo cual evita variaciones significativas en la recopilación de datos (Total Pave Inc., 2023). En el proceso, el smartphone recopila datos del GPS, el acelerómetro y otros sensores, que luego son enviados a la nube de la empresa para ser procesados y convertirlos en valores de IRI que pueden integrarse en portales GIS o exportarse para su análisis (Total Pave Inc., 2023). Este tipo de tecnología representa una innovación en la evaluación funcional del pavimento, pues permite disponer de datos actualizados de forma más accesible, especialmente útil en contextos municipales o zonas con recursos limitados.

Figura 35*Logo del aplicativo TotalPave*

Nota. Adaptado de (Gondim, 2019), del sitio web <https://totalpave.zendesk.com/hc/en-us/categories/360001612373-Web-Portal> DOC: Portal Web de TotalPave

2.2.12.1. Aplicativo TotalPave en teléfonos inteligentes

La aplicación TotalPave es una solución tecnológica reciente que utiliza dispositivos inteligentes para inspeccionar la calidad de servicio (funcional) de las calzadas. Este sistema aprovecha los sensores internos del *smartphone*, específicamente el acelerómetro y el sistema de posicionamiento global (GPS).

En la Figura 36 se observa el aplicativo TotalPave y sus componentes, los cuales capturan las oscilaciones y movimientos producidos mientras el vehículo se desplaza por la superficie vial. Con base en esta información recopilada, el *software* es capaz de derivar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Dicho parámetro sirve para medir con precisión el grado de irregularidad de la capa de rodadura y, a su vez, determinar la comodidad durante la circulación.

Figura 36*Interfaz del aplicativo TotalPave*

Nota. Adaptado de E. M. Canchaco Ordoño, 2021, del sitio web <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58816> DOC: Evaluación de fallas en pavimento flexible aplicando la metodología PCI y estudio de regularidad superficial, carretera Platería – Ácora, Puno (p. 32).

En la Figura 37 se aprecia para la obtención de los valores de IRI mediante TotalPave, se realizó el montaje adecuado del dispositivo móvil siguiendo los procedimientos recomendados por la aplicación.

Para el montaje del dispositivo:

- Se fijó un soporte especial en el parabrisas del vehículo para mantener estable el equipo.
- El teléfono inteligente fue ubicado dentro del soporte procurando que quede alineado y en posición horizontal.
- Luego, se ajustó el mecanismo de sujeción para evitar movimientos durante el recorrido, tal como se observa en la imagen referencial.

Figura 37

Alineamiento del equipo móvil en el soporte del parabrisas.



Nota. Adaptado de TotalPave, 2019, del sitio web [Paso #1: Montar el teléfono – TotalPave](#) DOC: Step #1: Mount Phone.

2.2.12.2. Nivelación del Smartphone

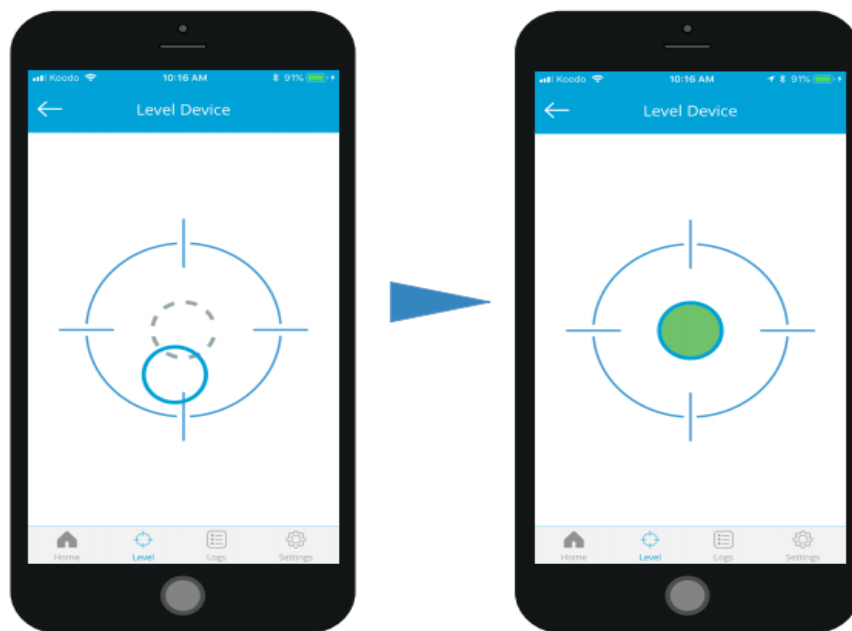
Previo al inicio de la medición de la rugosidad mediante el aplicativo TotalPave, es necesario realizar el procedimiento de nivelación del dispositivo móvil con el fin de asegurar la precisión de los datos obtenidos. Una vez que el smartphone se encuentra fijado firmemente en el soporte del parabrisas, se accede a la función “Nivel” dentro del sistema del aplicativo, como se puede observar en la Figura 38. En esta interfaz, el software muestra una burbuja de calibración que debe posicionarse al centro de la pantalla, cambiando a color verde cuando el dispositivo se encuentra correctamente nivelado, lo que indica que la orientación del teléfono es adecuada para iniciar la medición (TotalPave Technologies, 2023).

Una vez completado este ajuste, se procede a la fase de registro de datos presionando la opción “Inicio”. Este proceso garantiza que el teléfono esté alineado correctamente con la dirección de desplazamiento del vehículo, reduciendo errores por inclinación y asegurando la exactitud de los valores del Índice Internacional de

Rugosidad (IRI). El adecuado nivelado del equipo es un paso esencial para mantener la calidad de los resultados y la consistencia entre diferentes tramos o sesiones de evaluación.

Figura 38

Procedimiento empleado para ajustar y nivelar adecuadamente el dispositivo antes de iniciar la medición.



Nota. Adaptado de TotalPave, 2019, del sitio web <https://totalpave.zendesk.com/hc/en-us/articles/360051153074-Step-2-Level-Device> DOC: Step #2: Level Device.

2.2.12.3. Secciones de conducción

Para el proceso de obtención de datos, el aplicativo TotalPave incorpora un sistema de predefinición de tramos que permite proponer automáticamente las secciones de la vía a evaluar. Esto facilita el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), siempre que se haya recorrido la distancia mínima requerida por la aplicación. Finalizado el ensayo en campo, los datos registrados se cargan a la nube de TotalPave, desde donde posteriormente pueden descargarse y visualizarse en la plataforma web para su análisis.

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para generar los valores de IRI:

- Seleccione la opción “Iniciar recopilación de datos” para comenzar el registro.
- Mantenga una velocidad constante dentro del rango recomendado, entre 20 km/h y 110 km/h, durante todo el recorrido.
- No manipule el teléfono en ningún momento mientras se ejecuta la medición, a fin de evitar interferencias en las lecturas.
- Al completar la longitud del tramo evaluado, finalice el proceso seleccionando “Detener recopilación de datos”.

2.2.12.4.Carga de Registros en el Aplicativo TotalPave

En el funcionamiento del aplicativo TotalPave, los datos recolectados durante el recorrido se almacenan inicialmente en el dispositivo móvil del usuario. Una vez finalizada la medición, el sistema permite transferir esta información a la cuenta personal del evaluador en la plataforma digital de TotalPave. Esta sincronización puede realizarse en cualquier momento, siempre que el dispositivo cuente con conexión estable a internet mediante datos móviles o red Wi-Fi.

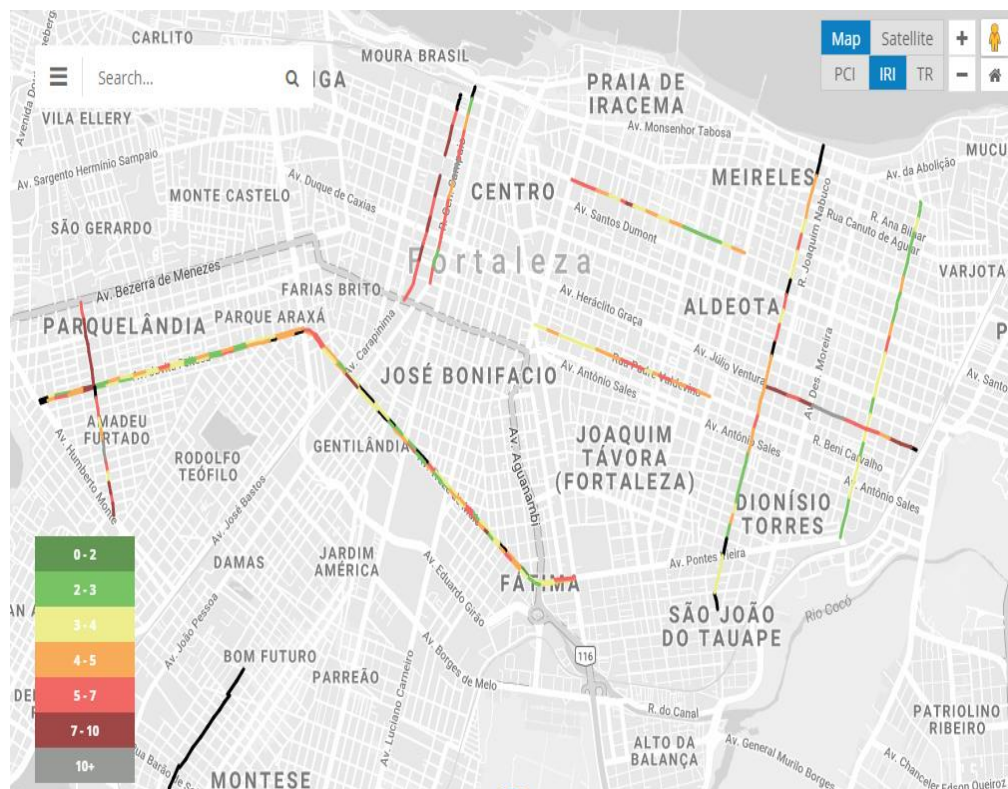
Cuando los registros se cargan correctamente, el aplicativo los muestra en su pantalla principal acompañados de un indicador visual que confirma la transferencia satisfactoria. Esto permite al usuario verificar que la información ha sido procesada y subida al sistema.

En la Figura 39 se observa que, desde una perspectiva técnica, TotalPave expresa los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en metros por kilómetro (m/km). El cálculo se basa en el análisis de las vibraciones registradas por el acelerómetro del teléfono inteligente, relacionando dichas oscilaciones con la longitud del tramo recorrido. De esta manera, el software genera una estimación del perfil longitudinal del pavimento.

Posteriormente, los resultados se presentan en un mapa cromático, donde cada color representa un rango de rugosidad determinado, permitiendo visualizar la condición funcional del pavimento a lo largo de la vía. Asimismo, la plataforma ofrece la opción de descargar los registros procesados en un archivo compatible con Excel, lo cual facilita su análisis estadístico y la elaboración de reportes técnicos en claro ejemplo de ellos se visualiza en la Tabla 5 (Gondim, 2019).

Figura 39

Interfaz principal del aplicativo TotalPave.



Nota. Adaptado de Gondim, A. 2019, del sitio web el repositorio de la Universidade Federal do Ceará DOC: *Using smartphones to assess pavement roughness.* Universidade Federal do Ceará.

Tabla 5*Registros generados por el sistema TotalPave tras la evaluación*

TPID	IRI 2019	Nombre de la calle	Longitud	Ciudad	Nombre de la sucursal	Latitud de inicio	Longitud de inicio	Latitud final	Longitud final	Te dio
767644	4,9	Av. 13 de mayo	195,732	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,383	-385,223	-375,363	-385,205	20 de julio de 2019
767645	5,13	Av. 13 de mayo	208,168	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,347	-385,205	-375,367	-385,224	20 de julio de 2019
767646	3,45	Av. 13 de mayo	123,52	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,367	-385,224	-375,378	-385,235	20 de julio de 2019
767647	3,72	Av. 13 de mayo	129,961	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,394	-385,234	-375,383	-385,233	20 de julio de 2019
767648	3,19	Av. 13 de mayo	131,593	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,378	-385,235	-375,333	-385,245	20 de julio de 2019
767649	2,92	Av. 13 de mayo	142,561	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,346	-385,246	-375,394	-385,234	20 de julio de 2019
767650	1,92	Av. 13 de mayo	952,125	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,333	-385,245	-375,275	-385,252	20 de julio de 2019
767651	3,33	Av. 13 de mayo	964,395	fuerza	Av. 13 de mayo	-37,529	-385,253	-375,346	-385,246	20 de julio de 2019
767652	4,42	Av. 13 de mayo	95,072	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,234	-385,259	-37,529	-385,253	20 de julio de 2019
767653	4,2	Av. 13 de mayo	953,637	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,275	-385,252	-37,522	-385,258	20 de julio de 2019
767654	4,23	Av. 13 de mayo	868,975	fuerza	Av. 13 de mayo	-37,522	-385,258	-375,169	-385,264	20 de julio de 2019
767655	5,99	Av. 13 de mayo	889,475	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,182	-385,265	-375,234	-385,259	20 de julio de 2019
767656	6,03	Av. 13 de mayo	867,458	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,169	-385,264	-375,118	-38,527	20 de julio de 2019
767657	4,69	Av. 13 de mayo	814,874	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,135	-385,271	-375,182	-385,265	20 de julio de 2019
767658	3,81	Av. 13 de mayo	668,473	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,095	-385,276	-375,135	-385,271	20 de julio de 2019
767659	3,58	Av. 13 de mayo	110,013	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,118	-38,527	-375,054	-385,278	20 de julio de 2019
767660	3,44	Av. 13 de mayo	145,603	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,054	-385,278	-374,968	-385,288	20 de julio de 2019
767661	2,47	Av. 13 de mayo	733,391	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,051	-385,281	-375,095	-385,276	20 de julio de 2019
767662	7,49	Av. 13 de mayo	395,069	fuerza	Av. 13 de mayo	-375,028	-385,283	-375,051	-385,281	20 de julio de 2019
767663	4,41	Av. 13 de mayo	770,111	fuerza	Av. 13 de mayo	-374,983	-385,289	-375,028	-385,283	20 de julio de 2019
767664	5,98	Av. 13 de mayo	826,876	fuerza	Av. 13 de mayo	-374,934	-385,294	-374,983	-385,289	20 de julio de 2019
767665	2,39	Av. 13 de mayo	839,045	fuerza	Av. 13 de mayo	-374,968	-385,288	-374,918	-385,293	20 de julio de 2019
767666	5,03	Av. 13 de mayo	83,244	fuerza	Av. 13 de mayo	-374,918	-385,293	-37,487	-385,299	20 de julio de 2019

Nota. Adaptado de Gondim, A. 2019, del sitio web el repositorio de la Universidade Federal do Ceará DOC: *Using smartphones to assess pavement roughness*. Universidade Federal do Ceará.

2.2.12.5. Descripción General de la prueba TotalPave

a. Fijación del dispositivo móvil

El teléfono debe instalarse firmemente en el parabrisas del vehículo utilizando un soporte estable, tal como se aprecia en la figura 40. Este soporte debe garantizar que el dispositivo permanezca inmóvil y correctamente alineado durante toda la evaluación. Una instalación correcta es esencial, ya que un soporte inadecuado o inestable puede generar movimientos indeseados del dispositivo y alterar significativamente la calidad de los datos obtenidos durante la prueba.

Figura 40

Soporte del teléfono asegurado en el parabrisas.



Nota. Adaptado de TotalPave, 2019, del sitio web <https://totalpave.zendesk.com/hc/en-us/articles/360051153074-Step-2-Level-Device> DOC: Step #2: Level Device. La imagen muestra la sujeción del dispositivo móvil en una posición estable y nivelada sobre el parabrisas, asegurando un montaje adecuado para el proceso de medición.

b. Alineación vertical del dispositivo

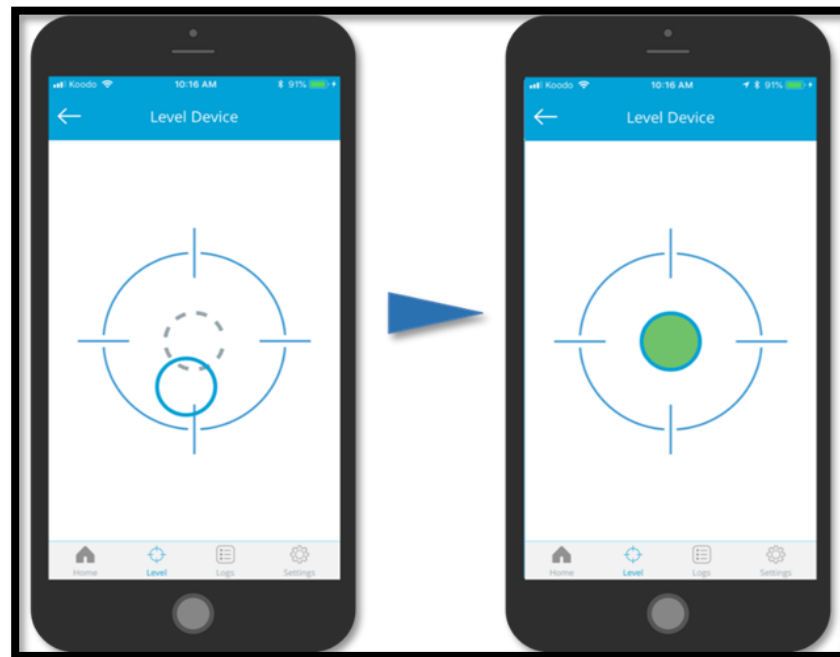
Para garantizar que el teléfono se encuentre correctamente orientado, se debe emplear la función de nivelación integrada en el aplicativo TotalPave, así como se observa en la Figura 41. Este proceso consiste en ajustar la posición del dispositivo hasta lograr una orientación vertical precisa, siguiendo los pasos señalados a continuación:

- Acceder al aplicativo TotalPave utilizando la cuenta del usuario.
- En la pantalla principal, seleccionar la opción “Nivel”.

- Realizar los ajustes necesarios en el soporte del dispositivo hasta que la burbuja del nivel se sitúe exactamente en el centro y cambie a color verde, como se muestra en la figura correspondiente.
- Una vez obtenida la nivelación adecuada, el sistema está listo para iniciar la captura de información, presionando la opción “Inicio”.

Figura 41

Herramienta de nivelación del dispositivo móvil.



Nota. Adaptado de TotalPave, 2019, del sitio web <https://totalpave.zendesk.com/hc/en-us/articles/360051153074-Step-2-Level-Device> DOC: Step #2: Level Device. La imagen presenta el proceso de alineación del smartphone utilizando la función de nivel del aplicativo TotalPave.

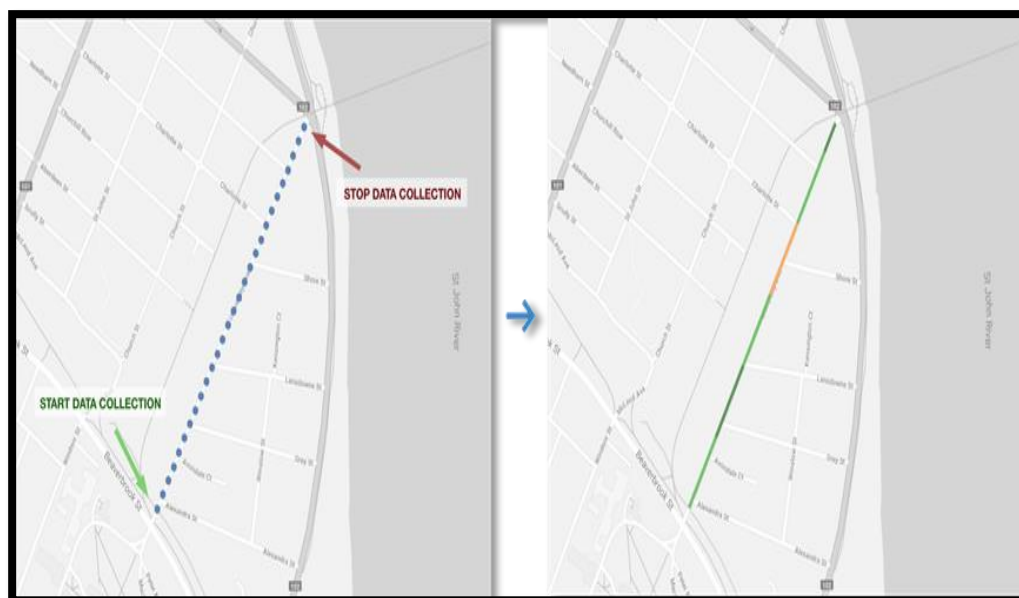
c. Segmentación del recorrido

Cuando se realiza por primera vez una medición en un tramo específico, el recorrido queda registrado en el portal web de TotalPave como una línea georreferenciada que representa la trayectoria seguida por el vehículo. Esta línea se divide automáticamente en intervalos cuya longitud depende del parámetro configurado por el usuario al crear su cuenta (el valor predeterminado es de 100 m). En la Figura 42 se aprecia que las mediciones posteriores sobre el mismo trayecto, el sistema asigna los valores de IRI

obtenidos a esos segmentos previamente generados. Un ejemplo de esta visualización se presenta en la figura indicada.

Figura 42

Registro del IRI en los segmentos de la vía

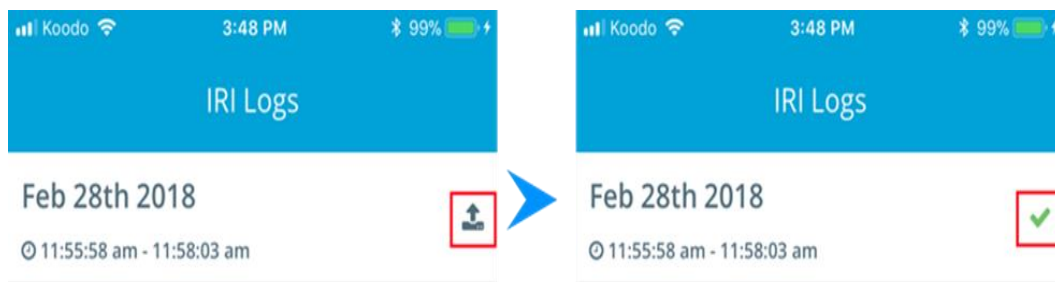


Nota. Adaptado de TotalPave, 2019, del sitio web <https://totalpave.zendesk.com/hc/en-us/articles/360051153074-Step-2-Level-Device-DOC-Step-#3: Drive Sections>. La imagen muestra el mapa de la plataforma web de TotalPave, donde se visualizan los tramos evaluados y los valores de IRI asociados a cada uno de ellos.

Es importante señalar que, en el caso de un proyecto nuevo, la plataforma puede tardar entre 24 y 48 horas en mostrar la línea correspondiente a la primera medición. En cambio, las evaluaciones posteriores sobre segmentos ya existentes se reflejan en la cuenta del usuario después de unos minutos.

d. Carga de registros

Una vez que los datos son enviados al sistema, la plataforma procesa automáticamente la información recopilada y genera los valores de IRI, los cuales quedan disponibles para su consulta en el portal web asociado a la organización del usuario. Este procedimiento se ilustra en la figura 43.

Figura 43*Registros IRI*

Nota. Adaptado de TotalPave, 2019, del sitio web <https://totalpave.zendesk.com/hc/en-us/articles/360051153114-Step-4-Upload-Logs> DOC: Step #4: Upload Logs. La imagen muestra cómo el sistema confirma la carga exitosa del archivo mediante un ícono de verificación ubicado junto al registro.

Al acceder al aplicativo por primera vez, este solicitará permiso para utilizar la ubicación GPS del dispositivo, requisito indispensable para georreferenciar correctamente los valores de IRI durante la evaluación.

2.2.13. RoadBounce

2.2.13.1. Antecedentes y desarrollo tecnológico del RoadBounce

El aplicativo RoadBounce es una herramienta digital creada por la empresa india Definitics Software Solutions Pvt. Ltd., con el propósito de medir la rugosidad longitudinal de los pavimentos empleando únicamente los sensores integrados en los teléfonos inteligentes. Su desarrollo se inició en 2016, año en el que comenzó un periodo de pruebas beta en conjunto con autoridades de transporte de India, y su lanzamiento público ocurrió en 2017, constituyéndose en una alternativa de bajo costo frente a los sistemas tradicionales de medición de irregularidad superficial (Highways Today, 2017).

En la Figura 44 se aprecia RoadBounce, durante su proceso de validación, fue empleado para evaluar más de 90 000 km de carreteras en coordinación con los Departamentos de Obras Públicas a nivel estatal, integrándose incluso con el *Road Information System* (RIS) del Gobierno de la India para el inventariado vial (Highways Today, 2017). Este despliegue evidencia su aplicabilidad en redes de transporte extensas y su utilidad en la planificación y mantenimiento vial.

Figura 44*Logo oficial del aplicativo RoadBounce*

Nota. Adaptado de RoadBounce (2018), del sitio web <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.definitics.rbpremium&hl=en-US> DOC: Portal Web de RoadOunce.

2.2.13.2.Principio de funcionamiento del RoadBounce

El funcionamiento del aplicativo se basa en el registro e interpretación de las vibraciones generadas por el vehículo al desplazarse sobre el pavimento. Para ello, el sistema hace uso de los siguientes sensores del teléfono inteligente:

a. Acelerómetro

Captura las aceleraciones verticales asociadas a las irregularidades de la superficie. Estas señales constituyen la base para la estimación del IRI (RoadBounce, 2023).

b. Giroscopio

Permite corregir cambios angulares o laterales del teléfono, filtrando movimientos no asociados al pavimento.

c. GPS

Determina posición, distancia recorrida y velocidad, permitiendo segmentar los tramos evaluados y georreferenciar los registros. El aplicativo también considera factores como el tipo de vehículo, la suspensión, el soporte del dispositivo y la posición del teléfono dentro del habitáculo, con el fin de mejorar la consistencia de las mediciones (Highways Today, 2017).

2.2.13.3. Relación con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

El valor del IRI se obtiene a partir del análisis del movimiento vertical inducido en el vehículo. RoadBounce transforma las señales capturadas por el acelerómetro en un indicador de rugosidad utilizando modelos matemáticos basados en el “vehículo estándar” empleado mundialmente, lo cual se aprecia en la Figura 45.

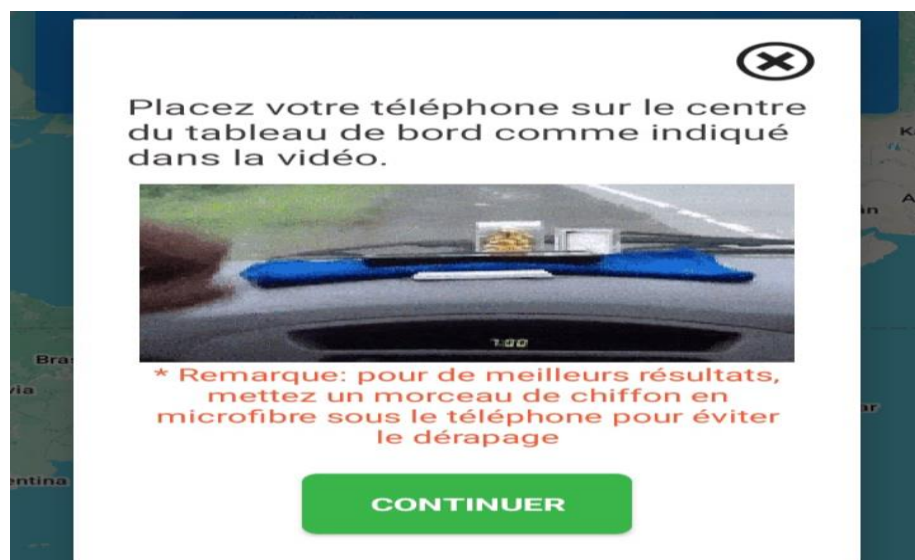
Este procedimiento está alineado con el estándar propuesto en el International Road Roughness Experiment (IRRE) organizado por el Banco Mundial (Banco Mundial, 1986).

a. Configuración inicial del dispositivo

- RoadBounce recomienda ubicar el teléfono en el centro del tablero, sobre una superficie firme y estable.
- La aplicación solicita calibrar la orientación según el acelerómetro.
- Se selecciona el tipo de superficie (asfalto, concreto o grava).
- Se define la distancia de cálculo del IRI (20 m, 100 m o 1 km).

Figura 45

Montaje y alineación del dispositivo en el parabrisas



Nota. Adaptado de aplicativo de RoadBounce (2025),
<https://roadbounce.com/> DOC: Instrucción para iniciar para la toma de datos.

b. Registro de vibraciones y movimiento del vehículo

Durante la circulación, el aplicativo:

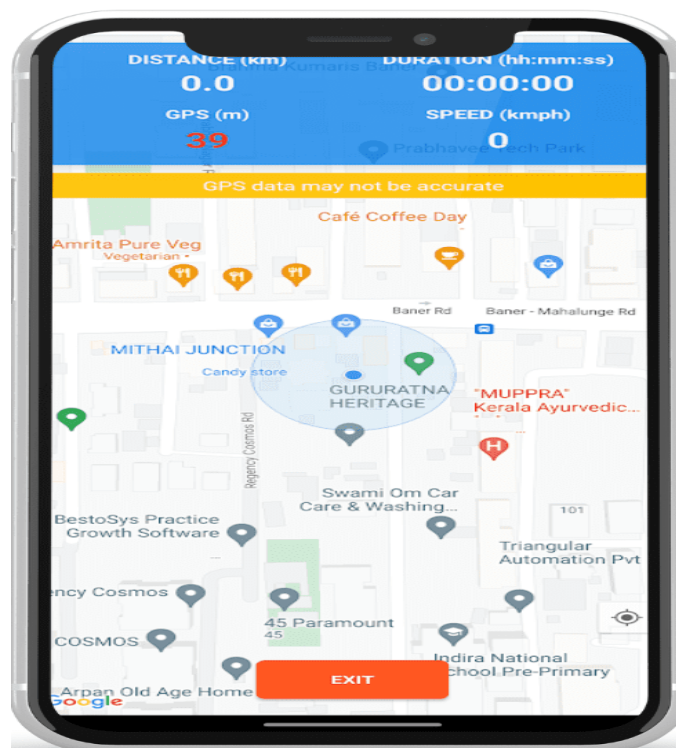
Captura vibraciones verticales generadas por la interacción neumático–superficie.

- Procesa variaciones angulares mediante el giroscopio.
- Asocia cada lectura a coordenadas mediante GPS.
- Genera niveles preliminares de rugosidad por tramos consecutivos.

Este proceso ocurre en tiempo real, permitiendo al conductor visualizar en el mapa la condición funcional de la vía, como se observa en la Figura 46.

Figura 46

Interfaz de registro de datos durante el recorrido



Nota. Adaptado de RoadBounce (2025), del sitio web <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.definitics.rbpremium&hl=en-US> DOC: Portal Web de RoadBounce.

c. Visualización georreferenciada y codificación por colores

Una vez recopilados los datos, la aplicación genera un mapa dinámico donde:

- Cada tramo se representa mediante un color que indica el nivel de rugosidad.
- Los rangos se basan en el estándar internacional IRI.
- El usuario puede ampliar, comparar o exportar los segmentos evaluados.

En la Figura 47 se observa que, esta representación facilita proponer zonas críticas, hundimientos, fisuras longitudinales o sectores deteriorados.

Figura 47

Mapa de rugosidad representado en colores según IRI



Nota. Adaptado de RoadBounce (2025), del sitio web <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.definitics.rb.premium&hl=en-US> DOC: Portal Web de RoadBounce.

d. Exportación y análisis de datos

RoadBounce permite exportar los registros mediante:

- CSV → análisis estadístico.
- KML → visualización geoespacial en Google Earth o SIG.
- PDF → informes técnicos.

Los datos procesados incluyen:

- Velocidad empleada,
- nivel de vibración promedio,
- IRI parcial por segmento,
- IRI general del tramo,
- georreferenciación del recorrido.

Dichos aspectos pueden observar en la Figura 48, que presenta los valores de IRI, dándose así la exportación y análisis de datos.

Figura 48

Exportación del archivo CSV con valores de IRI.



Nota. Adaptado de RoadBounce (2025), del sitio web <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.definitics.rbppremium&hl=en-US> DOC: Portal Web de RoadBounce.

e. Funciones principales del aplicativo RoadBounce

- Medición continua de rugosidad: El software genera valores de IRI a medida que el vehículo avanza, sin requerir procesamiento externo.
- Representación geoespacial: Los resultados se muestran sobre un mapa,

facilitando la interpretación y el análisis visual.

- Soporte para múltiples superficies: El usuario puede seleccionar pavimentos asfaltados, rígidos, afirmados o caminos de tierra.
- Comparación histórica: Permite comparar mediciones antiguas y recientes del mismo tramo para evaluar el deterioro.
- Generación de reportes: Produce resúmenes automáticos listos para anexos de estudios viales.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Rugosidad

Parámetro que describe las variaciones longitudinales presentes en la superficie de rodadura del pavimento. Este indicador permite evaluar la condición funcional de la vía y el nivel de confort que experimentan los usuarios durante la circulación (MTC, 2013).

2.3.2. TotalPave

Aplicativo para teléfonos inteligentes que emplea los sensores internos del dispositivo, como el acelerómetro y el GPS, para registrar las vibraciones generadas por la interacción neumático–pavimento y calcular así la rugosidad del tramo evaluado de manera práctica y accesible (Gondim, 2019).

2.3.3. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Medida estandarizada globalmente que cuantifica el grado de irregularidad longitudinal del pavimento. Su valor está asociado al nivel de comodidad y seguridad que percibe el usuario durante el tránsito vehicular (Alvarenga E. , 2002).

2.3.4. RoadBounce

Aplicación móvil que estima la rugosidad superficial utilizando los datos de aceleración captados por el smartphone. El sistema genera un mapa cromático y valores aproximados de IRI a partir del comportamiento dinámico del vehículo durante el recorrido (RoadBounce, 2023).

2.3.5. Rugosímetro MERLIN

Dispositivo mecánico empleado para medir irregularidades longitudinales mediante lecturas sucesivas de desviaciones verticales. Permite obtener estimaciones del IRI a través de ecuaciones de correlación desarrolladas para este instrumento (Transport Research Laboratory, 1993).

2.3.6. Transitabilidad

Capacidad de una vía para permitir el desplazamiento continuo y seguro de los vehículos a lo largo de un tramo determinado (MTC, 2018).

2.3.7. Regularidad superficial

Condición asociada al grado de uniformidad de la superficie del pavimento. Una mayor regularidad implica mejores condiciones de servicio, mientras que las irregularidades afectan el confort del usuario (Sayers & Karamihas, 1998).

2.3.8. Índice de serviciabilidad

Indicador que expresa el nivel de comodidad y seguridad que ofrece un pavimento en un momento específico, considerando la percepción del usuario sobre el desempeño funcional de la vía (Pomasonco de la Cadena R. , 2010).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de investigación

Esta investigación se clasifica como no experimental debido a que se empleó y comparó tres métodos distintos el rugosímetro Merlin, TotalPave y RoadBounce para determinar la rugosidad en un sector de la Av. Los Molles. Mediante el uso de estos instrumentos y la recolección de información directamente en el entorno real, es posible obtener resultados que permiten valorar la condición del pavimento y plantear posibles mejoras. Este tipo de procedimiento corresponde a un enfoque Aplicativo, pues se aplicó teorías y normas para medir y analizar el estado actual del pavimento flexible, las conclusiones se sustentan en mediciones efectuadas en campo y en la comprobación práctica de los métodos utilizados.

3.2. Acciones y actividades

El desarrollo de la presente investigación se proyectó a un periodo estimado de cinco meses a partir de su aprobación. Para su ejecución, se definieron las siguientes acciones y actividades organizadas de manera secuencial:

a. Revisión bibliográfica

- Se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura científica, normas técnicas y documentos especializados relacionados con la rugosidad en pavimentos flexibles, los parámetros de evaluación y su influencia en el desempeño y vida útil de las vías.
- Se examinó investigaciones previas que empleen métodos tradicionales y herramientas tecnológicas, como aplicaciones móviles, para la medición de la rugosidad.
- Se utilizó estándares internacionales y nacionales (ASTM, AASHTO, MTC, Banco Mundial, etc.) que respaldaron los procedimientos empleados en la determinación del IRI.

b. Estudio del Rugosímetro Merlin

- Comprender a profundidad el principio de funcionamiento del Rugosímetro Merlin, su fundamento mecánico y la forma en que convierte las variaciones superficiales del pavimento en indicadores de rugosidad.

- Se revisó sus especificaciones técnicas, campo de aplicación, limitaciones y la normativa que lo respalda como instrumento reconocido para la medición del IRI.
- Se realizó prácticas de calibración y verificación para asegurar una adecuada confiabilidad de los datos obtenidos.

c. Estudio del aplicativo móvil TotalPave

- Se analizó el funcionamiento del aplicativo TotalPave IRI, su algoritmo de procesamiento, los requerimientos del dispositivo móvil y los principios que utiliza para calcular la rugosidad.
- Se evaluó las especificaciones técnicas del sensor del teléfono (acelerómetro y giroscopio) que utiliza la aplicación para registrar las aceleraciones inducidas por el pavimento.
- Se pudo identificar su nivel de precisión, intervalo de confianza y condiciones ideales de uso para mediciones válidas.

d. Estudio del aplicativo móvil RoadBounce

- Se revisó el método de medición del aplicativo RoadBounce IRI, detallando las características del software, su sistema de adquisición de datos y el tratamiento matemático que emplea.
- Se estudió las especificaciones del hardware requerido (tipo de teléfono, sensibilidad de sensores, frecuencia de muestreo) y cómo estas influyen en la calidad de los datos.
- Se evaluó estudios comparativos internacionales donde RoadBounce haya sido validado frente a equipos como MERLIN o perfilómetros de alta precisión.

e. Diseño de la metodología de validación

- Se definió los parámetros de verificación y criterios comparativos que serán empleados para contrastar los resultados obtenidos con MERLIN, TotalPave y RoadBounce.

- Se estableció un plan de muestreo representativo para la Av. Los Molles, considerando la longitud total del tramo, condiciones del pavimento, tráfico y accesibilidad.
- Se diseñó protocolos de trabajo para asegurar la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.

f. Recolección de datos en campo

- Se ejecutó las mediciones en la Av. Los Molles utilizando los tres métodos seleccionados, asegurando condiciones homogéneas (velocidad constante, clima estable, ausencia de interferencias).
- Se registro de forma ordenada y precisa los datos obtenidos, garantizando el control de calidad mediante mediciones repetidas en puntos seleccionados.
- Se documentó con fotografías, coordenadas geográficas y anotaciones adicionales todas las observaciones relevantes del tramo evaluado.

g. Análisis y procesamiento de datos

- Se procesó los datos recolectados mediante herramientas estadísticas para proponer tendencias, variabilidad y coherencia entre los métodos utilizados.
- Se comparó los valores obtenidos con MERLIN frente a los generados por TotalPave y RoadBounce, a fin de evaluar su precisión relativa.
- Se interpretó los resultados en función de los rangos de clasificación del IRI, permitiendo proponer zonas críticas y necesidades de mantenimiento.

h. Interpretación y discusión de resultados

- Se evaluó los hallazgos obtenidos comparándolos con estudios previos y criterios técnicos establecidos en la normativa.
- Se identificó limitaciones operativas o técnicas de los métodos estudiados y plantear recomendaciones para mejorar la exactitud de futuras mediciones.
- Se determinó la pertinencia del uso de aplicaciones móviles como alternativa a los métodos tradicionales en evaluaciones preliminares de pavimentos.

i. Redacción de la tesis

- Se elaboró el documento de tesis estructurado en capítulos coherentes (introducción, marco teórico, metodología, resultados, discusión y conclusiones).
- Se aseguró el cumplimiento de las normas de formato, citación APA 7 y lineamientos establecidos por la institución académica.
- Se preparó anexos, tablas, gráficos, planos y evidencias fotográficas que complementen los resultados.

j. Revisión, correcciones y defensa de la tesis

- Se incorporó observaciones y recomendaciones proporcionadas por el asesor de tesis y el comité evaluador.
- Se preparó la presentación oral, desarrollando una defensa clara y sustentada en evidencia científica y resultados propios.
- Se ensayó la exposición, anticipar preguntas y perfeccionar el discurso.

k. Entrega final y difusión

- Se presentó la versión definitiva de la tesis cumpliendo todos los requerimientos administrativos.
- Se difundió los hallazgos como aporte al conocimiento y como referencia para futuras investigaciones o proyectos en el ámbito vial.

3.3. Materiales y/o instrumentos

3.3.1. Rugosímetro modelo TCP-065 (Merlin)

Las características técnicas del rugosímetro de Merlín, correspondiente al modelo TCP-065, se describen como se aprecia en la figura 49 de la siguiente manera:

- El equipo trabaja con una relación mecánica de palanca equivalente a 1:10.
- Posee un brazo móvil con una longitud aproximada de 1 000 mm, el cual permite registrar las variaciones de la superficie del pavimento.

Figura 49

Equipo móvil utilizado para la medición



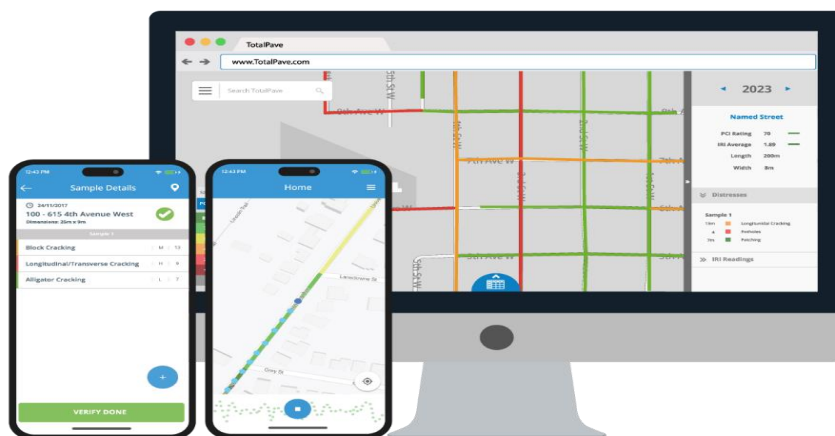
Nota. Adaptado de Redmi 13c, 2025 del sitio web <https://www.mi.com/pe/product/redmi-13c/specs/> DOC: Xiaomi anuncia el retiro de la Xiaomi 33W Power Bank 2

3.3.3. Aplicativo TotalPave

Se empleó la aplicación móvil TotalPave IRI, la cual utiliza los sensores incorporados en el teléfono como el acelerómetro y el giroscopio para detectar las oscilaciones generadas por el vehículo durante el recorrido. A partir de estas señales, el software aplica algoritmos de procesamiento que permiten obtener valores de rugosidad de forma rápida, precisa y con referencia geoespacial. Se observa en la Figura 51.

Figura 50

Aplicativo Totalpave utilizado en la investigación



Nota. Adaptado de TotalPave, 2025 del sitio web https://totalpave.com/?utm_source=chatgpt.com DOC: Total Pave Inc. "Collect standard road condition data using your smartphone."

3.3.4. Aplicativo ROADBOUNCE

Asimismo, se implementó el uso del aplicativo RoadBounce IRI, como se aprecia en la Figura 52, que registra las aceleraciones verticales del vehículo mediante los sensores del dispositivo móvil. Posteriormente, el programa interpreta la información recolectada para estimar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), posibilitando su comparación con métodos convencionales y con otras herramientas tecnológicas de evaluación del pavimento.

Figura 51

Aplicativo RoadBounce utilizado en la investigación



Nota. Adaptado de Definitics Software Solutions , 2025 del sitio web <https://roadbounce.com/roadbounce-iri-road-roughness/> DOC: Total Pave Inc. Definitics Software Solutions. "RoadBounce IRI Road Roughness – International Road Roughness Index Calculator."

3.3.5. Vehículo de la marca Hilux del año o similar en peso:

Para la toma de datos se utilizó una camioneta Toyota Hilux, que se aprecia en la Figura 53, en la cual se instaló un teléfono Redmi 13C como dispositivo de medición. El equipo móvil fue colocado en un soporte fijado al centro del parabrisas, asegurándolo en una posición estable y nivelada. El montaje se realizó con el vehículo detenido sobre una

superficie plana, garantizando la correcta alineación del teléfono para operar las aplicaciones TotalPave IRI y RoadBounce IRI durante el recorrido.

Figura 52

Vehículo Toyota Hilux empleado en el registro de la rugosidad vial



Nota. Adaptado de Toyota Motor Corporation. (s. f.), del sitio web <https://grupopana.com.pe/autos-nuevos/hilux> DOC: Evolution from 1st gen to 8th gen | History | Hilux 50th anniversary

3.4. Población y muestra de estudio

3.4.1. Población

En esta investigación, la población de estudio está constituida por las superficies asfaltadas de la avenida y calles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, específicamente en la Av. Los Molles con un tramo de 4,1km, que sirven de conexión con la ciudad de Tachna. Resulta indispensable evaluar la condición actual de dicho pavimento para proponer su estado real.

3.4.2. Muestra

La muestra analizada corresponde a una selección dado al desgaste visible del pavimento flexible, delimitada en un tramo de 2,30 km de la Avenida Los Molles, ubicado entre la Av. Bohemia Tacneña y la Av. Salgado José Cruz Guerra. Dicha sección presentó una sección transversal constante de dos calzadas de 7,20 m de ancho, constituidas por carriles de 3,60 m cada uno. El tramo fue seleccionado por su condición crítica, ya que soportó una alta demanda de carga vehicular mixta (incluyendo transporte público y vehículos menores), generando una alta incidencia de deterioros

superficiales visibles. Esta criticidad y el impacto resultante en la seguridad vial y el confort de los usuarios que se transportan, validaron la incorporación del tramo en el presente estudio para diagnosticar la problemática y proponer alternativas de mantenimiento en la vía.

3.5. Operacionalización de las variables

En el anexo 1 podemos observar la matriz de consistencia del presente estudio.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Variable independiente Método de evaluación empleado	Grado de similitud entre las mediciones y la clasificación del estado de servicio de la vía, determinado por la rugosidad.	Técnica de medición	MERLÍN - TotalPave - RoadBounce	Nominal Categorica (nominal)	Observación directa y registro instrumental
Variable dependiente: Condición superficial del pavimento flexible	Los procedimientos instrumentales empleados para la cuantificación de la regularidad superficial del pavimento flexible	Rugosidad superficial	Índice Internacional de Rugosidad (IRI) - Nivel de confort de conducción - Desviación estándar del perfil longitudinal	0–2 (excelente), 2–4 (aceptable), >4 (malo) — adaptar a normativa local	Medición con Rugosímetro MERLÍN - Aplicación TotalPave (Medición con smartphone) - Aplicación RoadBounce (registro de vibración del vehículo)

3.6. Procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Procedimiento para la evaluación de superficie con el dispositivo MERLÍN

- a. La prueba llevada a cabo con el rugosímetro MERLIN se ejecutó a través de una serie de pasos consecutivos. Estos fueron diseñados para mantener la exactitud de las mediciones y asegurar la confiabilidad de los hallazgos. El procedimiento abarcó tres fases: la ajustar el equipo (calibración inicial), la adquisición metódica de datos sobre las desviaciones en el terreno, y la subsecuente manipulación de la información para obtener el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). A continuación, se presentó una descripción pormenorizada de cada fase del protocolo. Preparación y calibración del equipo:

- Antes de comenzar cualquier medición, el rugosímetro MERLÍN fue debidamente calibrado con el fin de asegurar su funcionamiento correcto. Para ello, el dispositivo fue colocado sobre una superficie rígida y perfectamente nivelada. Una vez estabilizado, se ajustaron los puntos de apoyo y los mecanismos de regulación hasta lograr que el puntero del indicador coincidiera con el valor de referencia de 25 unidades en la escala. Esta etapa fue fundamental para establecer la condición base del instrumento y evitar desviaciones en las mediciones subsecuentes.

b. Determinación del factor de corrección:

- Con el equipo calibrado, se procedió a obtener las primeras dos lecturas necesarias para determinar el factor de corrección. Como se aprecia en la Figura 54.
- La primera lectura (L_i) fue tomada con el equipo en su estado normal, mientras que la segunda lectura (L_f) se obtuvo colocando la pastilla o bloque de calibración en la superficie inferior del dispositivo.
- La diferencia entre ambas mediciones permitió calcular el factor de ajuste, que posteriormente fue aplicado a todas las lecturas registradas en campo para compensar posibles variaciones operativas del equipo.

c. Conformación del equipo de trabajo

Para la ejecución del ensayo se requirió la participación de dos personas, distribuidas según funciones específicas:

- Operador principal: responsable que manipuló el MERLÍN, desplazarlo a lo largo del tramo y asegurar la correcta posición del equipo antes de cada lectura.
- Asistente técnico: se encargó de registrar manualmente las lecturas emitidas por el puntero y llenar el formato correspondiente.

d. Ejecución de las lecturas de campo

- El levantamiento de información se realizó en segmentos de 400 metros, evaluando ambos sentidos de circulación.

- El método de registro implicó que el operario sujetó el dispositivo por sus asas laterales. Luego, lo levantó suavemente y lo movió hacia adelante hasta que la rueda completó un giro total (lo que equivale a 2 metros de distancia). Tras depositar nuevamente el equipo sobre la superficie, asegurándose de que sus tres puntos de apoyo (la rueda delantera, el soporte trasero fijo y el brazo lateral de estabilización) estuvo en contacto, se procedió a documentar el valor exhibido por el indicador. Este valor se leía en una escala que comprende de 1 a 50 unidades.
- Cada tramo consideró un total de 200 desviaciones continuas, distribuidas en una cuadrícula de 20 filas por 10 columnas. Este formato permitió mantener un orden riguroso en la toma de datos y asegurar la continuidad entre mediciones consecutivas.

e. Organización, depuración y procesamiento de datos

Finalizada la etapa de campo, todas las lecturas fueron trasladadas a una hoja de cálculo en Excel, estructurada para facilitar su análisis.

El procesamiento incluyó los siguientes pasos:

- Registro secuencial: se ingresó de cada desviación en el orden en que fueron tomadas, indicando tramo, sentido y número de lectura.
- Revisión y depuración: se identificó los valores anómalos producto de errores de lectura, interferencias en el apoyo del equipo o perturbaciones externas. Estos datos fueron descartados o corregidos siguiendo criterios estadísticos.
- Se calculó de la desviación media: se obtuvo el valor promedio de las lecturas depuradas, parámetro fundamental para la cuantificación de la rugosidad longitudinal.
- Conversión a IRI: mediante la ecuación empírica propuesta por el Transport and Road Research Laboratory (TRL), la desviación media se transformó a su valor equivalente del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
- Elaboración de cuadros comparativos: los resultados de cada tramo fueron organizados en tablas que permitieron proponer variaciones significativas, áreas críticas y zonas homogéneas en el pavimento.

- Análisis e interpretación: los valores obtenidos fueron contrastados con estándares nacionales e internacionales, facilitando el planteamiento de alternativas de intervención o mantenimiento vial.

f. Integración de resultados en la metodología general de la investigación

Los valores obtenidos del rugosímetro MERLÍN permitieron complementar el análisis funcional del pavimento dentro del estudio.

Al estar integrados en el Capítulo de Metodología, estos resultados respaldaron la selección de tramos críticos, la comparación con otros métodos instrumentales de evaluación, y la validación de la estrategia de medición adoptada.

El procedimiento descrito aseguró una caracterización confiable del estado superficial de la vía y constituye una base metodológica sólida para la generación de conclusiones y recomendaciones técnicas.

Figura 53

Registro de lecturas con el rugosímetro MERLÍN.



Nota. La imagen muestra el proceso de medición realizado en la Av. Los Molles, en el distrito de Gregorio Albarracín, utilizando el dispositivo MERLÍN para la evaluación de la rugosidad.

3.6.2. Procedimiento para la evaluación de superficie con el dispositivo Totalpave

La obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) mediante el aplicativo TotalPave se desarrolló siguiendo un protocolo operativo estructurado, que abarcó desde la preparación del vehículo y del dispositivo móvil hasta la descarga,

procesamiento e interpretación final de los datos. El procedimiento detallado a continuación garantiza que la metodología aplicada sea reproducible y técnicamente consistente.

a. Preparación y configuración inicial del sistema TotalPave

Antes de iniciar la campaña de mediciones, fue necesario configurar el aplicativo TotalPave y asegurar la correcta instalación del smartphone en el vehículo.

Las actividades desarrolladas incluyeron:

- Se registró y activó de la cuenta de usuario en la plataforma TotalPave.
- Se actualizó el aplicativo a la versión más reciente disponible.
- Se configuró el modelo del vehículo, tipo de superficie que se evaluó y datos generales del proyecto.
- Se colocó el dispositivo móvil (Samsung Galaxy Note 10) en un soporte rígido colocado en el centro del parabrisas de la camioneta Toyota Hilux.
- Por último, se verificó el nivel horizontal del teléfono, donde se ajustó la base del soporte hasta asegurar su estabilidad durante el recorrido.

Estas acciones permitieron garantizar una lectura precisa del acelerómetro interno del teléfono, el cual constituye el sensor principal para el cálculo del IRI mediante TotalPave, como se aprecia en la Figura 55.

Figura 54

Dispositivo móvil instalado en la zona central del parabrisas



Nota. Se observa el montaje del smartphone sobre el parabrisas, posición empleada para la obtención de los datos de rugosidad mediante TotalPave.

b. Alineamiento del vehículo y revisión de condiciones previas

El ensayo inició con la colocación del vehículo en un punto de partida definido dentro del tramo a evaluar.

Previo al recorrido se verificó:

- Estado mecánico del vehículo.
- Presión adecuada de los neumáticos.
- Ausencia de cargas sueltas dentro de la cabina para evitar vibraciones adicionales.
- Disponibilidad de una ruta continua sin interrupciones inesperadas.

Estas verificaciones previas son indispensables, dado que TotalPave transforma las vibraciones registradas por el teléfono en estimaciones de rugosidad longitudinal.

c. Ejecución del recorrido de medición

La evaluación consistió en recorrer cada calzada (subida y bajada) manteniendo condiciones operativas constantes.

El procedimiento fue el siguiente:

- En la pantalla principal del aplicativo, se seleccionó la opción “Iniciar recopilación de datos”.
- El vehículo inició su desplazamiento manteniendo una velocidad estable entre 40 y 60 km/h, tal como recomienda TotalPave para obtener mediciones confiables. Se puede apreciar en la Figura 56.
- Durante el recorrido, el acelerómetro del smartphone capturó de manera continua las vibraciones verticales generadas por la interacción entre los neumáticos y la superficie del pavimento.
- El sistema almacenó cada una de las lecturas en tiempo real, vinculándolas con su ubicación GPS.
- Al finalizar el tramo, el operador seleccionó la opción “Detener recopilación”, quedando la información guardada localmente en el smartphone.

Este procedimiento se repitió para ambos sentidos de circulación, garantizando una evaluación completa de la avenida.

Figura 55

Pantalla de recolección de datos del aplicativo TotalPave



Nota. La figura muestra la pantalla del aplicativo TotalPave mientras se registran las mediciones de rugosidad en la Av. Los Molles.

d. Transferencia y almacenamiento de los datos en la nube

Una vez asegurada la estabilidad de la conexión Wi-Fi o de datos móviles, se procedió a cargar la información desde el smartphone hacia la plataforma web de TotalPave., como se aprecia en la Figura 57.

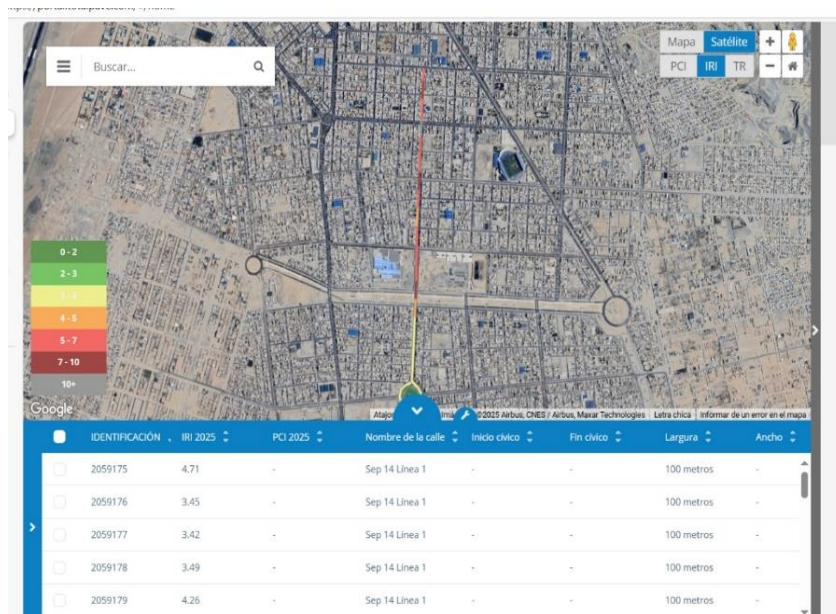
El sistema almacenó automáticamente:

- Fecha del ensayo
- Sentido de desplazamiento
- Velocidad promedio
- Lecturas de vibración
- Cálculo automático del IRI
- Mapa del recorrido GPS

La plataforma clasificó los registros por proyecto, facilitando su identificación y posterior descarga.

Figura 56

Registros obtenidos en TotalPave listos para descarga



Nota. La imagen muestra las evaluaciones realizadas en campo que han sido almacenadas en la plataforma y se encuentran disponibles para su descarga.

e. Descarga, organización y depuración de datos

Con los registros disponibles en el portal web, se descargaron los archivos en formato CSV.

El procesamiento en Excel incluyó:

- La organización de los datos por tramo, separando subida y bajada.
- La eliminación de lecturas anómalas, asociadas normalmente a frenadas bruscas, baches extremos, vehículos cruzando o pérdida momentánea de señal.
- La verificación de la velocidad promedio del tramo, descartando segmentos que no cumplieron con el rango recomendado de 40–60 km/h.
- Y la identificación de variaciones abruptas, para determinar zonas críticas en la vía.

Este filtrado garantizó que los valores finales del IRI representaran fielmente la condición funcional de la superficie evaluada.

f. Cálculo del IRI ponderado por calzada

El aplicativo TotalPave proporcionó un valor de IRI por cada segmento recorrido; sin embargo, para efectos de análisis técnico, fue necesario obtener un valor representativo por calzada.

Para ello se calculó:

$$IRI_{PONDERADO} = \frac{\sum (IRI_i \times L_i)}{\sum L_i} \quad (4)$$

Donde:

IRI_i = rugosidad de cada segmento,

L_i = longitud del segmento evaluado.

Este valor permitió caracterizar cada sentido de circulación y compararlo con los rangos normativos vigentes

g. Análisis final e interpretación de resultados

Con los valores ponderados se elaboraron:

- Tablas comparativas de IRI por segmento.
- Gráficos de tendencia de rugosidad.
- Mapas lineales del nivel de deterioro.
- Identificación de zonas críticas que superan los límites aceptables.

Finalmente, los valores se contrastaron con:

- La normativa peruana ($IRI \leq 2,5$ para condición buena en vías urbanas).
- Estándares internacionales establecidos por el Banco Mundial.

Este análisis permitió determinar el estado de conservación de la carpeta asfáltica de la Av. Los Molles y establecer diagnóstico técnico para la planificación de futuras intervenciones.

3.6.3. Procedimiento para la evaluación de superficie con el dispositivo RoadBounce

La evaluación del estado funcional de la superficie de rodadura se realizó empleando el aplicativo móvil RoadBounce, el cual permitió estimar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) mediante la lectura de las vibraciones registradas por el acelerómetro

del teléfono inteligente. Para garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos, se aplicó un procedimiento sistemático que comprendió la configuración del sistema, el montaje del dispositivo en el vehículo, la ejecución del recorrido y el procesamiento posterior de la información.

a. Montaje del dispositivo móvil en el vehículo

Para garantizar la estabilidad del equipo durante las mediciones, se siguieron las recomendaciones proporcionadas por el propio aplicativo. En la Figura 58 se observa la aplicación RoadBounce señaló que el teléfono debe ubicarse en el centro del tablero del vehículo, sobre una superficie plana que asegure un apoyo firme.

Con el propósito de evitar deslizamientos y asegurar lecturas consistentes del sensor, se colocó una tela de microfibra como base, siguiendo la sugerencia mostrada en pantalla por el sistema. Esta disposición contribuyó a reducir interferencias causadas por vibraciones ajenas al movimiento del vehículo y optimiza la sensibilidad del acelerómetro.

Figura 57

Aplicación RoadBounce empleada durante el estudio



Nota. La imagen muestra la correcta ubicación y alineamiento del dispositivo móvil al momento de utilizar el aplicativo RoadBounce para el registro de rugosidad.

b. Desarrollo del recorrido de medición

Una vez concluida la instalación del dispositivo y configurado el aplicativo, se procedió a ejecutar el recorrido de evaluación en el tramo seleccionado. El procedimiento aplicado fue el siguiente:

- Se posicionó el vehículo al inicio del tramo de estudio.
 - En la interfaz principal del aplicativo, se seleccionó la opción “Iniciar recopilación de datos”.
 - El vehículo avanzó manteniendo una velocidad dentro del rango configurado (41–80 km/h), procurando mantener una marcha constante para evitar perturbaciones en la señal.
 - Durante el recorrido, el aplicativo registró las vibraciones verticales producidas por la interacción neumático–pavimento y las sincronizó con la ubicación obtenida mediante GPS.
 - Concluido el tramo, se detuvo la medición seleccionando “Finalizar registro”, quedando la información almacenada temporalmente en el teléfono móvil.
- Como se observa en la Figura 59.

Este procedimiento se realizó para el carril de subida y el carril de bajada, a fin de obtener un diagnóstico integral de la rugosidad del pavimento.

Figura 59

Toma de lecturas en carriles de subida y bajada usando RoadBounce



Nota. Se observa la recolección de datos en los carriles de subida y bajada de la Av. Los Molles utilizando el aplicativo RoadBounce para evaluar la rugosidad del pavimento.

c. Transferencia y descarga de la información

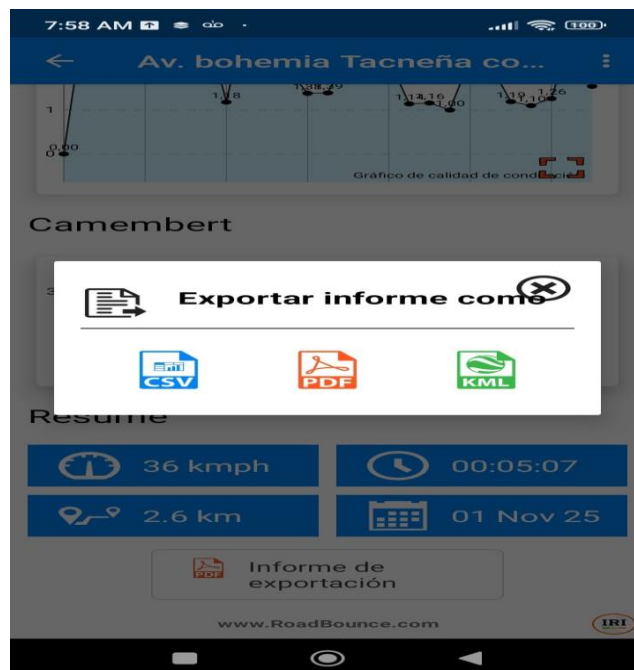
Al finalizar las mediciones, los datos recopilados fueron enviados a la plataforma en línea de RoadBounce mediante una conexión Wi-Fi. La interfaz web del sistema permitió visualizar los recorridos almacenados, incluyendo información como:

- velocidad promedio,
- distancia recorrida,
- número de segmentos procesados (cada 100 m),
- valores preliminares de rugosidad obtenidos en cada tramo.

En la Figura 60 se observa que, desde la plataforma se descargaron los registros en formato compatible para análisis (CSV), preservando la numeración y el orden generado por la aplicación.

Figura 60

Exportación de los datos obtenidos desde RoadBounce



Nota. La imagen muestra el proceso de descarga de los registros generados por el aplicativo RoadBounce en formato CSV, utilizados posteriormente para el análisis de rugosidad del pavimento.

d. Procesamiento y depuración de datos

- La información descargada fue organizada en una hoja de cálculo, donde se realizó un proceso de depuración que comprendió:
- Se tuvo una revisión de la continuidad de los segmentos de 100 metros,
- Se corroboró la velocidad de operación dentro del rango programado.
- Se eliminó lecturas anómalas asociadas a frenadas abruptas, baches inesperados o interferencias externas,
- Se verificó la presencia de señal GPS durante todo el trayecto.

Este filtrado permitió obtener una base consistente y adecuada para los cálculos posteriores.

e. Interpretación de resultados

Finalmente, los valores obtenidos fueron comparados con las escalas de clasificación internacionales del IRI con el fin de determinar:

- el nivel de confort al usuario,
- la severidad de las deformaciones presentes en la superficie,
- el estado funcional del pavimento y sus requerimientos de mantenimiento.

Esta interpretación permitió establecer un diagnóstico técnico del tramo evaluado, identificando las zonas críticas que requieren intervención.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados de los valores IRI obtenidos por el rugosímetro de Merlín

En la realización de este proyecto se empleó el método del Rugosímetro de Merlín, un sistema especializado en determinar la condición superficial de la vía. La evaluación se realizó en la avenida Los Molles, comprendiendo un tramo entre el km 0+000 y el km 2+300.

Durante el estudio del ensayo, se evaluó ambas calzadas, derecho e izquierdo, con la finalidad de recabar información precisa sobre el estado de la vía. La información proporcionada por este análisis, será fundamental para guiar las futuras acciones de mantenimiento y mejora en la vía, además de señalar las posibles zonas prioritarias de intervención. Los resultados del estudio se detallan a continuación.

4.1.1. Datos *obtenidos* del rugosímetro de Merlín

Para obtención del IRI mediante el rugosímetro Merlín se evaluó de acuerdo a los parámetros de la metodología de 400 metros indicado en el Capítulo II.

En cada tramo evaluado se generaron 200 lecturas de acorde a la metodología presentada en esta investigación:

Como se observa en la figura 61 y 62, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores)

Figura 58

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 0+000 al 0+400

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO : AV. LOS MOLLES - TACNA
CARRIL : CARRIL DERECHO - HUELLA EXTERNA

Realizado por : Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.
Fecha de Emis. : 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

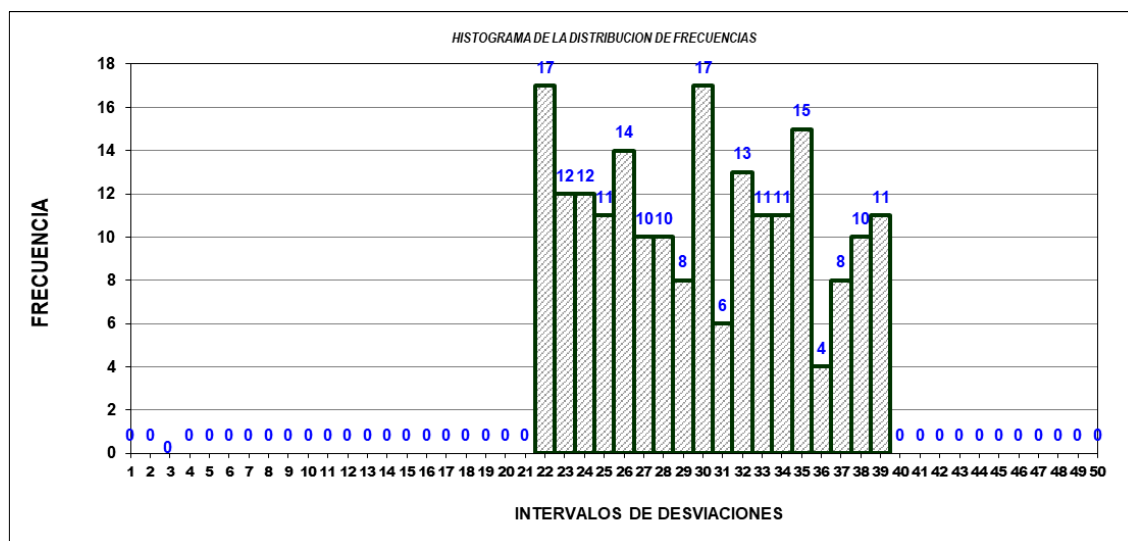
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 00+000 AL 00+400
Carril	: Carril Derecho - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	25
LF	10
FC	0.667

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 59

Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 0+000 al 0+400



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias obtenida en el ensayo muestra que la mayoría de las lecturas del MERLIN se concentran entre los valores 8 y 20 de la escala, con picos de mayor repetición en los valores 9, 12, 14 y 15, que alcanzan entre 12 y 17 ocurrencias. Esta concentración evidencia que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin presencia de irregularidades abruptas ni deformaciones severas, ya que los valores extremos tanto bajos como altos presentan frecuencias nulas o mínimas.

Después de descartar el 10 % de lecturas extremas, el rango efectivo del histograma alcanza un valor de $D = 82,51$, el cual, al ser corregido mediante el factor correspondiente ($FC = 0,667$), permite obtener el valor final de rugosidad del tramo. El cálculo arroja un IRI de 2,67 mm/m, valor que se clasifica dentro del rango de rugosidad moderada, indicando que la superficie mantiene un nivel aceptable de regularidad longitudinal y condiciones adecuadas de servicio para la circulación vehicular.

Como se observa en la figura 63 y 64, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 60

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 0+400 al 0+800

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO : AV. LOS MOLLES - TACNA	Realizado por : Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.
CARRIL : CARRIL DERECHO - HUELLA EXTERNA	Fecha de Emis. : 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN
 DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

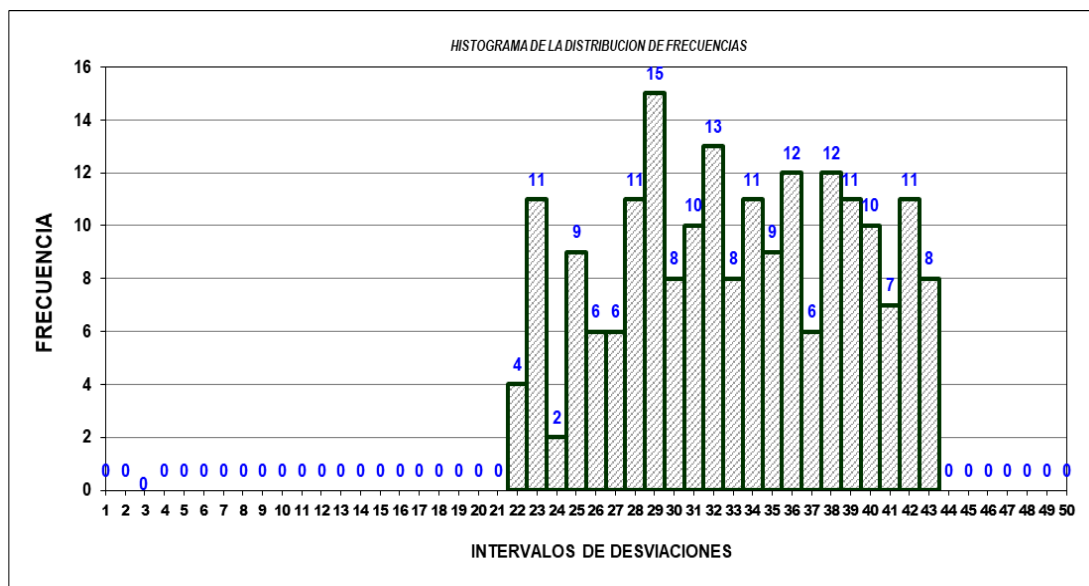
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 00+400 AL 00+800
Carril	: Carril Derecho - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	25
LF	10
FC	0.667

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 61

Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 0+400 al 0+800



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias obtenida con el rugosímetro MERLIN muestra que la mayoría de lecturas se concentran entre los valores 8 y 18 de la escala, con las mayores repeticiones en los intervalos intermedios. Esta concentración indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas y uniformes, sin registrar valores extremos que evidencien deformaciones severas o irregularidades abruptas.

El descarte del 10 % de lecturas extremas permite obtener un rango efectivo $D = 82,51$, representativo del comportamiento real del tramo. Al aplicar el factor de corrección y la correlación establecida para el método, se obtiene un IRI de 2,67 mm/m, valor que clasifica al pavimento dentro del rango de rugosidad moderada. Esto confirma que la superficie mantiene un buen nivel de regularidad y condiciones adecuadas para la circulación vehicular.

Como se observa en la figura 65 y 66, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores)

Figura 62

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 0+800 al 1+200

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO	: AV. LOS MOLLES - TACNA	Realizado por	: Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.
CARRIL	: CARRIL DERECHO - HUELLA EXTERNA	Fecha de Emis.	: 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

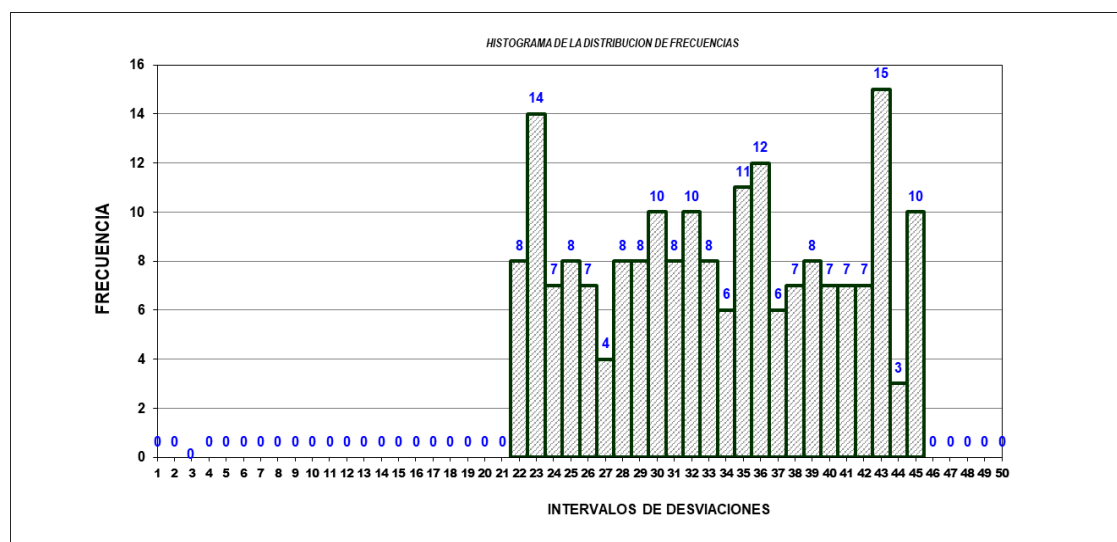
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	36	36	32	26	35	37	39	42	34	43
2	23	23	43	23	26	32	43	29	35	43
3	43	37	25	37	36	43	39	35	38	29
4	45	41	33	22	25	30	36	26	45	32
5	32	25	23	25	41	39	38	28	41	24
6	41	43	28	31	29	29	25	40	43	23
7	27	26	33	22	23	28	45	35	39	28
8	24	23	34	22	35	30	30	31	23	31
9	30	34	43	41	28	24	40	27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

DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 00+800 AL 01+200
Carril	: Carril Derecho - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	29
LF	16
FC	0.769

Figura 63

Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 0+800 al 1+200



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 0+800 – 1+200 muestra que la mayoría de lecturas se concentran entre los intervalos 8 y 22, con frecuencias predominantes entre 6 y 15 repeticiones. Esta concentración indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que señalen deformaciones severas. La ligera tendencia hacia intervalos superiores refleja pequeñas ondulaciones propias del desgaste superficial.

Después de descartar el 10% de datos extremos, el rango efectivo obtenido fue $D = 109,29$, que al aplicarse el factor de corrección correspondiente permitió calcular un IRI de 4,08 mm/m. Este valor clasifica al tramo dentro de una rugosidad moderada-alta, evidenciando un incremento en la irregularidad del pavimento, aunque sin llegar a condiciones críticas de deterioro.

Como se observa en la figura 67 y 68, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 64

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 1+200 al 1+600

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO

: AV. LOS MOLLES - TACNA

CARRIL

: CARRIL DERECHO - HUELLA EXTERNA

Realizado por

: Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.

Fecha de Emis.

: 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

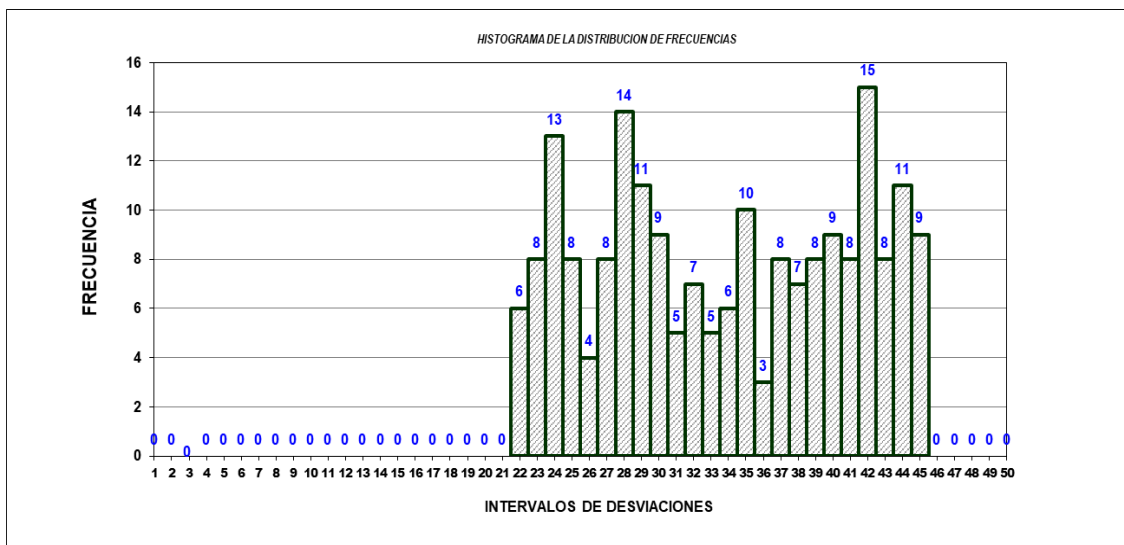
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 1+200 AL 1+600
Carril	: Carril Derecho - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	31
LF	19
FC	0.833

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 65

Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 1+200 al 1+600



Nota. Realizado en Excel 2023

La distribución de frecuencias del tramo 1+200 – 1+600 muestra que la mayoría de lecturas del MERLIN se agrupan entre los intervalos 7 y 23, con frecuencias máximas entre 11 y 15 repeticiones. Esta concentración en los rangos intermedios indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que evidencien resaltes severos o deformaciones críticas.

Los intervalos altos y bajos muestran frecuencias mínimas o nulas, lo que confirma una superficie sin irregularidades abruptas. Tras eliminar el 10 % de datos extremos, se obtiene un rango efectivo $D = 107,05$, que, al aplicarse el factor de corrección, genera un IRI de 4,33 mm/m. Este valor corresponde a una rugosidad moderada-alta, señalando un pavimento con mayor irregularidad superficial, aunque aún dentro de condiciones aceptables de servicio.

Como se observa en la figura 69 y 70, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 69

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 1+600 al 2+000

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO

CARRIL

: AV. LOS MOLLES - TACNA

: CARRIL DERECHO - HUELLA EXTERNA

Realizado por

Fecha de Emis.

: Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.

: 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

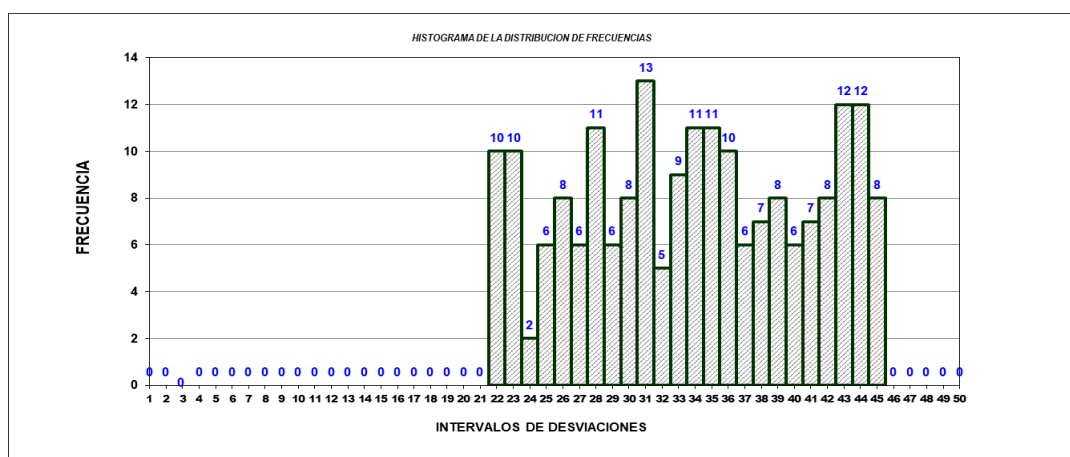
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 1+600 AL 2+000
Carril	: Carril Derecho - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	36
LF	25
FC	0.909

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 66

Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 1+600 al 2+000



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 1+600 – 2+000 muestra que la mayoría de las lecturas del MERLIN se concentran entre los intervalos 22 y 38, con frecuencias que alcanzan entre 6 y 13 repeticiones. Esta concentración en los rangos intermedios

indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que reflejen deformaciones severas o cambios bruscos en el perfil superficial.

La ligera tendencia hacia intervalos superiores evidencia pequeñas ondulaciones asociadas al desgaste natural del pavimento, mientras que los valores muy bajos o muy altos tienen frecuencias mínimas, confirmando la ausencia de irregularidades críticas. Tras depurar los datos, el rango efectivo del histograma alcanza valores cercanos a $D = 107,05$, que al aplicarse el factor de corrección permiten obtener IRI entre 4,33 mm/m.

Estos valores clasifican al tramo dentro de una rugosidad moderada-alta, indicando una superficie con mayor irregularidad, aunque aún dentro de condiciones funcionales aceptables.

Como se observa en la figura 71 y 72, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores)

Figura 67

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada derecha: 2+000 al 2+300

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO : AV. LOS MOLLES - TACNA CARRIL : CARRIL DERECHO - HUELLA EXTERNA	Realizado por : Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T. Fecha de Emis. : 15/09/2025
--	---

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN
 DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

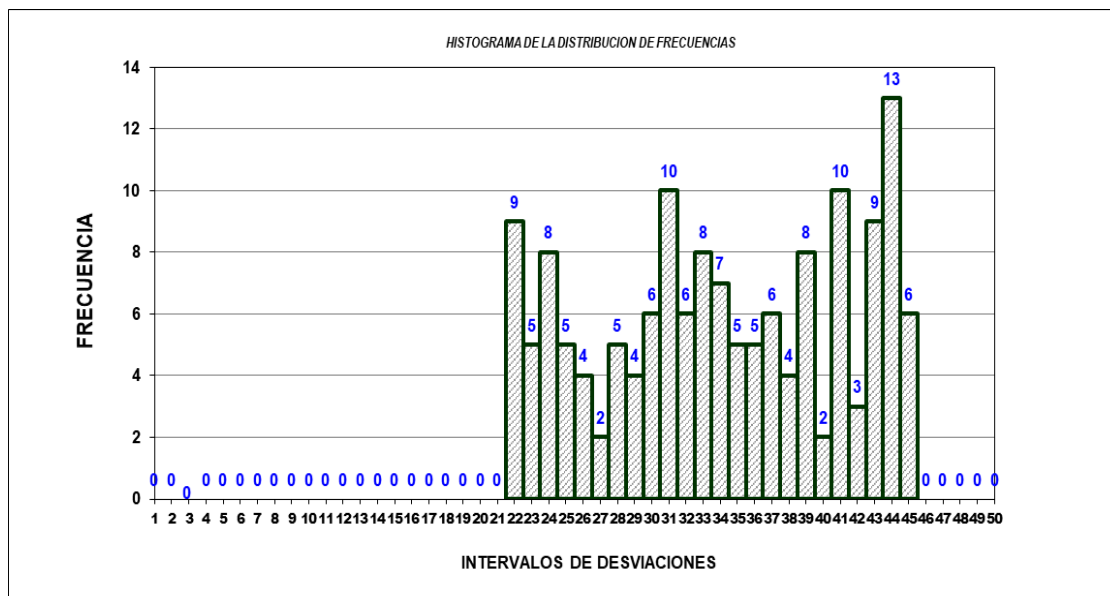
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 2+000 AL 2+300
Carril	: Carril Derecho - Huella Externa
Longitud	: 300 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	38
LF	29
FC	1.111

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 68

Distribución de frecuencias graficada – Calzada derecha: 2+000 al 2+300



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 2+000 – 2+300 muestra que la mayoría de lecturas se concentran entre los intervalos 7 y 25, con frecuencias máximas de 10 a 13 repeticiones. Esta concentración evidencia que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que indiquen fallas severas. La ligera tendencia hacia valores superiores refleja pequeños resaltes u ondulaciones, propios del desgaste superficial.

Tras depurar el 10 % de datos extremos, el rango obtenido ($D = 109,79$) y su factor de corrección permiten obtener un IRI de 5,92 mm/m, valor que clasifica al tramo dentro de una rugosidad alta, indicando una superficie con irregularidad marcada y necesidad de atención preventiva.

Como se observa en la figura 73 y 74, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 69

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 0+000 al 0+400

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO	: AV. LOS MOLLES - TACNA	Realizado por	: Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.
CARRIL	: CARRIL IZQUIERDO - HUELLA EXTERNA	Fecha de Emis.	: 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN
DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	29	36	29	43	36	42	33	33	25
2	35	43	32	32	32	34	27	33	27	37
3	36	28	38	37	39	32	37	38	29	37
4	35	33	34	35	39	42	26	28	40	39
5	39	39	34	43	33	34	27	37	34	37
6	42	32	37	36	30	43	27	34	37	42
7	36	40	29	30	33	41	26	32	43	40
8	27	38	38	31	43	34	29	36	41	41
9	37	42	37	43	25	39	33	29	25	26
10	29	37	39	29	35	37	43	32	38	33
11	26	27	39	36	39	33	27	25	31	38
12	30	25	29	40	26	30	36	28	32	31
13	43	41	31	30	39	41	40	27	39	38
14	27	31	42	31	26	38	30	27	27	37
15	25	27	34	40	39	25	33	41	33	41
16	39	31	38	35	30	38	26	32	40	39
17	40	34	28	38	26	38	35	36	35	31
18	33	27	42	39	36	36	28	30	33	30
19	36	31	35	40	27	33	35	34	34	34
20	28	38	35	36	26	42	33	35	38	27

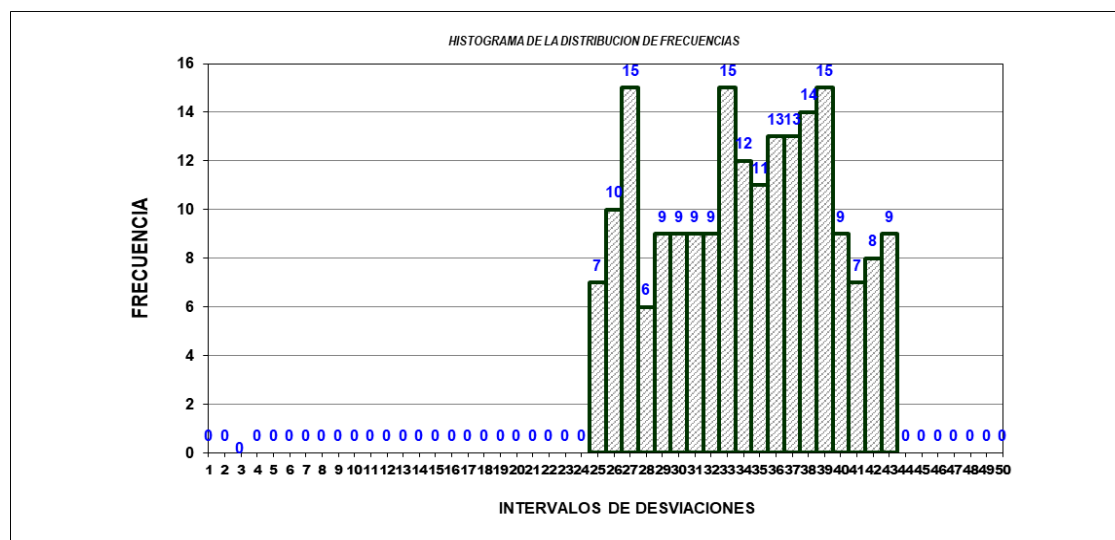
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 00+000 AL 00+400
Carril	: Carril Izquierdo - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	32
LF	20
FC	0.833

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 70

Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 0+000 al 0+400



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 0+000 – 0+400 muestra que las lecturas del MERLIN se concentran principalmente entre los intervalos 6 y 20, con frecuencias máximas entre 9 y 15 repeticiones. Esta concentración indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que evidencien fallas graves. Los valores muy bajos y altos casi no aparecen, lo que confirma la ausencia de irregularidades severas.

Luego del descarte del 10 % de datos extremos, el rango obtenido ($D = 82,88$) permite calcular un IRI de 3,35 mm/m, lo cual clasifica al tramo dentro de una rugosidad moderada, manteniendo condiciones aceptables de servicio.

Como se observa en la figura 75 y 76, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 71

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 0 + 400 al 0+800

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO : AV. LOS MOLLES - TACNA

CARRIL : CARRIL IZQUIERDO - HUELLA EXTERNA

Realizado por : Eber Florez Ch. , Alvaro Capacuti T.

Fecha de Emis. : 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32	43	28	27	32	26	30	43	43	25
2	28	31	41	26	26	28	39	32	30	26
3	39	27	43	33	33	27	32	38	30	38
4	32	25	32	37	39	34	33	39	31	43
5	38	32	42	25	37	26	32	41	42	43
6	35	36	39	32	42	38	31	31	26	30
7	29	41	30	31	29	39	37	37	28	25
8	37	27	42	37	39	34	29	32	33	25
9	43	31	27	29	40	43	43	30	32	32
10	26	27	37	34	43	43	32	42	37	31
11	39	25	39	30	41	25	25	28	26	40
12	36	43	42	36	33	38	38	34	28	32
13	36	34	26	29	37	36	36	43	40	33
14	30	36	28	31	28	32	35	29	40	39
15	41	26	25	36	27	29	31	42	26	36
16	27	42	32	37	39	34	41	28	39	39
17	38	41	41	38	35	28	32	32	42	27
18	38	35	40	27	25	35	25	38	33	43
19	34	43	37	32	33	37	35	32	33	38
20	29	33	30	31	29	33	30	33	32	30

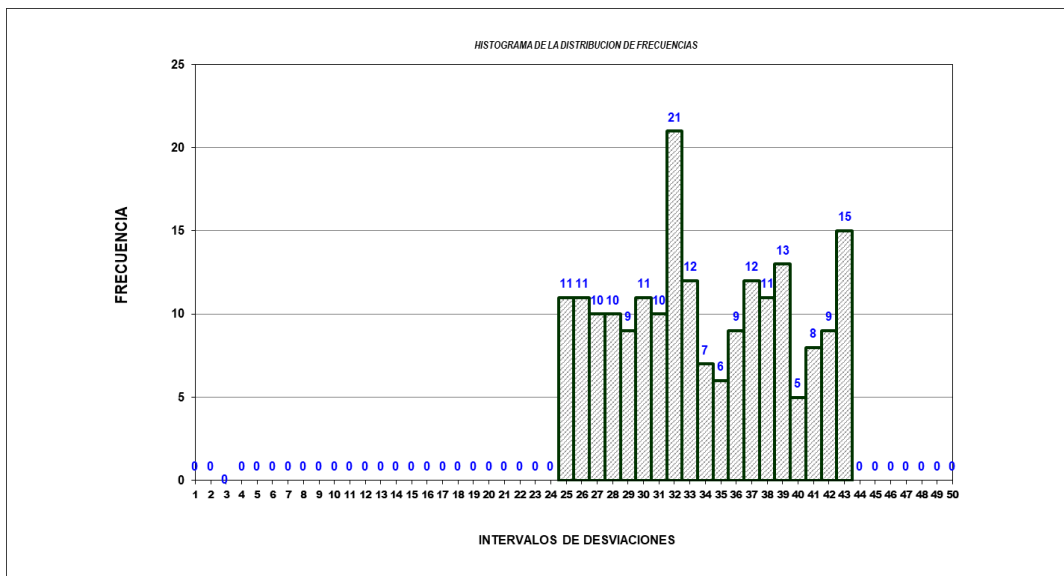
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 0+400 AL 0+800
Carril	: Carril Izquierdo - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	31
LF	15
FC	0.625

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 72

Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 0+400 al 0+800



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 0+400 – 0+800 muestra que la mayoría de lecturas se concentran entre los intervalos 7 y 23, con picos de hasta 21 repeticiones, lo que indica variaciones longitudinales moderadas en el pavimento. Los intervalos muy bajos y altos tienen frecuencias mínimas o nulas, evidenciando la ausencia de irregularidades severas.

Luego del descarte del 10 % de lecturas extremas, el rango obtenido ($D = 87,12$) permitió calcular un IRI de 2,64 mm/m, valor que clasifica al tramo dentro de una rugosidad moderada, mostrando una superficie en condiciones funcionales aceptables.

Como se observa en la figura 77 y 78, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 73

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda:
0+800 al 1+200

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO	: AV. LOS MOLLES - TACNA	Realizado por	: Eber Florez Ch., Alvaro Capacuti T.
CARRIL	: CARRIL IZQUIERDO - HUELLA EXTERNA	Fecha de Emis.	: 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

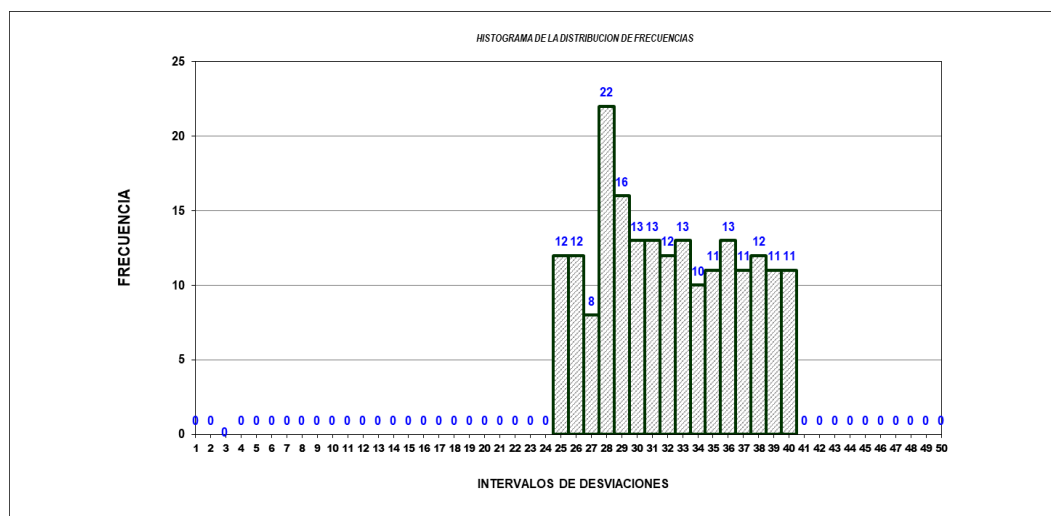
DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 0+800 AL 1+200
Carril	: Carril Izquierdo - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	29
LF	17
FC	0.833

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 74

Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 0+800 al 1+200



Nota. Realizado en Excel 2023.

En el tramo 0+800 – 1+200, la distribución de frecuencias muestra que la mayoría de lecturas del MERLIN se concentran entre los intervalos 6 y 18, con máximos de hasta 22 repeticiones, indicando variaciones longitudinales moderadas en la superficie del pavimento. Los intervalos muy bajos y altos presentan frecuencias mínimas o nulas, lo que confirma la ausencia de irregularidades severas.

Tras descartar el 10 % de lecturas extremas, el rango efectivo obtenido (D = 71,29) permitió calcular un IRI de 2,88 mm/m, clasificando al tramo dentro de una rugosidad moderada, con un comportamiento superficial adecuado para la circulación vehicular.

Como se observa en la figura 79 y 80, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 79

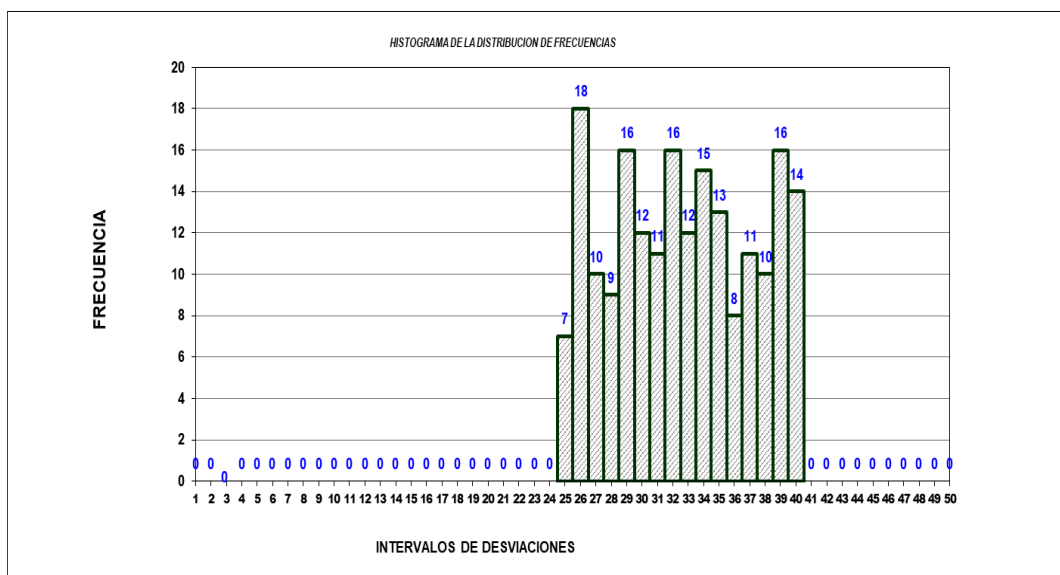
Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda: 1+200 al 1+600

</

Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 75

Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 1+200 al 1+600



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 1+200 – 1+600 evidencia que la mayoría de lecturas del MERLIN se concentran entre los intervalos 5 y 18, registrando máximos de 16 a 18 repeticiones, según se observa en la Figura 80 Calzada izquierda 1+200 al 1+600.

Esta concentración en los rangos medios indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que sugieran irregularidades severas.

Los intervalos muy bajos y altos presentan frecuencias mínimas o nulas, lo que confirma que no existen resaltes abruptos ni deformaciones críticas en este tramo. Tras descartar el 10 % de lecturas extremas, el rango efectivo obtenido ($D = 70,60$) permitió calcular un IRI de 2,85 mm/m, clasificando este tramo dentro de una rugosidad moderada, con un comportamiento superficial adecuado para el tránsito vehicular.

Como se observa en la figura 81 y 82, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

Figura 76

Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda:

1+600 al 2+000

Tesis: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO METODOLOGIAS INTELIGENTES PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTOS EN LA AV. LOS MOLLES DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, TACNA -2025

TRAMO : AV. LOS MOLLES - TACNA
CARRIL : CARRIL IZQUIERDO - HUELLA EXTERNA

Realizado por : Eber Florez Ch., Alvaro Capacuti T.
Fecha de Emis. : 15/09/2025

ENSAYO DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

DATOS DE PISTA PARA CALCULO DE RUGOSIDAD

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

DESCRIPCION	
Ensayo N°	: 1
Estructura	: CARPETA ASFALTICA
Progresiva KM.	: 1+600 AL 2+000
Carril	: Carril Izquierdo - Huella Externa
Longitud	: 400 mts

Factor Corrección	
EP	5
LI	32
LF	21
FC	0.909

Nota. Realizado en Excel 2023.

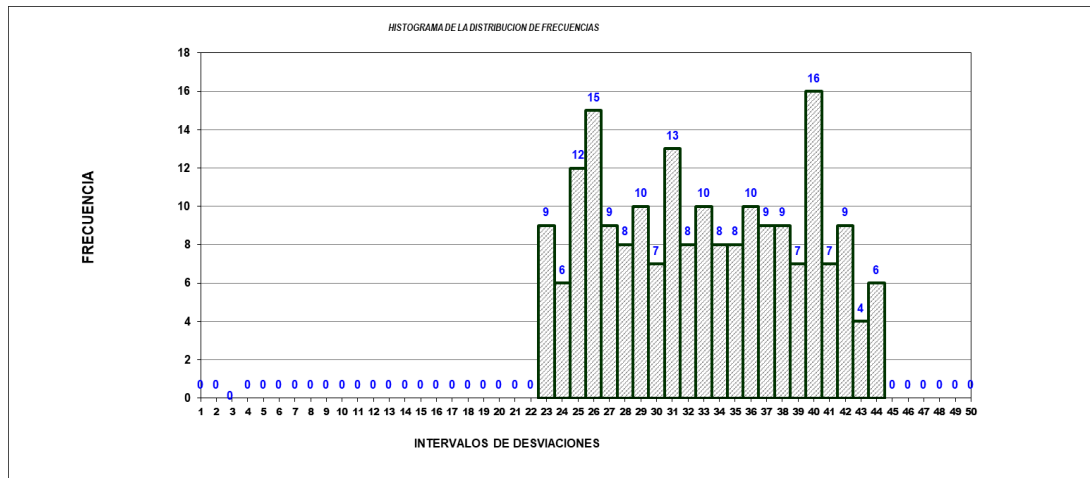
La distribución de frecuencias del tramo 1+600 – 2+000 muestra que la mayoría de lecturas del MERLIN se concentran entre los intervalos 7 y 23, registrando máximos de 9 a 16 repeticiones, tal como se observa en la Figura 82 Calzada izquierda 1+600 al 2+000.

Esta concentración en los rangos intermedios indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que evidencien fallas severas o deformaciones abruptas.

Los valores muy bajos y altos muestran frecuencias mínimas o nulas, lo que confirma la ausencia de irregularidades críticas, predominando solo ondulaciones superficiales. Tras eliminar el 10 % de lecturas extremas, el rango estadístico obtenido ($D = 94,17$) permitió calcular un IRI de 4,15 mm/m, clasificando este tramo dentro de una rugosidad moderada-alta, reflejando una superficie con mayor irregularidad respecto a tramos anteriores, aunque aún dentro de condiciones funcionales.

Figura 77

Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 1+600 al 2+000



Nota. Realizado en Excel 2023.

Como se observa en la figura 83 y 84, El histograma se concentra entre intervalos 21 – 38, La forma muestra una distribución ampliada hacia el lado alto, lo que señala presencia de pequeñas elevaciones o irregularidades positivas (resaltes menores).

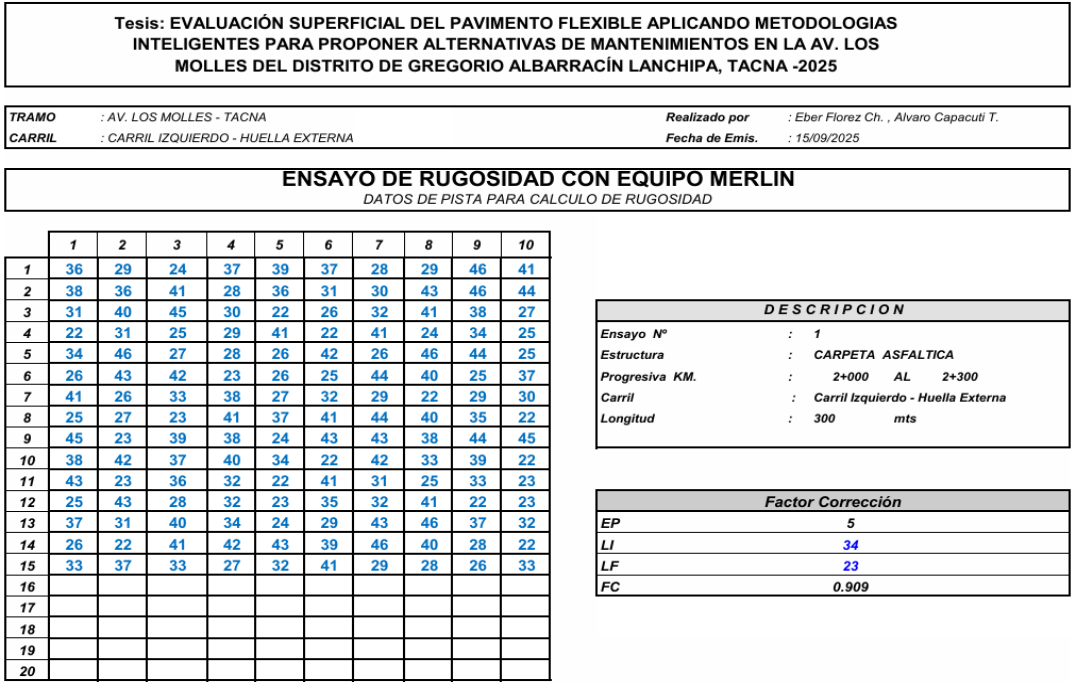
La distribución de frecuencias del tramo 1+600 – 2+000 muestra que la mayoría de lecturas del MERLIN se concentran entre los intervalos 7 y 23, registrando máximos de 9 a 16 repeticiones, tal como se observa en la Figura 81 Calzada izquierda 1+600 al 2+000.

Esta concentración en los rangos intermedios indica que el pavimento presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que evidencien fallas severas o deformaciones abruptas.

Los valores muy bajos y altos muestran frecuencias mínimas o nulas, lo que confirma la ausencia de irregularidades críticas, predominando solo ondulaciones superficiales. Tras eliminar el 10 % de lecturas extremas, el rango estadístico obtenido ($D = 94,17$) permitió calcular un IRI de 4,15 mm/m, clasificando este tramo dentro de una rugosidad moderada-alta, reflejando una superficie con mayor irregularidad respecto a tramos anteriores, aunque aún dentro de condiciones funcionales.

Figura 78

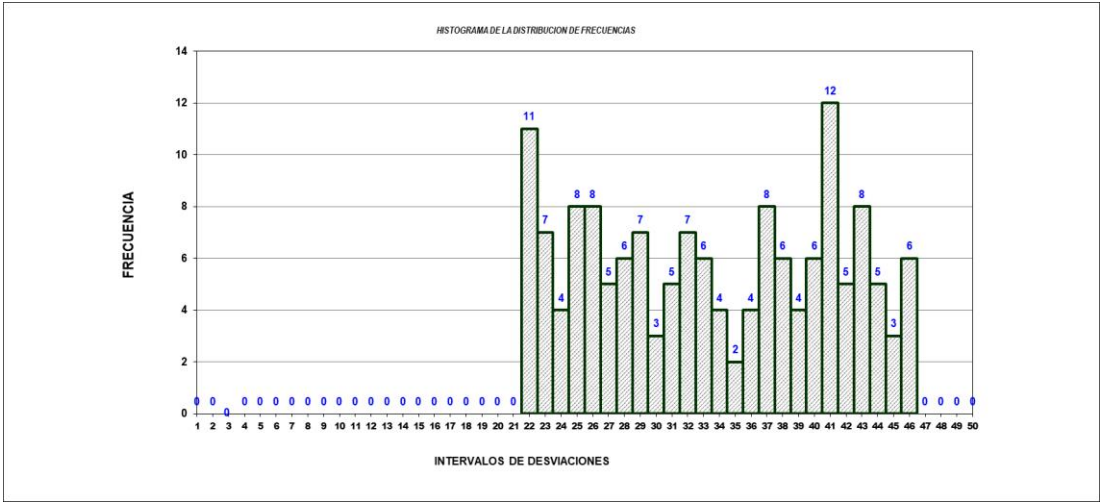
Calculo obtenido mediante el Rugosímetro de Merlín – Calzada izquierda:
2+000 al 2+300



Nota. Realizado en Excel 2023.

Figura 79

Distribución de frecuencias graficada – Calzada izquierda: 2+000 al 2+300



Nota. Realizado en Excel 2023.

La distribución de frecuencias del tramo 2+000 – 2+300 muestra que la mayoría de lecturas del MERLIN se concentran entre los intervalos 6 y 23, registrando frecuencias máximas entre 8 y 12 repeticiones, tal como se observa en la Figura 84.

Esta concentración evidencia que la superficie presenta variaciones longitudinales moderadas, sin valores extremos que indiquen deformaciones severas.

Los intervalos bajos y altos presentan frecuencias mínimas o nulas, lo que confirma que no existen irregularidades críticas en el pavimento. Luego del descarte del 10 % de lecturas extremas, el análisis determina un rango efectivo $D = 113,48$, que, al aplicarse el factor de corrección correspondiente, resulta en un IRI de 5,00 mm/m.

Este valor clasifica al tramo dentro de una rugosidad alta, mostrando una superficie con mayor irregularidad que tramos anteriores, aunque aún dentro de un comportamiento funcional aceptable.

Asimismo, se observa que las distribuciones de frecuencia no conforman una campana de Gauss perfectamente definida. Esto se debe a la presencia de picos en otros intervalos distintos al predominante (21–38 mm), lo que genera una distribución asimétrica. Esta desviación respecto del comportamiento normal esperado se explica por:

- Variaciones en la compactación superficial del pavimento,
- Ondulaciones longitudinales positivas ocasionadas por la acción del tránsito,
- Deformaciones incipientes debidas al envejecimiento de la carpeta asfáltica,
- Irregularidad inherente del pavimento, que no mantiene una homogeneidad absoluta en toda su longitud.

En algunos subtramos se identifican valores que superan los 5 m/km, los cuales, aunque no dominantes, reflejan zonas puntuales con mayor deformación o resaltes longitudinales significativos, justificando la dispersión observada y evidenciando sectores que podrían requerir atención prioritaria. Dichos valores altos, junto con histogramas extendidos hacia el extremo derecho, representan áreas donde el pavimento presenta ondulaciones más marcadas o irregularidades acumuladas que reducen el confort de rodadura.

En síntesis, se observa la Tabla 6, la distribución de frecuencias del IRI obtenida mediante el método Merlín demuestra que la avenida Los Molles presenta una rugosidad moderada, estable y funcional, sin indicios de fallas severas, pero con evidencias claras de variabilidad superficial y deformaciones incipientes que justifican

la necesidad de mantenimiento preventivo para evitar el deterioro progresivo y asegurar la continuidad del nivel de servicio. La consistencia de las distribuciones en ambos sentidos de circulación confirma una regularidad longitudinal aceptable.

Tabla 6

Cuadro Resumen de los Valores IRI obtenido con el rugosímetro de Merlín

Calzada Derecha		Calzada Izquierda	
Progresiva Inicio	Rugosidad	Progresiva Final	Rugosidad
0+0.00 al 0+400	2,67	0+0.00 al 0+400	3,35
0+400 al 0+800	3,12	0+400 al 0+800	2,64
0+800 al 1+200	4,08	0+800 al 1+200	2,88
1+200 al 1+600	4,33	1+200 al 1+600	2,85
1+600 al 2+000	4,81	1+600 al 2+000	4,15
2+000 al 2+300	5,92	2+000 al 2+300	5,00
Promedio	4,16		3,48
IRI Promedio		3,82	

Nota. Los valores obtenidos en el cuadro resumen (tabla 5) mediante el rugosímetro de merlín nos indica un IRI promedio de 3,82 m/km.

Por lo tanto, de acorde a los resultados se pueden proponer que las fallas son de tipo elevaciones y baches, y la alternativa de mantenimiento de acorde a los resultados es recomendable el *fresado superficial (milling)* para recuperar el perfil longitudinal, seguido de la colocación de una carpeta de refuerzo (overlay) o un tratamiento superficial tipo Slurry Seal para sellar la textura, dependiendo de la evaluación estructural remanente.

4.2. Resultados de los valores IRI obtenidos del aplicativo TotalPave

La investigación se llevó a cabo a lo largo de los carriles derecho e izquierdo de la Avenida Los Molles, cubriendo una distancia de 2,300 m en cada dirección de tránsito. Durante la recopilación de datos, se mantuvo una velocidad uniforme que oscilo entre 40 y 60 kilómetros por hora. Se puede apreciar en la Figura 85 y 86.

4.2.1. Datos obtenidos del aplicativo TotalPave

El estudio se realizó en la Av. Los Molles en la calzada derecha (bajada) y la calzada izquierda (subida) se puede observar el Anexo 2, para proponer la rugosidad en valores IRI del pavimento flexible, se utilizó el aplicativo TotalPave, lo cual se puede apreciar en la tabla 7 y 8.

Tabla 7

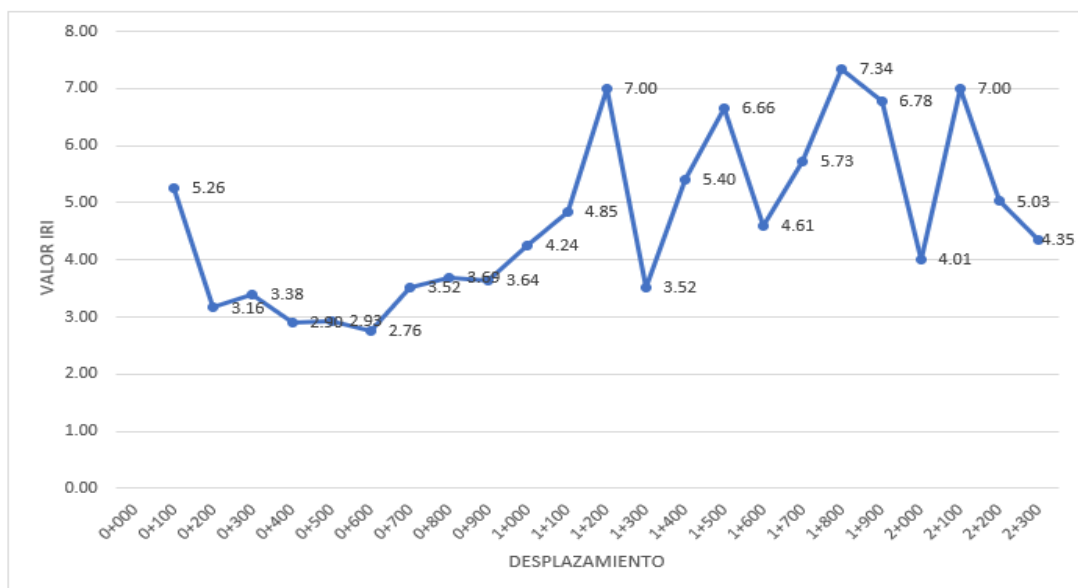
Datos IRI obtenido con el aplicativo TotalPave - calzada derecho

Progresiva Inicio	Progresiva Final	IRI
Km 0+000.00	Km 0+100.00	5,26
Km 0+100.00	Km 0+200.00	3,16
Km 0+200.00	Km 0+300.00	3,38
Km 0+300.00	Km 0+400.00	2,90
Km 0+400.00	Km 0+500.00	2,93
Km 0+500.00	Km 0+600.00	2,76
Km 0+600.00	Km 0+700.00	3,52
Km 0+700.00	Km 0+800.00	3,69
Km 0+800.00	Km 0+900.00	3,64
Km 0+900.00	Km 1+000.00	4,24
Km 1+000.00	Km 1+100.00	4,85
Km 1+100.00	Km 1+200.00	7,00
Km 1+200.00	Km 1+300.00	3,52
Km 1+300.00	Km 1+400.00	5,40
Km 1+400.00	Km 1+500.00	6,66
Km 1+500.00	Km 1+600.00	4,61
Km 1+600.00	Km 1+700.00	5,73
Km 1+700.00	Km 1+800.00	7,34
Km 1+800.00	Km 1+900.00	6,78
Km 1+900.00	Km 2+000.00	4,01
Km 2+000.00	Km 2+100.00	7,00
Km 2+100.00	Km 2+200.00	5,03
Km 2+200.00	Km 2+300.00	4,35

Nota. Valores extraídos del aplicativo TotalPave en la calzada derecha. Anexo N°03: Reporte del aplicativo TotalPave.

Figura 80

Valores IRI cada 100 m en la calzada derecha



Nota. En la figura se muestra la variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha.

Figura 81

Trayecto por la calzada derecha usando el aplicativo TotalPave



Nota. La figura muestra el trayecto por la Av. Los Molles, donde los colores indican el valor IRI correspondiente a cada punto del desplazamiento.

Tabla 8*Datos IRI adquiridos con el aplicativo TotalPave - calzada izquierda*

Progresiva Inicio	Progresiva Final	IRI
Km 0+000,00	Km 0+100,00	4,15
Km 0+100,00	Km 0+200,00	3,73
Km 0+200,00	Km 0+300,00	3,46
Km 0+300,00	Km 0+400,00	4,07
Km 0+400,00	Km 0+500,00	3,97
Km 0+500,00	Km 0+600,00	3,60
Km 0+600,00	Km 0+700,00	3,01
Km 0+700,00	Km 0+800,00	3,09
Km 0+800,00	Km 0+900,00	3,18
Km 0+900,00	Km 1+000,00	2,47
Km 1+000,00	Km 1+100,00	3,59
Km 1+100,00	Km 1+200,00	6,35
Km 1+200,00	Km 1+300,00	7,61
Km 1+300,00	Km 1+400,00	3,22
Km 1+400,00	Km 1+500,00	3,54
Km 1+500,00	Km 1+600,00	3,44
Km 1+600,00	Km 1+700,00	4,43
Km 1+700,00	Km 1+800,00	6,68
Km 1+800,00	Km 1+900,00	4,01
Km 1+900,00	Km 2+000,00	3,68
Km 2+000,00	Km 2+100,00	7,29
Km 2+100,00	Km 2+200,00	3,69
Km 2+200,00	Km 2+300,00	5,33

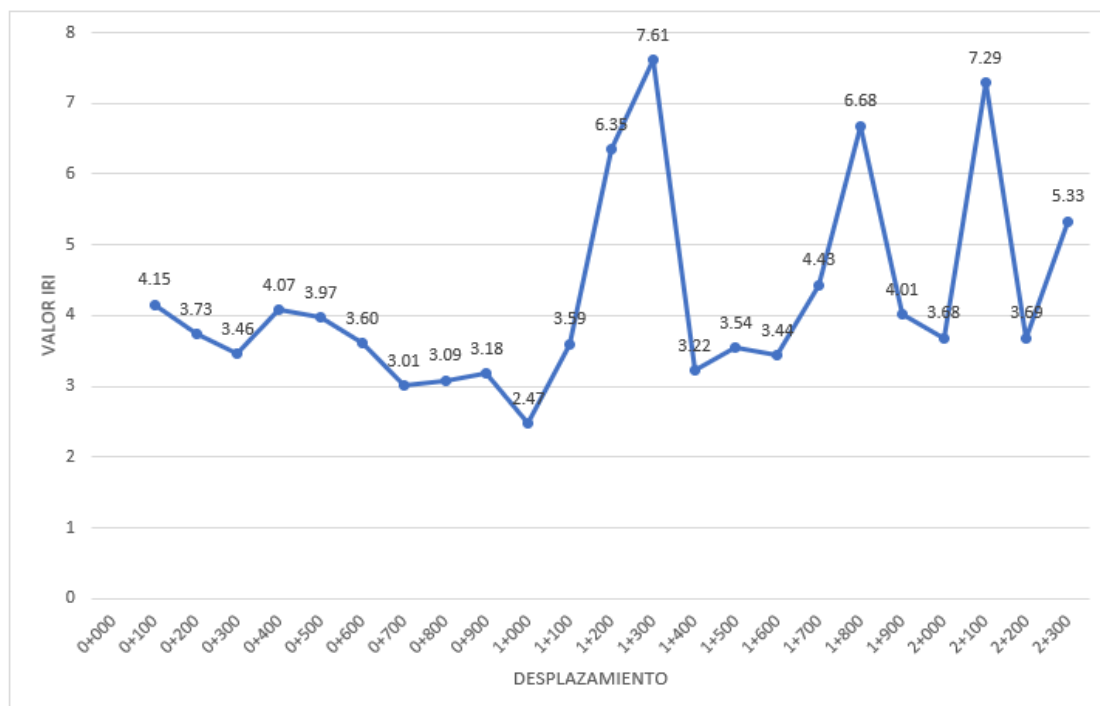
Nota. Valores extraídos del aplicativo TotalPave en la calzada izquierda.

Anexo N°03: Reporte del aplicativo TotalPave – Calzada izquierda.

La variación de valores IRI, lo cual está registrado en la evaluación de calzada izquierda, y desplazamiento utilizando el aplicativo TotalPave se pueden observar en la Figura 87 y 88.

Figura 82

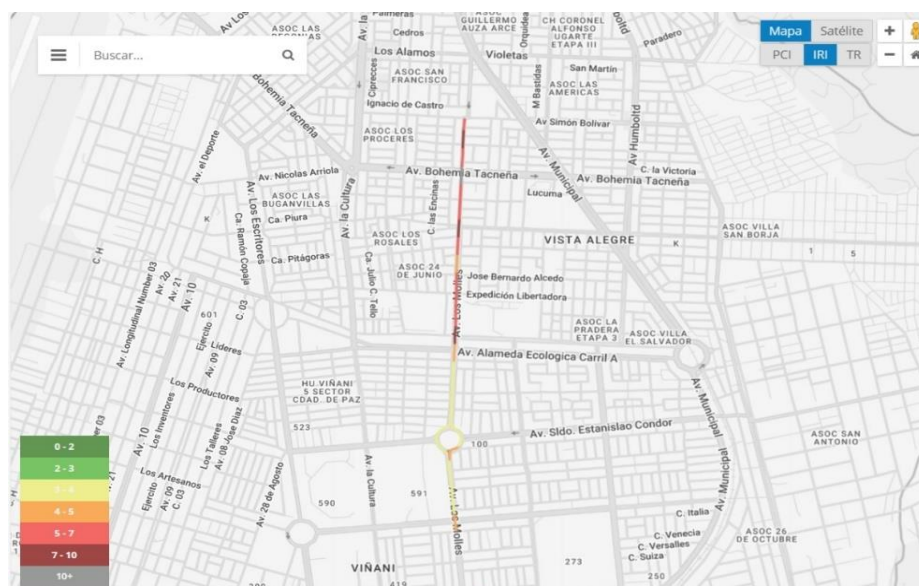
Valores IRI cada 100 m en la calzada izquierda



Nota. En la figura se muestra la variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada izquierda.

Figura 83

Desplazamiento por la calzada izquierda utilizando aplicativo TotalPave



Nota. La figura muestra el trayecto por la Av. Los Molles, donde los colores indican el valor IRI correspondiente a cada punto del desplazamiento.

En la Tabla 9 se puede apreciar los índices de regularidad internacional, diferenciados según calzada derecha e izquierda.

Tabla 9

Cuadro resumen de los Valores IRI obtenido con el aplicativo TotalPave cada 400m

Calzada Derecha		Calzada Izquierda	
Progresiva Inicio	Rugosidad	Progresiva Final	Rugosidad
0+0.00 al 0+400	3,68	0+0.00 al 0+400	3,85
0+400 al 0+800	3,23	0+400 al 0+800	3,42
0+800 al 1+200	4,93	0+800 al 1+200	3,90
1+200 al 1+600	5,05	1+200 al 1+600	4,45
1+600 al 2+000	5,96	1+600 al 2+000	4,70
2+000 al 2+300	5,00	2+000 al 2+300	5,22
Promedio	4,64	Promedio	4,26
IRI promedio		4.45 m/km	

Nota. El cuadro presenta el resumen de los Índices de Regularidad Internacional (IRI) medios, diferenciados según la calzada que fue inspeccionado en la av. Los Molles.

4.3. Resultados del valor IRI obtenido del aplicativo RoadBounce

4.3.1. Datos obtenidos del aplicativo RoadBounce

El estudio se realizó en la Av. Los Molles en la calzada derecha (bajada) y la calzada izquierda (subida), se puede observar el Anexo 3, en la Figura 89 se puede apreciar la variación de los valores IRI; para proponer la rugosidad en unidades IRI del pavimento flexible, se utilizó el aplicativo RoadBounce, se observa en la tabla 10, 11 y 12. Se puede apreciar en la Figura 89 y 90 la variación de los valores de IRI en la calzada derecha.

Tabla 10*Datos IRI adquirido con el aplicativo RoadBounce calzada derecha*

Progresiva Inicio	Progresiva Final	IRI
Km 0+000,00	Km 0+100,00	4,43
Km 0+100,00	Km 0+200,00	2,97
Km 0+200,00	Km 0+300,00	2,71
Km 0+300,00	Km 0+400,00	2,21
Km 0+400,00	Km 0+500,00	2,33
Km 0+500,00	Km 0+600,00	2,21
Km 0+600,00	Km 0+700,00	2,95
Km 0+700,00	Km 0+800,00	3,18
Km 0+800,00	Km 0+900,00	3,20
Km 0+900,00	Km 1+000,00	3,44
Km 1+000,00	Km 1+100,00	3,93
Km 1+100,00	Km 1+200,00	5,38
Km 1+200,00	Km 1+300,00	3,39
Km 1+300,00	Km 1+400,00	4,35
Km 1+400,00	Km 1+500,00	5,85
Km 1+500,00	Km 1+600,00	4,14
Km 1+600,00	Km 1+700,00	5,14
Km 1+700,00	Km 1+800,00	7,16
Km 1+800,00	Km 1+900,00	6,21
Km 1+900,00	Km 2+000,00	3,67
Km 2+000,00	Km 2+100,00	6,01
Km 2+100,00	Km 2+200,00	4,66
Km 2+200,00	Km 2+300,00	3,46

Nota. Valores extraídos del aplicativo RoadBounce en la calzada derecha.

Anexo N°04 del Reporte del aplicativo RoadBounce – Calzada Derecha.

Figura 89

Variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha



Nota. En la figura se muestra la variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha.

Tabla 11*Datos IRI obtenido con el aplicativo RoadBounce calzada izquierda*

Progresiva Inicio	Progresiva Final	IRI
Km 0+000,00	Km 0+100,00	3,40
Km 0+100,00	Km 0+200,00	3,16
Km 0+200,00	Km 0+300,00	3,24
Km 0+300,00	Km 0+400,00	3,04
Km 0+400,00	Km 0+500,00	3,51
Km 0+500,00	Km 0+600,00	3,27
Km 0+600,00	Km 0+700,00	2,07
Km 0+700,00	Km 0+800,00	2,02
Km 0+800,00	Km 0+900,00	2,82
Km 0+900,00	Km 1+000,00	2,43
Km 1+000,00	Km 1+100,00	3,13
Km 1+100,00	Km 1+200,00	5,35
Km 1+200,00	Km 1+300,00	4,45
Km 1+300,00	Km 1+400,00	2,42
Km 1+400,00	Km 1+500,00	2,29
Km 1+500,00	Km 1+600,00	2,48
Km 1+600,00	Km 1+700,00	3,86
Km 1+700,00	Km 1+800,00	5,75
Km 1+800,00	Km 1+900,00	3,43
Km 1+900,00	Km 2+000,00	3,59
Km 2+000,00	Km 2+100,00	6,39
Km 2+100,00	Km 2+200,00	2,92
Km 2+200,00	Km 2+300,00	4,99

Nota. Valores extraídos del aplicativo RoadBounce en la calzada izquierda.

Anexo N°04 del Reporte del aplicativo RoadBounce – Calzada izquierda.

Figura 84*Variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha*

Nota. En la figura se muestra la variación de los valores IRI registrados en la evaluación de la calzada derecha.

Tabla 12

Cuadro resumen de los Valores IRI obtenido - aplicativo RoadBounce cada 400m

Calzada Derecha		Calzada Izquierda	
Progresiva Inicio	Rugosidad	Progresiva Final	Rugosidad
0+0.00 al 0+400	3,08	0+0.00 al 0+400	3,21
0+400 al 0+800	2,67	0+400 al 0+800	2,72
0+800 al 1+200	3,99	0+800 al 1+200	3,43
1+200 al 1+600	4,43	1+200 al 1+600	2,91
1+600 al 2+000	5,55	1+600 al 2+000	4,16
2+000 al 2+300	4,35	2+000 al 2+300	4,54
Promedio	4,01	Promedio	3,50
IRI promedio		4.45 m/km	

Nota. El cuadro muestra el resumen de los índices de IRI por ambas calzadas aplicando el aplicativo RoadBounce.

4.3.2. Proponer el estado del pavimento conforme con el valor del IRI obtenido mediante el rugosímetro de Merlín

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) es la entidad gubernamental peruana a cargo de regular el sistema de transporte en el país. Dentro de su marco normativo, sus lineamientos técnicos para la conservación de carreteras prescriben rangos de valores de IRI concretos para distintos tramos viales. (ver tabla 13).

Tabla 5

Rango de valores

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < \text{IRI} \leq 2,8$	$\text{IRI} \leq 6,0$
Regular	$2,8 < \text{IRI} \leq 4,0$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
Malo	$4,0 < \text{IRI} \leq 5,0$	$8 < \text{IRI} \leq 10$
Muy malo	$5 < \text{IRI}$	$10 < \text{IRI}$

Nota. Según norma Técnica Peruana CE.010 y el MTC – parámetros que para la conservación de carreteras (2014).

Aplicando los rangos de valores y basándonos según norma Técnica peruana de la tabla 12, se genera la clasificación IRI, ver tabla 14.

Tabla 6

Clasificación según la rugosidad del estado del pavimento – rugosímetro de Merlín

Calzada Derecha			Calzada Izquierda	
Progresiva	Rugosidad	Estado del pavimento	Rugosidad	Estado del pavimento
0+000 al 0+400	2,67	Bueno	3,35	Regular
0+400 al 0+800	3,12	Regular	2,64	Bueno
0+800 al 1+200	4,08	Malo	2,88	Regular
1+200 al 1+600	4,33	Malo	2,85	Regular
1+600 al 2+000	4,81	Malo	4,15	Malo
2+000 al 2+300	5,92	Muy Malo	5,00	Malo
Promedio	4,16	Malo	3,48	Regular
IRI Promedio		3.820	Regular	

4.4. Comparación del IRI obtenido con las metodologías rugosímetro de Merlín, aplicativo TotalPave y RoadBounce

Para realizar la comparación de resultados y proponer un tipo de mantenimiento se aplicó los parámetros de la NTP C.010 (Tabla 12), en los valores presentados en las Tablas (6, 9 y 12) se requirió la uniformización de las unidades de análisis. Por lo tanto, los valores IRI obtenidos con el aplicativo TotalPave y RoadBounce fueron agrupados en secciones de 400 metros, correspondientes a la frecuencia de registro del rugosímetro de Merlín. (ver tabla 15).

Tabla 7

Cuadro Comparativo porcentual de similitud IRI con las metodologías aplicadas Calzada Derecha

Progresiva	Rugosímetro de Merlín	Aplicativo TotalPave	Aplicativo Road Bounce
0+0.00 al 0+400	2,16	3,68	3,08
0+400 al 0+800	3,12	3,23	2,67
0+800 al 1+200	4,08	4,93	3,99
1+200 al 1+600	4,33	5,05	4,43
1+600 al 2+000	4,81	5,96	5,55
2+000 al 2+300	5,92	5,00	4,35
Promedio	4,16	4,64	4,01
% Similitud		93,47%	

En la tabla 14, de acorde al NTP C.010 (Tabla 12) el promedio del valor IRI de los 3 métodos en la calzada derecha nos da un porcentaje de similitud de 93,47%.

En la tabla 16, de acorde al NTP C.010 (Tabla 12) el promedio del valor IRI de los 3 métodos en la calzada izquierda nos da un % de similitud de 90,34%.

Tabla 8

Cuadro Comparativo porcentual de similitud IRI con las metodologías aplicadas Calzada Izquierda

Progresiva	Rugosímetro de Merlín	Aplicativo TotalPave	Aplicativo RoadBounce
0+0.00 al 0+400	3,35	3,85	3,21
0+400 al 0+800	2,64	3,42	2,72
0+800 al 1+200	2,88	3,90	3,43
1+200 al 1+600	2,85	4,45	2,91
1+600 al 2+000	4,15	4,70	4,16
2+000 al 2+300	5,00	5,22	4,54
Promedio	3,48	4,26	3,50
% Similitud		90,34%	

4.5. Análisis de la serviciabilidad y transitabilidad obtenida con el rugosímetro de Merlín, TotalPave y RoadBounce para proponer el estado del pavimento

Utilizando el valor promedio del IRI registrado por el rugosímetro Merlín y basándose en la evaluación del pavimento flexible, se determinó el nivel de serviciabilidad, se observa en la Tabla 17, el cual será indispensable para proponer soluciones de mantenimientos. Este resultado se muestra en la Tabla 18, y se obtuvo mediante la aplicación de la fórmula de Williams Paterson ecuación 4.

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}} \quad (4)$$

Tabla 9

Clasificación de la Serviciabilidad de pavimento

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

Nota. Guía AASHTO 1993.

Con el fin de comparar los resultados y evaluar el estado del pavimento de acuerdo al PSI se podrá proponer los tipos de mantenimientos, se procedió a calcular los valores PSI utilizando las mediciones IRI tanto de TotalPave, RoadBounce como del rugosímetro Merlín. A continuación, la Tabla 17 presenta los resultados del PSI adquiridos con el rugosímetro Merlín, mostrando el IRI correspondiente y la clasificación resultante de la transitabilidad de la vía.

Tabla 10

Resultados de la Serviciabilidad – Transitabilidad del Rugosímetro de Merlín

Calzada Derecha			Calzada Izquierda			
Progresiva	Rugosidad	PSI	Estado del pavimento	Rugosidad	PSI	Estado del pavimento
0+000 al 0+400	2,16	3,38	Buena	3,35	2,72	Regular
0+400 al 0+800	3,12	2,84	Regular	2,64	3,09	Buena
0+800 al 1+200	4,08	2,38	Regular	2,88	2,96	Regular
1+200 al 1+600	4,33	2,28	Regular	2,85	2,98	Regular
1+600 al 2+000	4,81	2,09	Regular	4,15	2,35	Regular
2+000 al 2+300	5,92	1,70	Malo	5,00	2,01	Regular
Promedio	4,16	2,44	Regular	3,48	2,82	Regular
PSI			2.63			
Promedio			Regular			

De acuerdo con la Tabla 18, el análisis de la serviciabilidad del pavimento, obtenido mediante el Rugosímetro de MERLIN, reveló una calidad de tránsito clasificada como "Regular". Específicamente, la primera calzada registró un valor promedio de serviciabilidad de 2,44; mientras que la segunda calzada obtuvo un valor promedio de 2,82. El promedio ponderado de ambos resultados es de 2,63, lo que consistentemente clasifica el estado funcional del pavimento en la categoría Regular.

El análisis de la serviciabilidad del pavimento (Tabla 19), medido con el aplicativo TotalPave, arroja una clasificación general "Regular". La calzada derecha da alcanzó un valor promedio de 2,18; y la calzada izquierda, un valor promedio de 2,32. El promedio ponderado, situado en 2,25, reconfirma que el estado funcional de ambas calzadas se encuentra dentro de la categoría Regular, requiriendo atención.

Tabla 11*Resultados de la Serviabilidad – Transitabilidad del aplicativo TotalPave*

Progresiva	calzada derecha			calzada izquierda		
	Rugosidad	PSI	Estado del pavimento	Rugosidad	PSI	Estado del pavimento
0+000 al 0+400	3,68	2,56	Regular	3,85	2,48	Regular
0+400 al 0+800	3,23	2,78	Regular	3,42	2,69	Regular
0+800 al 1+200	4,93	2,04	Regular	3,90	2,46	Regular
1+200 al 1+600	5,05	2,00	Malo/Regular	4,45	2,22	Regular
1+600 al 2+000	5,96	1,69	Malo	4,70	2,13	Regular
2+000 al 2+300	5,00	2,02	Regular	5,22	1,94	Malo
Promedio	4,64	2,18	Regular	4,26	2,32	Regular
PSI			2,25			
Promedio			Regular			

El análisis de la serviabilidad del pavimento (Tabla 20), realizado mediante el aplicativo RoadBounce, indica una clasificación funcional general "Regular". La calzada derecha alcanzó un valor promedio de 2,45; mientras que la calzada izquierda registró un valor promedio de 2,67. El promedio ponderado de ambos sentidos se sitúa en 2,56; lo cual reconfirma la categorización "Regular" del estado funcional del pavimento y justifica la programación de intervenciones de mantenimiento preventivo.

Tabla 12*Resultados de la Serviabilidad – transitabilidad del aplicativo RoadBounce*

Progresiva	Rugosidad	PSI	Estado del pavimento	Rugosidad	PSI	Estado del pavimento
0+000 al 0+400	3,08	2,86	Regular	3,21	2,79	Regular
0+400 al 0+800	2,67	3,08	Buena	2,72	3,05	Bueno
0+800 al 1+200	3,99	2,42	Regular	3,43	2,68	Regular
1+200 al 1+600	4,43	2,23	Regular	2,91	2,95	Regular
1+600 al 2+000	5,55	1,82	Malo	4,16	2,35	Regular
2+000 al 2+300	4,35	2,27	Regular	4,54	2,19	Regular
Promedio	4,01	2,45	Regular	3,50	2,67	Regular
<i>Calzada Derecha</i>			<i>Calzada Izquierda</i>			
PSI			2.56			
Promedio			Regular			

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

De acuerdo al objetivo, la evaluación superficial del pavimento flexible en la Av. Los Molles es crucial, ya que el uso de metodologías inteligentes como el TotalPave y RoadBounce permite superar las limitaciones de los métodos tradicionales, que son subjetivos, pero a su vez regirse a sus parámetros como lo es el rugosímetro de Merlín. Al aplicar estas metodologías, se logra una identificación de daños (fisuras, grietas, ahuellamientos) mucho más rápida, precisa y objetiva que con la inspección visual manual. Esta información detallada de los valores IRI es el fundamento para una toma de decisiones de acorde al estado del pavimento, permitiendo proponer y priorizar alternativas de mantenimiento (rutinario, preventivo o correctivo) que sean las más adecuadas para la clasificación del estado de deterioro del pavimento, asegurando así la optimización de los recursos públicos y la prolongación de la vida útil de la infraestructura vial en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa.

De acuerdo al objetivo, se evaluó y calculó el pavimento flexible de la Avenida los Molles – Cono Sur – Tacna mostrados según “tabla 05, 08 y 11” el cual muestra el resumen de valores IRI obtenidos mediante las metodologías rugosímetro de merlín, TotalPave y RoadBounce. Al examinar por estas metodologías, desde el km 0+000 hasta el km 2+300 de ensayo, donde se obtuvieron los resultados comenzando por la metodología como parámetro: la calzada derecha presenta un IRI promedio de 4,16 m/km, y la calzada izquierda presenta un IRI promedio de 3,48 m/km. La metodología del aplicativo TotalPave nos muestra el análisis del sector vial para la la evaluación correspondiente donde se obtuvieron los valores de la calzada derecha de 4,64 m/km y la calzada izquierda de 4,26 m/km. Además, con el aplicativo RoadBunce los valores promedio IRI en la calzada derecha es 4,16 m/km y los valores promedio IRI en la calzada izquierda es 3,48 m/km. El cual concuerda con Gonzalo & Beingolea (2021) que los valores obtenidos mediante los aplicativos permiten evaluar y contrastar la rugosidad de la superficie asfáltica dándonos a conocer con mayor rapidez el estado del pavimento para proponer mantenimientos necesarios.

La identificación de las alternativas de mantenimiento más adecuadas depende directamente de los resultados precisos obtenidos en la evaluación superficial del pavimento en la avenida Los Molles, Tacna. El PSI promedio del resumen de las 3 tablas (17,18 y 19) es "Regular", se confirma que el problema es principalmente de serviciabilidad, y las soluciones preventivas/ligeras son las más económicas y efectivas.

Un PSI o IRI (Índice de Regularidad Internacional) en el rango de "Regular" (generalmente 2,5 a 4,0 m/km para IRI) sugiere que la condición del pavimento es aceptable, pero está entrando en la fase de deterioro acelerado. Las intervenciones deben ser de tipo preventivo o correctivo ligero para evitar que la condición caiga rápidamente a la categoría "Mala", donde los costos de rehabilitación se disparan por ende las soluciones se centran en mejorar la superficie de rodadura y la funcionalidad vial. En base a los resultados obtenidos mediante las metodologías del Merlin, Total Pave y RoadBounce nos muestra que el PSI es Regular el cual influye en un Mantenimiento Preventivo: Sellado de Grietas y Fisuras: Es la primera línea de defensa. Evita la infiltración de agua a las capas inferiores, deteniendo el deterioro estructural, tratamiento Superficial Asfáltico (Riego de Sello): Consiste en aplicar una capa delgada de asfalto y agregados finos. Esto sella pequeñas grietas, mejora la textura superficial, y restaura ligeramente la regularidad (IRI), micropavimento (Micro-surfacing): Una mezcla delgada de emulsión asfáltica, agregados y aditivos, aplicada en una o dos capas. Es más duradero que el sello simple, corrige pequeñas irregularidades, sella la superficie y prolonga significativamente la vida útil.

Los resultados se centran en el poder predictivo de los datos generados por las metodologías Rugosímetro de Merlín, Total Pave y RoadBounce para la toma de decisiones de mantenimiento. Los hallazgos del estudio revelaron una notable coincidencia entre los datos de IRI recolectados por el Rugosímetro de Merlín, la aplicación TotalPave y RoadBounce el cual se ve reflejado en los cuadros resúmenes (ver tabla 17,18 y 19) donde nos da una transitabilidad promedio de Regular, el cual nos muestra el estado del pavimento actual de acuerdo a la *Guía AASHTO 1993*.

Según el objetivo final, los resultados de los aplicativos de metodología inteligente (TotalPave, RoadBounce) influyen con gran medida en proponer alternativas de mantenimiento debido a que guardan una gran similitud con la metodología del rugosímetro de Merlín, dando valores similares del pavimento en una condición "REGULAR" basado en el PSI, dando así la estrategia más costo-efectiva es el Mantenimiento Preventivo (Micropavimento o Riego de Sello), enfocado en preservar la condición actual e impedir que el PSI caiga a niveles inaceptables.

CONCLUSIONES

El análisis mediante aplicaciones digitales constató que el estado superficial actual del pavimento flexible en la avenida Los Molles es Regular, presentando valores IRI que comprometen la seguridad y comodidad del transporte vehicular. Con esta evaluación objetiva y georreferenciada nos permite descartar soluciones genéricas, orientando a la toma de decisiones hacia alternativas de mantenimiento específicas para cada sector, tales como sellados de fisuras en sectores preventivos o refuerzos de carpeta asfáltica en las zonas de mayor desgaste del pavimento detectada.

La evaluación comparativa mediante herramientas convencionales y tecnológicas ha demostrado ser un mecanismo eficaz para la toma de decisiones en la gestión vial. Los resultados obtenidos a través de TotalPave y RoadBounce, calibrados por la exactitud del equipo Merlín, permitieron establecer un perfil de regularidad superficial detallado y de bajo costo. Gracias a esta caracterización precisa del deterioro, es posible plantear alternativas de conservación, priorizando la inversión en los sectores críticos mediante acciones correctivas inmediatas, mientras se programan mantenimientos preventivos en las zonas con niveles de servicio aún aceptables. Los datos del IRI proporcionados por la aplicación TotalPave mostraron un valor promedio de 4,64 m/km para la calzada derecha y de 4,26 m/km para la calzada izquierda. Estas cifras permiten establecer que la funcionalidad del pavimento se clasifica como Malo para el lado derecho y Regular para el lado izquierdo.

El estudio se concluye que la alternativa de mantenimiento más adecuada es el fresado superficial (milling), complementado con la colocación de una carpeta de refuerzo (overlay) o, de manera alternativa, la aplicación de un tratamiento tipo Slurry Seal, con el fin de restituir y sellar la textura del pavimento. En cuanto al mantenimiento preventivo, se prioriza el sellado de grietas y fisuras, por ser una medida fundamental para evitar la infiltración de agua hacia las capas inferiores y así retrasar el deterioro estructural de la vía. Asimismo, el diagnóstico evidenció una alta concordancia en los valores del IRI obtenidos mediante el rugosímetro de Merlín y los aplicativos TotalPave y RoadBounce en la avenida Los Molles, Tacna, alcanzando una similitud promedio de 91,91 % entre ambas calzadas; específicamente, la calzada derecha presentó una coincidencia del

93,47 % y la izquierda del 90.39 %, diferencias que se atribuyen a las particularidades de cada técnica de medición.

Las aplicaciones de estas metodologías influyen radicalmente en la gestión vial al permitir una segmentación precisa del deterioro. Los reportes generados por los aplicativos y calibrados por el método de Merlín evitan la aplicación de soluciones uniformes e ineficientes a lo largo de toda la vía. En su lugar, orientan la toma de decisiones hacia un modelo de mantenimiento selectivo, donde los recursos se destinan con exactitud a los tramos que presentan anomalías funcionales, justificando técnica y económicamente la elección entre sellados rutinarios o bacheos mayores según la severidad localizada.

RECOMENDACIONES

Dada la constatación del estado superficial Regular del pavimento flexible en la Avenida Los Molles y la presencia de valores de IRI que comprometen la seguridad y comodidad vehicular, se requiere una gestión de mantenimiento de precisión. Se recomienda urgentemente a la entidad responsable aprobar e implementar un Plan de Mantenimiento Específico (PME) basado en el análisis digital georreferenciado. Este enfoque estratégico permitirá descartar soluciones genéricas y optimizar la inversión mediante la aplicación de tratamientos diferenciados y costo-efectivos. El PME deberá priorizar la ejecución inmediata de acciones preventivas, como el sellado de fisuras y tratamientos superficiales en los tramos de menor deterioro, y la rehabilitación estructural, mediante refuerzos de carpeta asfáltica o reposición total, en las secciones críticas identificadas con el mayor desgaste. Esta intervención focalizada asegurará la rápida recuperación de los niveles de servicio, prolongará la vida útil del activo vial y garantizará la seguridad de los usuarios.

Se recomienda de forma estratégica la adopción inmediata y formal de la metodología de Evaluación Comparativa (Merlín, TotalPave, RoadBounce) para la caracterización rutinaria del estado superficial en toda la red vial, dada su demostrada eficacia como mecanismo óptimo y costo-eficaz para la obtención de perfiles de regularidad detallados y georreferenciados. Esta precisión debe orientar una intervención diferenciada y priorizada: se debe proceder con la máxima urgencia a la rehabilitación correctiva integral de la calzada derecha (IRI promedio 4,64 m/km, clasificada como Malo), mientras que en la calzada izquierda (IRI promedio 4,26 m/km, clasificada como Regular), se debe programar e implementar inmediatamente un plan de mantenimiento preventivo de bajo costo para preservar su nivel de servicio. Esta diferenciación asegura la máxima eficiencia en la inversión pública y la rápida recuperación de la seguridad y funcionalidad vial.

se recomienda implementar un plan de mantenimiento basado en el fresado superficial (milling), complementado con la colocación de una carpeta de refuerzo (overlay) o, de ser más conveniente, la aplicación de un tratamiento tipo Slurry Seal, a fin de recuperar y sellar la superficie del pavimento. Asimismo, debe priorizarse el sellado de grietas y fisuras como medida preventiva esencial para evitar la infiltración de agua y prolongar la vida útil de la estructura vial. Considerando la alta concordancia obtenida en los

valores del IRI entre el rugosímetro de Merlín y los aplicativos TotalPave y RoadBounce, se respalda el uso combinado de estas herramientas para la toma de decisiones técnicas. En ese sentido, se propone la ejecución de intervenciones focalizadas mediante bacheo mecanizado en los puntos críticos identificados, complementadas con tratamientos superficiales preventivos en los tramos que aún presentan condiciones aceptables. Esta estrategia permite optimizar los recursos disponibles, intervenir de manera eficiente en las zonas más deterioradas y mantener adecuados niveles de servicio y seguridad vial en la Avenida Los Molles.

Dada la probada capacidad de las metodologías de evaluación híbridas (aplicativas digitales calibrados por Merlín) para permitir una segmentación precisa y georreferenciada del deterioro, la cual anula la ineficiencia de las intervenciones uniformes, se recomienda con carácter de urgencia estratégica que la entidad competente institucionalice este modelo de diagnóstico. Esta integración debe ser la base formal de la política de Gestión de Activos Viales (GAV), transformando la toma de decisiones hacia un mantenimiento predictivo, selectivo e inteligente. Ello asegurará la asignación de recursos presupuestarios con máxima eficiencia: justificando y priorizando las inversiones correctivas de alto impacto (como bacheos mayores) exclusivamente en los tramos con anomalías funcionales severas e implementando acciones preventivas de bajo costo (como sellados rutinarios) en los tramos de menor deterioro. Este enfoque maximiza el rendimiento del gasto público, prolonga la vida útil de la infraestructura y mejora sosteniblemente los niveles de servicio de la red vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Allaire, F. y Hanson, T. (2017). *Potential of road roughness data from smartphones as an input to spring weight restriction decision-making*. Canadá: The Innovations in Pavement Management, Engineering and Technologies Group.
- Almenara, C. (2015). *Aplicación de telefonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Alvarenga. (2002). *Determinacion del Indice de Regularidad Internacional IRI*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Alvarenga, C. (2002). *Manual para la evaluación del índice de rugosidad internacional (IRI)*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- 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.
- ASTM International. (2006). *ASTM E867-06: Standard terminology relating to vehicle–pavement systems*. Obtenido de advancing standards transforming markets: <https://doi.org/10.1520/E0867-06>
- ASTM, E. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*.
- ASTM, E.-0. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*.
- Banco Mundial. (1986). *The International Road Roughness Experiment Establishing correlation and a calibration standard for measurements (World Bank Technical Paper No. 45)*. World Bank.
- Camacho P, S. (2018). *Evaluacion y analisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres Velásquez.
- Camacho, P. (2018). *Evaluación y análisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método roadroid y el rugosímetro de Merlín*. Juliaca: Universidad Nestor Caceres Velasquez.
- Cameron, C. (2012). *Innovative means of collecting international roughness index using*. Canada: University of New Brunswick.
- Cameron, C. (2012). *Innovative means of collecting international roughness index using smartphone technology*. Canadá: University of New Brunswick.

- 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.
- Definitics Software Solutions Pvt. Ltd. (5 de Septiembre de 2023). *RoadBounce – IRI Road Roughness*. Obtenido de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.definitics.rbpremium>
- Federal Highway Administration, FHWA. (2016). *Pavement Structural Design Guidelines*. U.S. Department of Transportation. Obtenido de <https://highways.dot.gov/federal-lands/pddm/pavements>
- Fenandez, S. (2021). *Índice de Rugosidad internacional (IRI) de la Av. Ejército, con la aplicación Roadroid en un Smartphone distrito de Andahuaylas, 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- FHWA. (2016). *Federal Highway Administration*. Obtenido de <https://highways.dot.gov/federal-lands/pddm/pavements>
- Gondim, V. (2019). *Influencia de la calidad del recubrimiento asfalto en la emisión de contaminantes de un vehículo ligero en Fortaleza-CE*. Fortaleza - Brasil: Universidad Federal de Ceará.
- Gonzalo, J. y Beingolea, H. (2021). *Aplicacion del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medicion de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Gonzalo, L., & Beingolea, V. (2021). *Aplicación 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.
- GSMA. (2021). *Estado de la conectividad de internet móvil*. GSMA Asia Pacific: GSMA Association.
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta edición*. México: McGRAW-HILL-Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Highways Today. (2017). *RoadBounce app measures road roughness and driving comfort anywhere*. Obtenido de https://highways.today/2017/02/01/roadbounce-app-measures-road-roughness-driving-comfort-go/?utm_source
- Laura, D. (2016). *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco - Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Lloclla, A. y Sánchez, K. (2019). *Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone roadroid, rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a y rugosímetro de merlin*. cusco: universidad andina del cusco.
- Lozano, R., & Mamani, A. (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.

Martínez, J. (2001). *valuación de la regularidad superficial mediante dispositivos de bajo costo*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). *manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos* . lima, Perú: biblioteca nacional del Perú.

Montoya, J. (2013). *Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*. Lima: Universidad de Piura.

MTC. (2014). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos*). Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú.

MTC. (2018). *Manual de carreteras* . Ministerio de transportes y comunicaciones .

MTC. (s.f.). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú .

MTC., M. d. (01 de Abril de 2014). *Gob.pe*. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones :
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.htm
I

Peralta, J. A. (17 de Febrero de 2023). *Análisis del índice de rugosidad internacional de la superficie del pavimento flexible de la vía colimes-paján, utilizando equipos inteligentes*. Obtenido de Repositorio digital de Universidad Estatal del Sur de Manabi: <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4853>

Perera, R. y Kohn, S. (2002). Issues in pavement smoothness. *NCHRP Web Document*, 42.

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.

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: Universidad Nacional de Ingeniería.

Ramirez, B. (2017). *Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey - Casma de la carretera Panamericana Norte*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Reyes, B. (2020). *Determinación del índice de rugosidad internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN*. Manabí - Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Rios , T., & Torres, C. (2022). *Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

- RoadBounce. (2023). *IRI Road Roughness App*. Obtenido de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.definitics.rbpremium&hl=en-US>
- Romero Bravo, J. L., & Calderon Arevalo, R. M. (2023). *Aplicación de un sistema de gestión de pavimentos (SGP) con datos automatizados por medio del aplicativo TotalPave, bajo el uso del índice de rugosidad (IRI) y el índice de condición del pavimento (PCI) para la determinación del estado situacional actual*. Título Profesional de Ingeniero Civil. Repositorio Institucional Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Tacna, Tacna, Perú. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670396>
- 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. W., & Karamihas, S. M. (1998). *The little book of profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles*. University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI).
- Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- 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.
- Staniek, M. (2021). *Road pavement condition diagnostics using Smartphone-based data crowdssourcing in smart cities*. Journal of traffic and transportation engineering.
- Tamrakar, P. Wayne, M. Fountain, G. Schlessinge, A. y Cameron. (2021). Rapid Pavement Roughness Measurement of Geogrid Stabilized Roads. *4th-ICTG*, , 270.
- Tamrakar, P. Wayne, M. y Broadhead, K. (2019). Use of an Innovative Technology for Measuring Surface Roughness of Pavements. *GEO St. Jhon's*, s/p.
- Telefónica. (2019). Teléfonos inteligentes. ahriendo las puertas al mundo digital. *Fundación telefónica*, 1-23. Obtenido de https://www.fundaciontelefonica.com/wp-content/uploads/2019/12/PROFESIONES_DIGITALES_5.pdf: <https://www.fundaciontelefonica.com/>
- TotalPave. (2014). *TotalPave - continuous road condition monitoring with smartphones. A multi-disciplinary approach to improve capacity & safety for road transport in Africa*. South Africa: Pretoria.

- TotalPave Technologies. (2023). *TotalPave – Pavement Data Collection and Management Platform*. Obtenido de <https://totalpave.com/>
- Transport Research Laboratory. (1993). *A guide to the MERLIN road roughness measuring machine*. Crowthorne, United Kingdom: Department of Transport.
- World Bank. (1982). *International Road Roughness Experiment (IRRE)*. Washington, D.C., Estados Unidos: World Bank.
- World Bank. (1986). *The International Road Roughness Experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements*. Washington, D.C., Estados Unidos: The World Bank.
- Zeballos, G.; Vizcarra, C. . (2020). *Aplicacion de telefonos inteligentes y el rugosimetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna - 2020*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Zevallos, Z., & Vizcarra, A. (2021). *Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosimetro de Merlin para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, Tramo: puente el peligro – Emp. PE-40, Tacna - 2020*. Tacna: Universidad privada de Tacna.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Variable Independiente	Tipo de Investigación
¿De qué manera la implementación de metodologías inteligentes influye en la evaluación de la condición superficial para proponer las alternativas de mantenimiento del pavimento flexible en la avenida Los Molles - distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa – Tacna - 2025?	Evaluar superficialmente el pavimento flexible aplicando metodologías inteligentes de evaluación para proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.	La aplicación de metodologías inteligentes de evaluación superficial al pavimento flexible permitirá determinar su condición actual para proponer alternativas de mantenimientos en la avenida Los Molles - distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.	Evaluación superficial del pavimento flexible	– IRI obtenido con – Rugosímetro de merlín – IRI obtenido con – TOTALPAVE – IRI obtenido con ROADBOUNCE – Determinación del del Estado del Pavimento flexible	Diseño de investigación: Descriptivo experimental Tipo de investigación: Se considera la investigación es de tipo aplicativo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Variable Dependiente	Indicadores Variable Dependiente	– Muestreo: – Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín – Tacna 2025
¿Cómo la metodología de evaluación del pavimento flexible mediante el Rugosímetro de merlín, TotalPave y RoadBounce permitirá proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2025?	Calcular el valor IRI con Rugosímetro de merlín, TotalPave y RoadBounce que permitirá proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.	El Valor IRI obtenido mediante el Rugosímetro de merlín permitirá en proponer alternativas de mantenimientos en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.	proponer alternativas de mantenimientos	– Nivel de irregularidades en la superficie del pavimento flexible – Calidad del pavimento	
¿Cuáles son las alternativas de mantenimiento más adecuado para pavimento flexible en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025?	Proponer las alternativas de mantenimiento más adecuado a la situación del pavimento flexible en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.	Al implantar las alternativas de mantenimiento prolongara la vida útil del pavimento flexible en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.			

¿De qué manera influyen los resultados de las metodologías Rugosímetro de Merlín, Total Pave y RoadBounce en proponer alternativas de mantenimiento en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025?	Determinar cómo los resultados obtenidos mediante las metodologías Rugosímetro de Merlín, Total Pave y RoadBounce pueden influir en proponer alternativas de mantenimiento en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.	Los resultados obtenidos a través de las metodologías Rugosímetro de Merlín, Total Pave y RoadBounce influyen significativamente en la determinación de alternativas de mantenimiento en la Av. Los Molles del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2025.			
--	---	--	--	--	--

ANEXO 2*Reporte del aplicativo TotalPave – Calzada Derecha*

FECHA	UBICACIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	CLASE DE SUPERFICIE	LATITUD INICIAL	LATITUD FINAL	IRI
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+000.00	Km 0+100.00	Pavimento	-18.0688	-18.0679	5,26
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+100.00	Km 0+200.00	Pavimento	-18.0679	-18.0670	3,16
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+200.00	Km 0+300.00	Pavimento	-18.0670	-18.0661	3,38
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+300.00	Km 0+400.00	Pavimento	-18.0661	-18.0652	2,90
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+400.00	Km 0+500.00	Pavimento	-18.0659	-18.0650	2,93
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+500.00	Km 0+600.00	Pavimento	-18.0653	-18.0645	2,76
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+600.00	Km 0+700.00	Pavimento	-18.0641	-18.0635	3,52
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+700.00	Km 0+800.00	Pavimento	-18.0629	-18.0620	3,69
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+800.00	Km 0+900.00	Pavimento	-18.0620	-18.0611	3,64
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 0+900.00	Km 1+000.00	Pavimento	-18.0611	-18.0602	4,24
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+000.00	Km 1+100.00	Pavimento	-18.0602	-18.0592	4,85
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+100.00	Km 1+200.00	Pavimento	-18.0592	-18.0583	7,00
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+200.00	Km 1+300.00	Pavimento	-18.0583	-18.0574	3,52
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+300.00	Km 1+400.00	Pavimento	-18.0574	-18.0565	5,40
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+400.00	Km 1+500.00	Pavimento	-18.0565	-18.0556	6,66
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+500.00	Km 1+600.00	Pavimento	-18.0556	-18.0547	4,61
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+600.00	Km 1+700.00	Pavimento	-18.0547	-18.0538	5,73
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+700.00	Km 1+800.00	Pavimento	-18.0538	-18.0529	7,34
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+800.00	Km 1+900.00	Pavimento	-18.0529	-18.0520	6,78
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 1+900.00	Km 2+000.00	Pavimento	-18.0520	-18.0511	4,01
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 2+000.00	Km 2+100.00	Pavimento	-18.0511	-18.0502	7,00
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 2+100.00	Km 2+200.00	Pavimento	-18.0502	-18.0493	5,03
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 2+200.00	Km 2+300.00	Pavimento	-18.0493	-18.0484	4,35
12/09/2025	Av. Los Molles	Km 2+300.00	FIN	Pavimento	-18.0641	-18.0648	3,60

Reporte del aplicativo TotalPave – Calzada Izquierda

Fecha	Ubicación	Progresiva inicial	Progresiva final	Tipo de superficie	Latitud inicio	Latitud final	IRI
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+000.00	Km 0+100.00	Pavimento	-18.0688	-18.0679	4,15
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+100.00	Km 0+200.00	Pavimento	-18.0679	-18.0670	3,73
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+200.00	Km 0+300.00	Pavimento	-18.0670	-18.0661	3,46
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+300.00	Km 0+400.00	Pavimento	-18.0661	-18.0652	4,07
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+400.00	Km 0+500.00	Pavimento	-18.0652	-18.0645	3,97
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+500.00	Km 0+600.00	Pavimento	-18.0645	-18.0637	3,60
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+600.00	Km 0+700.00	Pavimento	-18.0637	-18.0629	3,01
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+700.00	Km 0+800.00	Pavimento	-18.0629	-18.0620	3,09
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+800.00	Km 0+900.00	Pavimento	-18.0620	-18.0611	3,18
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 0+900.00	Km 1+000.00	Pavimento	-18.0611	-18.0602	2,47
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+000.00	Km 1+100.00	Pavimento	-18.0602	-18.0592	3,59
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+100.00	Km 1+200.00	Pavimento	-18.0592	-18.0583	6,35
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+200.00	Km 1+300.00	Pavimento	-18.0583	-18.0574	7,61
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+300.00	Km 1+400.00	Pavimento	-18.0574	-18.0564	3,22
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+400.00	Km 1+500.00	Pavimento	-18.0565	-18.0556	3,54
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+500.00	Km 1+600.00	Pavimento	-18.0556	-18.0547	3,44
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+600.00	Km 1+700.00	Pavimento	-18.0547	-18.0538	4,43
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+700.00	Km 1+800.00	Pavimento	-18.0538	-18.0529	6,68
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+800.00	Km 1+900.00	Pavimento	-18.0529	-18.0520	4,01
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 1+900.00	Km 2+000.00	Pavimento	-18.0520	-18.0511	3,68
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 2+000.00	Km 2+100.00	Pavimento	-18.0511	-18.0502	7,29
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 2+100.00	Km 2+200.00	Pavimento	-18.0502	-18.0493	3,69
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 2+200.00	Km 2+300.00	Pavimento	-18.0493	-18.0484	5,33
4/10/2025	Av. Los Molles	Km 2+300.00	FIN	Pavimento	-18.0484	-18.0479	4,55

ANEXO 3*Reporte del aplicativo RoadBounce – Calzada Derecha*

Fecha	Ubicación	Progresiva inicial	Progresiva final	Tipo de superficie	Latitud inicial	Latitud final	IRI
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+000.00	Km 0+100.00	Pavimento	-18.0510	-18.0519	4,43
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+100.00	Km 0+200.00	Pavimento	-18.0519	-18.0528	2,97
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+200.00	Km 0+300.00	Pavimento	-18.0527	-18.0537	2,71
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+300.00	Km 0+400.00	Pavimento	-18.0537	-18.0545	2,21
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+400.00	Km 0+500.00	Pavimento	-18.0545	-18.0556	2,33
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+500.00	Km 0+600.00	Pavimento	-18.0556	-18.0563	2,21
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+600.00	Km 0+700.00	Pavimento	-18.0563	-18.0573	2,95
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+700.00	Km 0+800.00	Pavimento	-18.0573	-18.0582	3,18
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+800.00	Km 0+900.00	Pavimento	-18.0582	-18.0592	3,20
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+900.00	Km 1+000.00	Pavimento	-18.0591	-18.0600	3,44
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+000.00	Km 1+100.00	Pavimento	-18.0600	-18.0610	3,93
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+100.00	Km 1+200.00	Pavimento	-18.0610	-18.0618	5,38
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+200.00	Km 1+300.00	Pavimento	-18.0618	-18.0628	3,39
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+300.00	Km 1+400.00	Pavimento	-18.0623	-18.0635	4,35
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+400.00	Km 1+500.00	Pavimento	-18.0635	-18.0643	5,85
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+500.00	Km 1+600.00	Pavimento	-18.0643	-18.0651	4,14
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+600.00	Km 1+700.00	Pavimento	-18.0651	-18.0660	5,14
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+700.00	Km 1+800.00	Pavimento	-18.0660	-18.0670	7,16
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+800.00	Km 1+900.00	Pavimento	-18.0670	-18.0678	6,21
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+900.00	Km 2+000.00	Pavimento	-18.0678	-18.0686	3,67
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+000.00	Km 2+100.00	Pavimento	-18.0686	-18.0696	6,01
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+100.00	Km 2+200.00	Pavimento	-18.0695	-18.0705	4,66
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+200.00	Km 2+300.00	Pavimento	-18.0704	-18.0714	3,46
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+300.00	FIN	Pavimento	-18.0713	-18.0723	3,26

Reporte del aplicativo RoadBounce – Calzada Izquierda

Fecha	Ubicación	Progresiva inicial	Progresiva final	Tipo de superficie	Latitud inicio	Latitud final	IRI
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+000.00	Km 0+100.00	Pavimento	-18.0736	-18.0727	3,40
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+100.00	Km 0+200.00	Pavimento	-18.0727	-18.0718	3,16
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+200.00	Km 0+300.00	Pavimento	-18.0718	-18.0709	3,24
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+300.00	Km 0+400.00	Pavimento	-18.0709	-18.0699	3,04
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+400.00	Km 0+500.00	Pavimento	-18.0699	-18.0691	3,51
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+500.00	Km 0+600.00	Pavimento	-18.0691	-18.0682	3,27
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+600.00	Km 0+700.00	Pavimento	-18.0682	-18.0672	2,07
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+700.00	Km 0+800.00	Pavimento	-18.0672	-18.0664	2,02
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+800.00	Km 0+900.00	Pavimento	-18.0664	-18.0655	2,82
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 0+900.00	Km 1+000.00	Pavimento	-18.0655	-18.0647	2,43
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+000.00	Km 1+100.00	Pavimento	-18.0647	-18.0639	3,13
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+100.00	Km 1+200.00	Pavimento	-18.0639	-18.0632	5,35
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+200.00	Km 1+300.00	Pavimento	-18.0632	-18.0623	4,45
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+300.00	Km 1+400.00	Pavimento	-18.0623	-18.0613	2,42
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+400.00	Km 1+500.00	Pavimento	-18.0613	-18.0604	2,29
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+500.00	Km 1+600.00	Pavimento	-18.0604	-18.0595	2,48
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+600.00	Km 1+700.00	Pavimento	-18.0595	-18.0586	3,86
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+700.00	Km 1+800.00	Pavimento	-18.0586	-18.0577	5,75
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+800.00	Km 1+900.00	Pavimento	-18.0577	-18.0568	3,43
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 1+900.00	Km 2+000.00	Pavimento	-18.0568	-18.0558	3,59
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+000.00	Km 2+100.00	Pavimento	-18.0558	-18.0550	6,39
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+100.00	Km 2+200.00	Pavimento	-18.0550	-18.0540	2,92
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+200.00	Km 2+300.00	Pavimento	-18.0540	-18.0532	4,99
01/11/2025	Av. Los Molles	Km 2+300.00	FIN	Pavimento	-18.0532	-18.0522	3,87