

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



TESIS

**“ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA
MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025”**

PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. JULIO CESAR MANCILLA RUELAS
Bach. VICTOR JESUS PORTILLO CONDORI

TACNA – PERÚ
2025

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

TESIS

**“ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA
MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 23 de diciembre de 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

SECRETARIO : Mag. FREDY RICHARD CONDORI GOMEZ

VOCAL : Mag. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO

ASESOR : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Julio Cesar Mancilla Ruelas y Víctor Jesús Portillo Condori egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 75393464 y DNI 42405813 respectivamente; así como Pedro Valerio Maquera Cruz con DNI 00471913 declaramos en calidad de autores y asesor que:

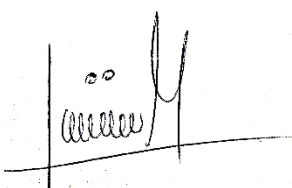
1. Somos autores de la *tesis* titulada: *Análisis de la rugosidad superficial para la propuesta de mantenimiento vial en la avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025* la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copiados.

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 a 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.

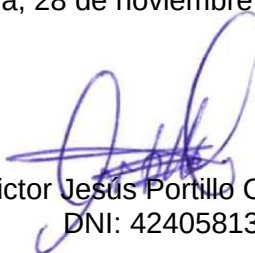
Tacna, 28 de noviembre del 2025



Julio Cesar Mancilla Ruelas
DNI: 75393464



Pedro Valerio Maquera Cruz
DNI: 00471913



Victor Jesús Portillo Condori
DNI: 42405813

DEDICATORIA

Agradezco profundamente a Dios, por ser la luz constante en mi camino, dándome serenidad cuando todo parecía incierto. A mis padres, pilares de mi vida, cuyo ejemplo de integridad, perseverancia y amor incondicional me han guiado hasta este logro. A mi familia entera, por cada palabra de aliento y por estar presentes en cada paso, incluso en silencio. A los amigos leales que no soltaron mi mano cuando las fuerzas flaqueaban. Y, finalmente, me lo dedico a mí mismo, por atreverme a soñar grande, por resistir cada caída y por demostrarme que los límites están donde uno decide ponerlos.

Julio Cesar Mancilla Ruelas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes, con su presencia o ausencia, marcaron mi camino. A mis padres, por su ejemplo silencioso de lucha diaria; a mi familia, por ser mi refugio constante; a los amigos leales que me alentaron en los momentos de duda. A cada madrugada de esfuerzo, a cada caída que me enseñó a levantarme con más fuerza. Y a mí, por sostener este sueño incluso cuando parecía lejano. Este logro no es solo académico: es un testimonio de perseverancia, convicción y amor propio.

Victor Jesús Portillo Condori

AGRADECIMIENTO

Con profundo aprecio, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron posible la realización de esta investigación. A nuestros docentes y asesores, por su guía oportuna y su compromiso con la formación académica. A la Universidad por brindarnos los medios necesarios para crecer profesionalmente. A nuestras familias, cuya fe inquebrantable fue el motor que impulsó cada paso de este proceso. A los amigos que nos ofrecieron palabras de aliento y compañía sincera, incluso en los momentos más exigentes. Y a todos aquellos que, sin esperar reconocimiento, contribuyeron silenciosamente a que este trabajo llegara a su fin, gracias por creer en este propósito tanto como nosotros.

Julio Cesar Mancilla Ruelas
Victor Jesús Portillo Condori

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1. Descripción del problema	4
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.3.1. Desde una perspectiva social	6
1.3.2. Desde una perspectiva científica	7
1.3.3. Desde una perspectiva económica	7
1.3.4. Desde una perspectiva ambiental	8
1.4. Objetivos	8
1.5. Hipótesis.....	9
1.5.2. Hipótesis específicas	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación	10
2.1.1. A nivel internacional	10
2.1.2. A nivel nacional	11
2.1.3. A nivel local.....	12
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1. MTC DG - 2018.....	13
2.2.2. Rugosidad del pavimento.....	13
2.2.3. Pavimento	15
2.2.4. Rugosímetro de Merlín.....	16
2.2.5. Mantenimiento periódico	18
2.2.6. Aplicativo Abakal IRI	19
2.2.7. Durabilidad del pavimento.....	20

2.2.8.	Índice de rugosidad internacional (IRI)	21
2.3.	Definición de términos	22
2.3.1.	Valor de IRI	22
2.3.2.	Tipo de instrumento	23
2.3.3.	Longitud del tramo	23
2.3.4.	Número de lecturas	23
2.3.5.	Promedio de IRI	23
2.3.6.	Tipo de mantenimiento	24
2.3.7.	Clasificación MTC	24
2.3.8.	Valor técnico presupuesto	24
2.3.9.	Longitud intervenida	25
2.3.10.	Grado de urgencia	25
	CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	26
3.1.	Diseño de investigación	26
3.2.	Acciones y actividades	26
3.3.	Materiales e instrumentos	29
3.4.	Población y muestra de estudio	30
3.4.1.	Población	30
3.4.2.	Muestra	31
3.5.	Operacionalización de variables	32
3.5.1.	Identificación y caracterización de las variables	32
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	34
3.6.1.	Delimitación del tramo vial de estudio	36
3.6.2.	Planificación del trabajo de campo	37
3.6.3.	Medición de la rugosidad superficial con el método Merlín	38
3.6.4.	Medición de la rugosidad superficial con el aplicativo Abakal IRI	63
3.6.5.	Procesamiento y sistematización	65
3.6.6.	Clasificación del pavimento según rangos MTC	66
3.6.7.	Análisis comparativo de métodos	67
3.6.8.	Formulación de la propuesta de mantenimiento vial	68
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	69
4.1.	Resultados del ensayo con rugosímetro Merlín	69
4.2.	Resultados del IRI con el software Abakal	70
4.3.	Propuesta técnica de mantenimiento periódico	70
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	72
	CONCLUSIONES	75

RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente	33
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente	34
Tabla 3. Medición de IRI mediante Abakal IRI - bajada	63
Tabla 4. Medición de IRI mediante Abakal IRI - subida	64
Tabla 5. Tabla resumen de resultados mediante rugosímetro merlín	65
Tabla 6. Tabla resumen de resultados mediante Abakal IRI	66
Tabla 7. Clasificación del pavimento del IRI	66
Tabla 8. Tabla comparativa de métodos	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de investigación	5
Figura 2. Rugosidad del pavimento	15
Figura 3. Capas de pavimento flexible	16
Figura 4. Rugosímetro de merlín	18
Figura 5. Interfase del aplicativo Abakal IRI	20
Figura 6. Escala para clasificar los caminos según el IRI	22
Figura 7. Flujograma de acciones y actividades metodológicas	27
Figura 8. Flujograma del procedimiento y análisis de datos.....	35
Figura 9. Delimitación del tramo vial de estudio.....	37
Figura 10. Tramo 0+000 a 0+400 - Izquierdo.....	39
Figura 11. Distribución de frecuencias – Tramo 0+000 a 0+400 - Izquierdo	40
Figura 12. Tramo 0+400 a 0+800 - Izquierdo.....	41
Figura 13. Distribución de frecuencias – Tramo 0+400 a 0+800 - Izquierda	42
Figura 14. Tramo 0+800 a 1+200 - Izquierdo.....	43
Figura 15. Distribución de frecuencias – Tramo 0+800 a 1+200 - Izquierda	44
Figura 16. Tramo 1+200 a 1+600 - Izquierdo.....	45
Figura 17. Distribución de frecuencias – Tramo 1+200 a 1+600 - Izquierda	46
Figura 18. Tramo 1+600 a 2+000 - Izquierdo.....	47
Figura 19. Distribución de frecuencias – Tramo 1+600 a 2+000 - Izquierda	48
Figura 20. Tramo 2+000 a 2+400 - Izquierdo.....	49
Figura 21. Distribución de frecuencias – Tramo 2+000 a 2+400 - Izquierda	50
Figura 22. Tramo 0+000 a 0+400 - Derecho.....	51
Figura 23. Distribución de frecuencias – Tramo 0+000 a 0+400 - Derecho	52
Figura 24. Tramo 0+400 a 0+800 - Derecho.....	53
Figura 25. Distribución de frecuencias – Tramo 0+400 a 0+800 – Derecho.....	54
Figura 26. Tramo 0+800 a 1+200 – Derecho	55
Figura 27. Distribución de frecuencias - Tramo 0+800 a 1+200 - Derecho	56
Figura 28. Tramo 1+200 a 1+600 - Derecho.....	57
Figura 29. Distribución de frecuencias – Tramo 1+200 a 1+600 - Derecho	58
Figura 30. Tramo 1+600 a 2+000 - Derecho.....	59
Figura 31. Distribución de frecuencias – Tramo 1+600 a 2+000 - Derecho	60
Figura 32. Tramo 2+000 a 2+400 - Derecho.....	61
Figura 33. Distribución de frecuencias – Tramo 2+000 a 2+400 – Derecho.....	62

RESUMEN

La presente investigación "Análisis de la rugosidad superficial para la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025" cuyo objetivo general fue analizar la rugosidad superficial para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna. El tipo fue investigación aplicada con diseño no experimental transversal descriptivo y la muestra estuvo conformada por seis tramos de evaluación de 400 m cada uno en la Avenida Mariano Necochea (del km 0+000 al km 2+400). Entre sus resultados obtuvieron que el 50 % de los tramos evaluados presentaron valores de IRI superiores a 4,0 m/km mediante el rugosímetro de Merlín, y el 66,7 % de los tramos mostraron valores de IRI mayores a 3,5 m/km mediante el aplicativo Abakal IRI, indicando condiciones de regularidad entre regular y malo según la clasificación del MTC. Se formuló una propuesta de mantenimiento vial periódico con un presupuesto de un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles (S/ 1 051 405,52), que incluye actividades de parchado superficial, fresado, nivelación y reconfiguración granular. Llegaron a concluir que la rugosidad superficial determinada mediante ambos métodos (Merlín y Abakal) permitió sustentar técnicamente la propuesta de mantenimiento vial periódico para la avenida, dado que los valores de IRI evidenciaron deterioro significativo en la superficie del pavimento flexible que compromete el confort y seguridad de los usuarios, siendo necesaria una intervención correctiva orientada a restituir la transitabilidad y prolongar la vida útil de la infraestructura vial urbana.

Palabras clave: Rugosidad superficial; mantenimiento vial periódico; rugosímetro Merlín; Abakal e IRI.

ABSTRACT

The present research "Analysis of surface roughness for the road maintenance proposal on Mariano Necochea Avenue, Ciudad Nueva, Tacna – 2025" whose general objective was to analyze the surface roughness to support the road maintenance proposal on Mariano Necochea Avenue, Ciudad Nueva, Tacna. The type was applied research with a descriptive cross-sectional non-experimental design and the sample consisted of six evaluation segments of 400 m each on Mariano Necochea Avenue (from km 0+000 to km 2+400). Among its results, they obtained that 50 % of the evaluated segments presented IRI values greater than 4,0 m/km using the Merlin roughness meter, and 66,7 % of the segments showed IRI values greater than 3,5 m/km using the Abakal IRI application, indicating regularity conditions between fair and poor according to the MTC classification. A periodic road maintenance proposal was formulated with a budget of One million fifty-one thousand four hundred five and 52/100 Peruvian soles (S/ 1 051 405,52), which includes surface patching, milling, leveling, and granular base reformation activities. They concluded that the surface roughness determined through both methods (Merlin and Abakal) allowed for technically supporting the periodic road maintenance proposal for the avenue, given that the IRI values evidenced significant deterioration of the flexible pavement surface that compromises user comfort and safety, requiring a corrective intervention aimed at restoring trafficability and extending the service life of the urban road infrastructure.

Keywords: Surface roughness; periodic road maintenance; Merlin profilometer; Abakal; and IRI.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de las vías urbanas en la ciudad de Tacna representó un desafío técnico importante debido al deterioro progresivo del pavimento y la falta de estrategias sostenibles de conservación. La presencia de fisuras, baches y deformaciones en la superficie de rodadura comprometió la seguridad vial, el confort del usuario y elevó los costos operativos de los vehículos. Ante esta realidad, se volvió fundamental evaluar la condición superficial del pavimento para sustentar decisiones técnicas que optimizaran su mantenimiento y extendieran su vida útil.

La presente investigación se justificó desde múltiples perspectivas. Desde el punto de vista social, la Avenida Mariano Necochea constituye un eje vial fundamental que conecta zonas residenciales, comerciales e institucionales del distrito de Ciudad Nueva, siendo utilizada diariamente por aproximadamente 8 500 vehículos y miles de peatones, cuya seguridad y calidad de desplazamiento dependen directamente del estado del pavimento. Desde la perspectiva técnico-científica, la investigación contribuyó al fortalecimiento de metodologías de evaluación funcional de pavimentos mediante el uso de herramientas validadas internacionalmente (rugosímetro de Merlín) y tecnologías emergentes de bajo costo (aplicativo Abakal IRI), generando conocimiento replicable en contextos similares. Desde el enfoque económico, la evaluación oportuna de la rugosidad superficial permitió formular propuestas de mantenimiento preventivo y periódico (valorizado en S/ 1 051 405,52) que resultan 65 % más económicas que intervenciones de reconstrucción total, optimizando el uso de recursos públicos municipales. Finalmente, desde la dimensión ambiental, el mantenimiento adecuado de pavimentos reduce emisiones contaminantes al disminuir el consumo de combustible asociado a la conducción sobre superficies irregulares, contribuyendo a la sostenibilidad urbana.

En ese contexto, se desarrolló la presente investigación con el propósito de analizar la rugosidad superficial de la Avenida Mariano Necochea mediante el uso del rugosímetro tipo Merlín y el aplicativo informático Abakal IRI, herramientas que permitieron medir el nivel de irregularidad longitudinal de la vía. Estos instrumentos, de fácil aplicación y bajo costo, demostraron ser eficaces para levantar información precisa sobre el estado del pavimento en tramos definidos, permitiendo una caracterización técnica detallada.

La investigación se centró en determinar el nivel de rugosidad y proponer una intervención adecuada de mantenimiento vial, sustentada en criterios técnicos y normativos. Se utilizó una metodología de enfoque aplicado, con diseño no experimental y de corte transversal. Se recolectaron datos in situ, procesándose con software especializado para obtener el Índice de Regularidad Internacional (IRI), el cual fue comparado con los límites establecidos por el Manual de Carreteras: Conservación Vial del MTC (2018).

La tesis se estructuró en cinco capítulos:

En el capítulo I se presenta la formulación del problema, la justificación desde perspectivas social, científica, económica y ambiental, los objetivos generales y específicos, así como las hipótesis y alcances de la investigación.

En el capítulo II se desarrolló el marco teórico, que incluye los antecedentes de investigación a nivel internacional, nacional y local, los fundamentos técnicos sobre rugosidad superficial, pavimentos flexibles, instrumentos de medición (rugosímetro de Merlín y aplicativo Abakal IRI), y el marco normativo peruano aplicable (MTC DG-2018, Manual de Conservación Vial, Especificaciones Técnicas).

En el capítulo III se describe el enfoque metodológico del estudio, señalando el tipo y nivel de investigación (aplicada, descriptiva), diseño no experimental transversal, población (2.4 km de la Av. Mariano Necochea), muestra (6 tramos de 400 m cada uno), técnicas de recolección de datos (medición directa con rugosímetro y aplicativo móvil), e instrumentos empleados (fichas técnicas, hojas de cálculo, software especializado).

En el capítulo IV se exponen los resultados obtenidos del procesamiento de datos con el aplicativo móvil Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín, presentando valores de IRI por tramo, análisis estadístico descriptivo, clasificación del estado funcional del pavimento según normativa MTC, y la propuesta técnica de mantenimiento periódico valorizada, permitiendo su análisis técnico comparativo.

En el capítulo V se aborda la discusión, contrastando los hallazgos con investigaciones previas realizadas en Tacna y otras regiones del Perú, analizando las causas probables del deterioro identificado (antigüedad del pavimento, tráfico pesado, deficiencias de drenaje, factores climáticos), evaluando la pertinencia de las metodologías utilizadas mediante análisis de correlación entre métodos, y discutiendo las implicancias técnicas, económicas y sociales de los resultados obtenidos en el contexto de la gestión vial municipal.

Asimismo, se plantearon conclusiones específicas respecto al estado superficial de la vía evaluada, la efectividad de los métodos de medición empleados, y la viabilidad técnico-económica de la propuesta de mantenimiento formulada. Se formularon recomendaciones dirigidas a entidades gubernamentales competentes (Municipalidad Distrital de Ciudad Nueva, Gobierno Regional de Tacna, MTC) para la ejecución del mantenimiento vial propuesto, la implementación de sistemas de gestión de pavimentos urbanos, y el fortalecimiento de capacidades técnicas locales en evaluación de infraestructura vial.

Cabe destacar que el alcance de esta investigación se centró en analizar la rugosidad superficial de un tramo determinado de la Avenida Mariano Necochea, utilizando el rugosímetro Merlín y el aplicativo Abakal, herramientas que permitieron obtener datos técnicos para sustentar una propuesta de mantenimiento.

Con esta investigación se buscó contribuir al desarrollo de estrategias técnicas de conservación vial basadas en evidencia objetiva, promoviendo la toma de decisiones informadas que optimicen la inversión pública en infraestructura urbana y mejoren la calidad de vida de la población usuaria de la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En el distrito de Ciudad Nueva, ubicado en la provincia de Tacna, se identificó un progresivo deterioro en la superficie de rodadura de la Avenida Mariano Necochea, vía que constituye uno de los principales ejes de conexión urbana y de tránsito vehicular. La falta de un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado, sumado al incremento del flujo vehicular pesado y al desgaste natural por factores ambientales, generó un notorio incremento en la rugosidad del pavimento asfáltico, afectando la comodidad y seguridad de los usuarios.

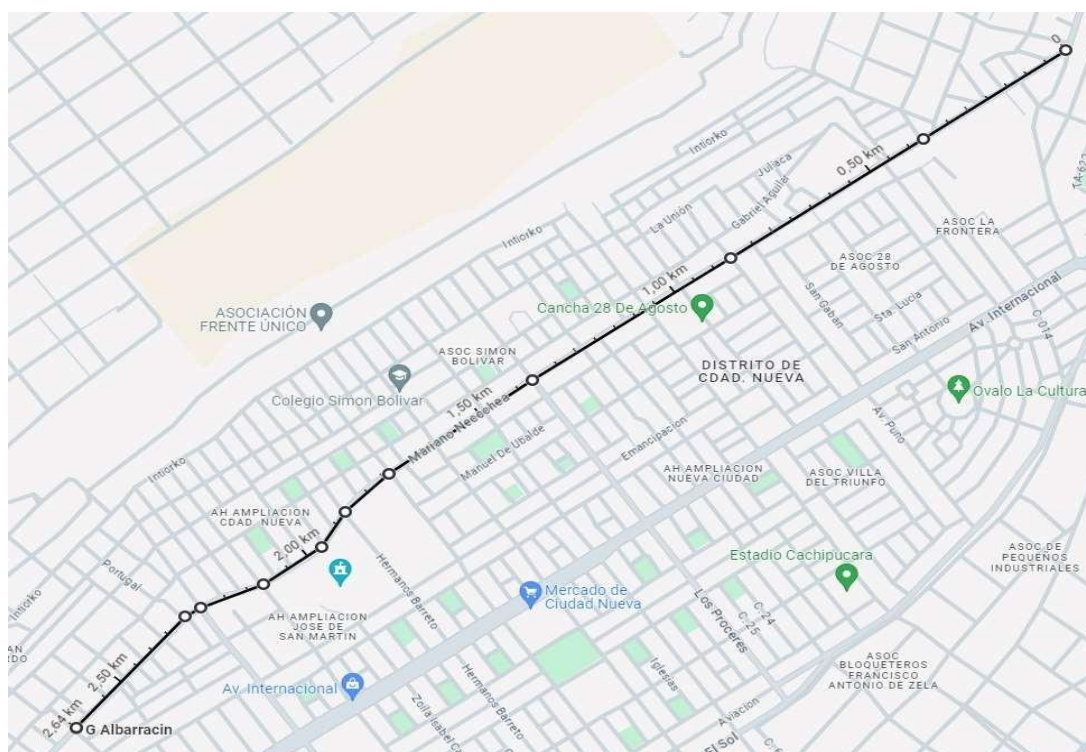
Durante los recorridos preliminares y levantamientos de campo realizados, se evidenciaron tramos con deformaciones, fisuras longitudinales y baches superficiales, características que, además de representar riesgos para la seguridad vial, ocasionaban una reducción en la vida útil del pavimento y en la eficiencia operativa del transporte. La ausencia de un sistema técnico de evaluación periódica contribuyó a que no se tomaran decisiones informadas respecto al tipo de mantenimiento que debía aplicarse, lo que agravó el problema.

En ese contexto, surgió la necesidad de aplicar una metodología que permitiera cuantificar de forma técnica el grado de deterioro del pavimento. Para ello, se utilizó el rugosímetro tipo Merlín, herramienta que permitió medir el Índice de Regularidad Internacional (IRI), valor internacionalmente reconocido para evaluar la calidad de la superficie vial. Los resultados obtenidos fueron procesados mediante el aplicativo informático Abakal IRI, permitiendo establecer umbrales de intervención en función a los rangos de IRI.

Este diagnóstico riguroso sentó las bases para el diseño de una propuesta técnica de mantenimiento periódico valorizada en S/ 1 051 405,52 (un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles), con el objetivo de mejorar las condiciones de transitabilidad, prolongar la durabilidad de la infraestructura vial y reducir los costos de operación vehicular en beneficio de la población usuaria. La inversión propuesta resulta económicamente viable al prevenir el colapso funcional de la vía, evitando futuras intervenciones de mayor envergadura cuyo costo podría superar los S/ 3 000 000,00 en caso de requerir reconstrucción total, garantizando así la sostenibilidad financiera del sistema vial urbano.

La Figura 1 presenta el tramo específico de estudio correspondiente a la Avenida Mariano Necochea, ubicada en el distrito de Ciudad Nueva, provincia de Tacna. Esta vía constituye un eje principal dentro de la infraestructura vial urbana de la zona, con alta afluencia vehicular y peatonal. La delimitación gráfica muestra los puntos de muestreo distribuidos a lo largo de la avenida, desde su intersección con la Av. G. Albarracín hasta su conexión con TA-619 final, cubriendo una longitud aproximada de 2,40 kilómetros. La selección de este tramo responde a la necesidad de evaluar su estado superficial mediante el análisis de la rugosidad, con el propósito de proponer estrategias de mantenimiento vial basadas en evidencia técnica.

Figura 1
Zona de investigación



Nota. Google maps (2025).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el análisis de la rugosidad superficial permitirá sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la rugosidad superficial obtenida mediante el método del rugosímetro Merlín para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?
- b. ¿Cuál es la rugosidad superficial obtenida mediante el aplicativo Abakal para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?
- c. ¿Cómo contribuyen los resultados del análisis de rugosidad superficial en el desarrollo de la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?

1.3. Justificación e importancia

La presente investigación reviste especial importancia al proponer una metodología accesible y técnicamente válida para evaluar el estado superficial del pavimento en la Avenida Mariano Necochea, ubicada en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna. La aplicación del rugosímetro tipo Merlín junto con el aplicativo informático Abakal permite recolectar datos precisos sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), proporcionando una base objetiva para priorizar acciones de mantenimiento vial. Esta propuesta no solo responde a la necesidad de mejorar la transitabilidad y seguridad de los usuarios, sino que también promueve el uso racional de los recursos públicos mediante decisiones basadas en evidencia. Asimismo, aporta al fortalecimiento de la gestión vial municipal, al incorporar herramientas de bajo costo y fácil implementación que pueden ser replicadas en otras vías urbanas con similares características. En consecuencia, el estudio contribuye al desarrollo de estrategias sostenibles de intervención en la infraestructura vial urbana, con enfoque técnico, económico y social.

1.3.1. Desde una perspectiva social

Desde una perspectiva social, esta investigación adquiere relevancia al enfocarse en mejorar la calidad de vida de los habitantes del distrito de Ciudad Nueva, Tacna, mediante la optimización del mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, una vía de alto tránsito peatonal y vehicular. La degradación del pavimento no solo afecta la seguridad de los usuarios peatones, ciclistas, transportistas y personas con movilidad reducida, sino que también limita el acceso a servicios esenciales como salud,

educación y comercio. Al proponer un método técnico de evaluación económica, replicable y de fácil implementación, el estudio promueve la equidad en el acceso a una infraestructura vial segura y funcional. Además, contribuye a fortalecer la confianza de la población en la gestión pública, al evidenciar una planificación basada en datos objetivos y orientada al bienestar colectivo. En suma, la propuesta incide positivamente en la movilidad urbana, la integración barrial y la justicia territorial, pilares fundamentales para el desarrollo social sostenible en contextos urbanos vulnerables.

1.3.2. Desde una perspectiva científica

Desde una perspectiva científica, la presente investigación aporta al cuerpo de conocimiento en el ámbito de la ingeniería civil y la gestión del mantenimiento vial urbano, al emplear herramientas tecnológicas como el Rugosímetro tipo Merlín y el aplicativo informático Abakal para la evaluación superficial de pavimentos. Este enfoque técnico permite obtener mediciones objetivas del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), facilitando un análisis cuantitativo preciso sobre el estado funcional de la vía. La sistematización de estos métodos permite replicabilidad en contextos similares, fomentando el uso de tecnologías accesibles en estudios de diagnóstico vial, lo cual representa una alternativa eficiente frente a evaluaciones más complejas o costosas. Asimismo, el estudio establece una conexión entre la teoría del deterioro vial, la ingeniería del transporte y la toma de decisiones basada en evidencia, contribuyendo a la validación de metodologías aplicadas en zonas urbanas con recursos limitados. De este modo, se genera una propuesta que no solo optimiza la intervención vial, sino que también fortalece la base científica sobre la cual deben sustentarse las políticas de mantenimiento vial urbano.

1.3.3. Desde una perspectiva económica

Desde una perspectiva económica, esta investigación cobra relevancia al proponer una alternativa eficiente y de bajo costo para el diagnóstico del estado funcional del pavimento urbano, utilizando herramientas como el Rugosímetro Merlín y el aplicativo Abakal IRI. La implementación de estas metodologías contribuye a una asignación racional de los recursos públicos, permitiendo que las entidades municipales prioricen intervenciones viales de manera oportuna y basada en evidencia técnica. Al evitar el deterioro avanzado del pavimento, se reducen los costos futuros de rehabilitación total y se favorece el mantenimiento periódico, que resulta significativamente más económico a largo plazo. Asimismo, el estudio promueve la sostenibilidad financiera del sistema

vial urbano, al fortalecer la planificación presupuestal y reducir el gasto improductivo asociado a intervenciones reactivas o mal programadas. De esta manera, la propuesta se alinea con los principios de eficiencia y eficacia en el uso del presupuesto público, generando impactos positivos tanto para las arcas municipales como para los usuarios del sistema vial.

1.3.4. Desde una perspectiva ambiental

Desde una perspectiva ambiental, la presente investigación promueve el desarrollo sostenible al contribuir con la conservación del entorno urbano mediante la planificación adecuada del mantenimiento vial. Al implementar una metodología de evaluación basada en el Rugosímetro Merlín y el aplicativo Abakal IRI, se facilita la identificación oportuna de daños superficiales en el pavimento, lo cual permite programar intervenciones preventivas antes de que el deterioro avance y requiera procesos más invasivos o de mayor consumo de materiales y energía. De este modo, se reducen las emisiones de gases contaminantes asociadas a trabajos de rehabilitación mayor y al uso excesivo de maquinaria pesada. Además, una infraestructura vial en buen estado mejora la eficiencia del transporte urbano, disminuye el consumo de combustible y contribuye indirectamente a la mitigación del impacto ambiental generado por el tráfico vehicular. Así, esta investigación aporta a una gestión ambientalmente responsable de las vías urbanas, alineándose con los principios de sostenibilidad y ecoeficiencia en la gestión pública.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la rugosidad superficial para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la rugosidad superficial mediante el método del Merlín para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna - 2025.

- b. Determinar la rugosidad superficial mediante el aplicativo Abakal para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la avenida mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.
- c. Evaluar los resultados de la rugosidad superficial para desarrollar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El análisis de la rugosidad superficial permite sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. La rugosidad superficial determinada mediante el método del Merlín permite sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.
- b. La rugosidad superficial determinada mediante el aplicativo Abakal permite sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.
- c. La evaluación de los resultados de la rugosidad superficial contribuye al desarrollo de la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

En Ecuador, Menéndez (2022), en su tesis titulada “Análisis del índice de rugosidad Internacional de la superficie del pavimento flexible de la vía Colimes-Paján, utilizando equipos inteligentes”, cuyo objetivo general fue analizar la regularidad superficial de la vía Colimes-Paján mediante el cálculo del IRI utilizando aplicaciones móviles y equipos inteligentes, llevó a cabo un estudio aplicado con diseño no experimental y enfoque transversal. La muestra incluyó tramos representativos de la vía, con mediciones utilizando métodos como TotalPave y otros aplicativos móviles. Entre los resultados, los valores de IRI fluctuaron entre 1,87 m/km y 7,11 m/km, mostrando variabilidad dependiente de la zona y método. Concluyó que los equipos móviles constituyen una alternativa viable y eficaz para diagnosticar la rugosidad del pavimento flexible, proporcionando datos útiles para el mantenimiento vial.

En Ecuador, Armijos y Fernández (2022), en su tesis titulada “Correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y deflexiones medidas mediante deflectometría de impacto (FWD) para la optimización del análisis de desempeño del pavimento”, cuyo objetivo general fue determinar la correlación entre el IRI y las deflexiones medidas con FWD en la vía Cuenca – Molleturo, llevaron a cabo un estudio aplicado con diseño no experimental y enfoque transversal, evaluando tramos entre la abscisa 10+000 y 30+000. Los resultados mostraron un coeficiente de determinación de 0,26 al considerar deflexión central y promedio móvil de décimo orden; al estimar IRI y deflexiones en la misma fecha, el coeficiente ascendió a 0,406. Concluyeron que la relación entre rugosidad y deflexiones puede disminuir con el tiempo, y que entender esta correlación mejora el análisis de desempeño del pavimento.

En Ecuador, Chaluisa y Estévez (2023), en su tesis titulada “Diseño, elaboración e implementación de un ‘Rugosímetro Merlín’ en el laboratorio de pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus Sur”, cuyo objetivo general fue desarrollar e implementar un equipo Merlín para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en ambiente controlado, realizaron un estudio de tipo aplicado con diseño no experimental y enfoque transversal. El instrumento fue probado en un tramo de 386 m con 200 lecturas sistemáticas. Los resultados demostraron que el dispositivo cumple con especificaciones del TRRL y arroja resultados precisos en el cálculo del IRI,

permitiendo una alternativa práctica y calibrable para uso universitario en diagnósticos de pavimentos. Concluyeron que su implementación proporciona un recurso valioso para futuras investigaciones y prácticas técnicas en ingeniería vial.

2.1.2. A nivel nacional

En Cajamarca, Tingal Limay (2021), en su tesis titulada “Análisis del índice de rugosidad internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlín”, cuyo objetivo general fue analizar la rugosidad superficial del pavimento flexible mediante el cálculo del IRI utilizando el rugosímetro Merlín, desarrolló un estudio aplicado, con diseño no experimental y enfoque transversal. La evaluación se realizó en tramos de 400 m por calzada. Entre sus resultados, se obtuvo un IRI promedio de 1,07 m/km en la calzada de ida y 1,10 m/km en la calzada de retorno, clasificando el estado de la vía como bueno. Concluyó que el rugosímetro Merlín constituye una herramienta práctica, precisa y de bajo costo, útil para el diagnóstico técnico de rugosidad en pavimentos flexibles, permitiendo tomar decisiones fundamentadas en el mantenimiento vial.

En Puno, Chambilla y Ramos (2021), en su tesis titulada “Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de Merlín y el aplicativo IRI-Calc-Free en la Avenida Simón Bolívar, Puno”, cuyo objetivo general fue evaluar el pavimento flexible utilizando el rugosímetro Merlín y el aplicativo IRI-Calc-Free, desarrollaron un estudio aplicado con diseño no experimental y corte transversal. La muestra incluyó un tramo vial de 3,20 km repartido entre carriles derecho e izquierdo, con 32 unidades de muestra de 400 m por método. En sus resultados, el IRI promedio fue de 3,28 m/km (Merlín) y 3,51 m/km (Calc-Free) para el carril derecho, y de 3,85 m/km y 4.21 m/km respectivamente para el carril izquierdo, con una similitud promedio de 83 %. Concluyeron que ambos métodos ofrecen resultados cercanos, validando el uso del aplicativo móvil como alternativa viable y económica para medir rugosidad en vías urbanas.

En Lima, Espinoza y Mendoza (2023), en su tesis titulada “Estado superficial del pavimento flexible mediante las metodologías PCI, VIZIR y el aplicativo IRI en la Avenida Cincuentenario, Hualmay – 2023”, cuyo objetivo general fue determinar el estado superficial de dicho pavimento usando tres metodologías (PCI, VIZIR e IRI), llevaron a cabo un estudio aplicado con diseño no experimental y enfoque transversal. La evaluación comprendió el tramo completo de la avenida (aproximadamente 3.8 km), dividida en unidades de muestreo sistemáticas según protocolos PCI y VIZIR, además

de cálculos de IRI con el aplicativo correspondiente. Entre sus resultados, identificaron porcentajes de defectos mediante PCI y VIZIR, mientras que los valores del IRI permitieron clasificar zonas como entre “normal” y “regular”. Concluyeron que la combinación de estas metodologías brinda un diagnóstico integral y sólido del estado funcional del pavimento, útil para la planificación efectiva del mantenimiento vial.

2.1.3. A nivel local

En Tacna, Carhuavilca Salas (2022), en su tesis titulada “Deterioro superficial de la carpeta asfáltica y serviciabilidad vial de la Avenida Antúnez de Mayolo, distrito G. Albarracín L.”, cuyo objetivo general fue determinar el deterioro superficial del pavimento y su relación con la serviciabilidad vial de dicha avenida, desarrolló un estudio de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y corte transversal. La muestra estuvo conformada por 48 unidades de evaluación (24 en bajada y 24 en subida). Entre sus resultados, obtuvo que el IRI promedio fue de 4,883 m/km, mientras que los valores de serviciabilidad se ubicaron entre 2,05 y 2,07; lo que indica una condición regular a mala. Concluyó que el tramo presenta un deterioro funcional significativo, recomendando una intervención técnica inmediata para garantizar condiciones aceptables de transitabilidad.

En Tacna, Choque y Pilco (2023), en su tesis titulada “Análisis comparativo entre aplicación de rugosímetro de Merlín y aplicativo celular para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional en la Avenida Collpa tramo Óvalo Cuzco – Avenida Educadores, Tacna – 2023”, cuyo objetivo general fue comparar las mediciones de IRI obtenidas por ambos métodos, desarrollaron un estudio aplicado con diseño no experimental y corte transversal, evaluando un tramo de la avenida (aproximadamente 1,6 km) dividido en secciones de 400 m para cada método. Entre sus resultados, se obtuvo un IRI promedio de 6,36 m/km con Merlín y 6,15 m/km con Roadroid, registrando una similitud del 96,7 %, lo que indica que ambos métodos brindan resultados consistentes. Concluyeron que las aplicaciones móviles pueden ser una alternativa viable y económica para la medición de rugosidad en vías urbanas, manteniendo precisión cercana al rugosímetro tradicional.

En Tacna, Calderón y Marona (2023), en su tesis titulada “Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlín para analizar el IRI del pavimento en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 – Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna – 2021”, cuyo objetivo general fue determinar los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del pavimento flexible utilizando tanto aplicativo Abakal en celulares como el equipo

Merlín, realizaron un estudio aplicado de diseño no experimental con corte transversal en un tramo de 2 510 m de longitud. Entre sus resultados obtuvieron un IRI promedio de 5,03 m/km con Abakal y 5,56 m/km con Merlín, calificando el estado funcional como “malo” y la transitabilidad como “regular”. Concluyeron que el aplicativo móvil obtiene resultados comparables al equipo Merlín, ofreciendo una alternativa viable y económica para la medición de rugosidad en vías urbanas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. MTC DG - 2018

MTC (2018), el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, aprobado mediante Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14, constituye el instrumento normativo que establece los criterios y parámetros técnicos para el diseño vial en el Perú, aplicables tanto a carreteras como a vías urbanas. Este manual define la clasificación de las vías según su funcionalidad (expresas, arteriales, colectoras y locales) y establece parámetros geométricos como anchos de calzada, radios mínimos de curvatura, pendientes longitudinales y características del pavimento en función del volumen de tráfico proyectado. Para vías urbanas colectoras, como es el caso de la Avenida Mariano Necochea, el manual especifica requisitos de diseño que garantizan adecuadas condiciones de transitabilidad, seguridad vial y confort de los usuarios. Además, el DG-2018 incorpora criterios de rugosidad superficial admisible que deben cumplirse tanto en la etapa de construcción como durante la vida útil del pavimento, estableciendo que las vías urbanas de primer orden deben mantener valores de IRI inferiores a 3,5 m/km para asegurar niveles óptimos de serviciabilidad.

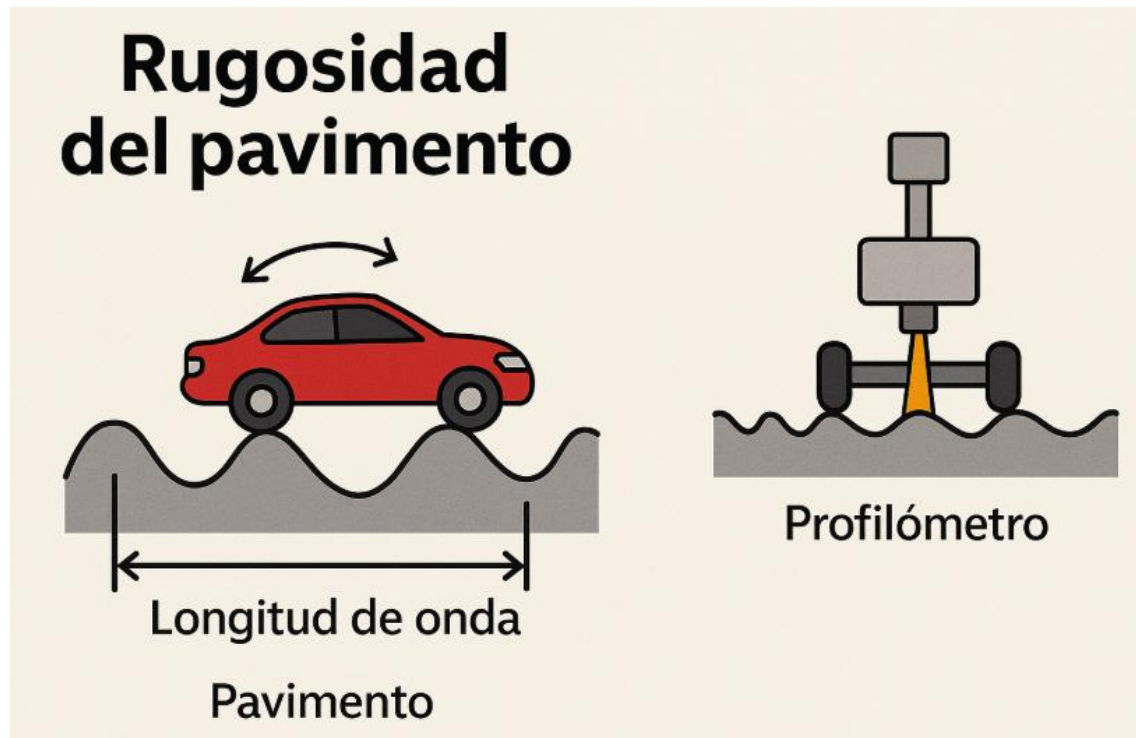
2.2.2. Rugosidad del pavimento

La rugosidad del pavimento según el MTC (2018), es una propiedad funcional que describe las irregularidades longitudinales de la superficie vial y representa uno de los indicadores más relevantes en la evaluación del confort de rodadura, el consumo energético del transporte vehicular y el mantenimiento vial. Estas irregularidades afectan la seguridad vial, la comodidad del usuario y el desgaste vehicular, siendo especialmente críticas en vías urbanas donde la frecuencia de tránsito y la velocidad son variables constantes. Para su evaluación, se emplea el Índice de Regularidad Internacional (IRI), una métrica estandarizada desarrollada por el Banco Mundial en la década de 1980, que simula el comportamiento dinámico de un vehículo tipo (modelo

cuarte de automóvil) al transitar a una velocidad constante de 80 km/h sobre un perfil longitudinal de pavimento. Esta simulación genera un valor en metros por kilómetro (m/km) que permite clasificar la condición de la vía: a menor valor, mejor regularidad superficial. El IRI ha sido adoptado por diversas normativas internacionales como la ASTM E1926 y es reconocido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú como parámetro obligatorio en evaluaciones funcionales de pavimentos. Asimismo, estudios recientes han demostrado que existe una correlación entre la rugosidad y otras variables como el índice de condición del pavimento (PCI), lo que refuerza su utilidad para el diagnóstico técnico integral de la infraestructura vial. La rugosidad puede ser medida mediante distintos equipos como perfilómetros láser, vehículos instrumentados o dispositivos portátiles como el rugosímetro Merlín, cuyos datos pueden ser procesados por software especializados como Abakal IRI. La evaluación de la rugosidad no solo permite identificar zonas deterioradas, sino que también facilita la programación del mantenimiento vial basado en criterios objetivos, priorizando la intervención en función del grado de afectación funcional. En consecuencia, el análisis de la rugosidad constituye una herramienta técnica fundamental para la gestión eficiente de la infraestructura vial, con impacto directo en la planificación del mantenimiento y la mejora continua de la red de transporte.

La Figura 2 representa gráficamente el concepto de rugosidad del pavimento, una característica clave en la evaluación del estado superficial de las vías. Se observa cómo las irregularidades longitudinales del pavimento, representadas por ondas, generan impactos directos sobre el confort del usuario y el comportamiento dinámico del vehículo. Además, se ilustra el uso de un perfilómetro, equipo utilizado para medir estas variaciones de superficie con precisión, herramienta esencial para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), parámetro ampliamente empleado en estudios de mantenimiento vial. Esta representación refuerza la importancia de monitorear adecuadamente la superficie de rodadura para garantizar condiciones de tránsito seguras y eficientes.

Figura 2
Rugosidad del pavimento



2.2.3. Pavimento

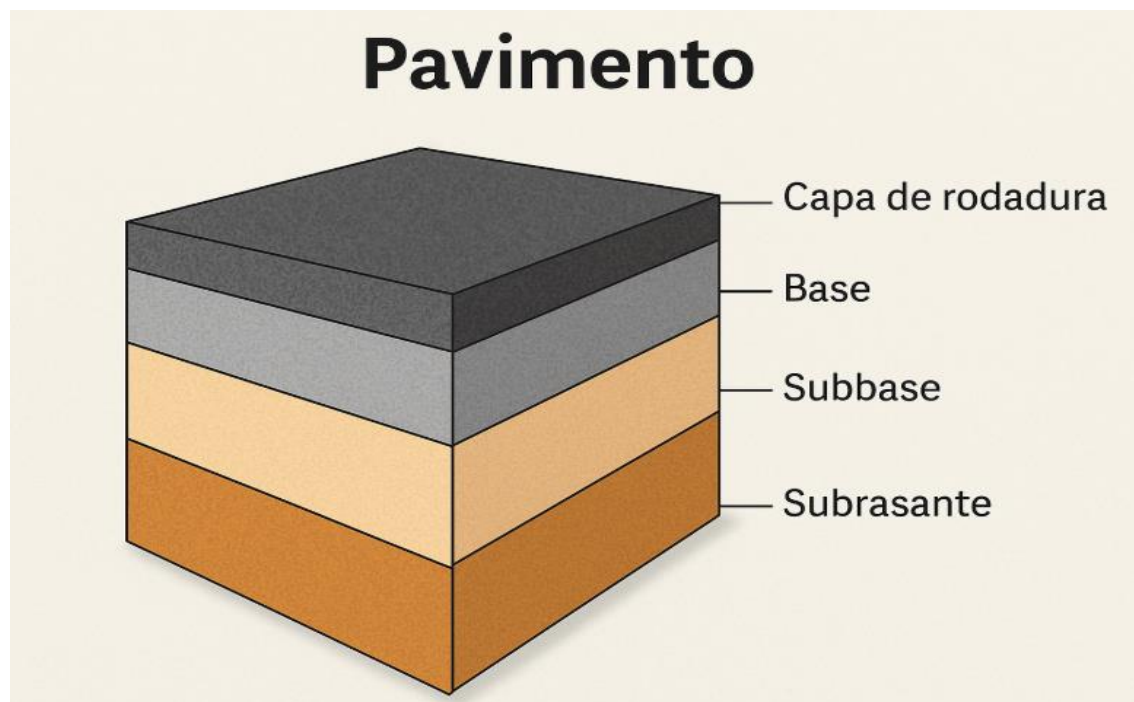
Según Rondón et al., (2011), el pavimento es una estructura de ingeniería compuesta por múltiples capas construidas sobre un terreno preparado (subrasante) para soportar cargas vehiculares y distribuir las de manera segura hacia la base del suelo, evitando el exceso de presión sobre el mismo. Las capas típicas incluyen sub-base, base y capa de rodadura, siendo este último el contacto directo con el tráfico diario. Existen principalmente dos tipos: los pavimentos flexibles (mezclas asfálticas compactadas sobre base granular) que dispersan las cargas mediante la distribución de esfuerzos de grano a grano; y los pavimentos rígidos (losas de hormigón armado o simple) que transfieren las cargas por flexión a una superficie sólida. Un pavimento eficiente debe ser estructuralmente resistente, ofrecer buena adherencia, baja rugosidad, minimizar el ruido y controlar los costos de construcción y mantenimiento. Estos elementos estructurales y funcionales son esenciales para garantizar un buen desempeño vial y prolongar la vida útil de la infraestructura (carga soporte, confort de rodadura y durabilidad).

La investigación de Ulm en el MIT demostró que, al modificar la cantidad o tipo de material cementante (como en el caso del reemplazo parcial del cemento por

sedimentos u otros materiales puzolánicos), se altera la cantidad y calidad del gel C–S–H generado durante el proceso de hidratación. Por lo tanto, cualquier adición o reemplazo debe ser evaluado cuidadosamente para determinar si favorece o deteriora la formación de esta fase clave.

La Figura 3 muestra las capas estructurales de un pavimento flexible, compuesto por la subrasante, subbase, base y capa de rodadura. Cada una cumple una función específica dentro del sistema: la subrasante proporciona el soporte natural del terreno; la subbase distribuye las cargas y mejora la capacidad portante; la base actúa como soporte estructural intermedio; y la capa de rodadura es la superficie de contacto con el tránsito vehicular, diseñada para resistir el desgaste. Esta configuración permite que las tensiones inducidas por el tráfico se disipen progresivamente hacia las capas inferiores, preservando la durabilidad del pavimento.

Figura 3
Capas de pavimento flexible



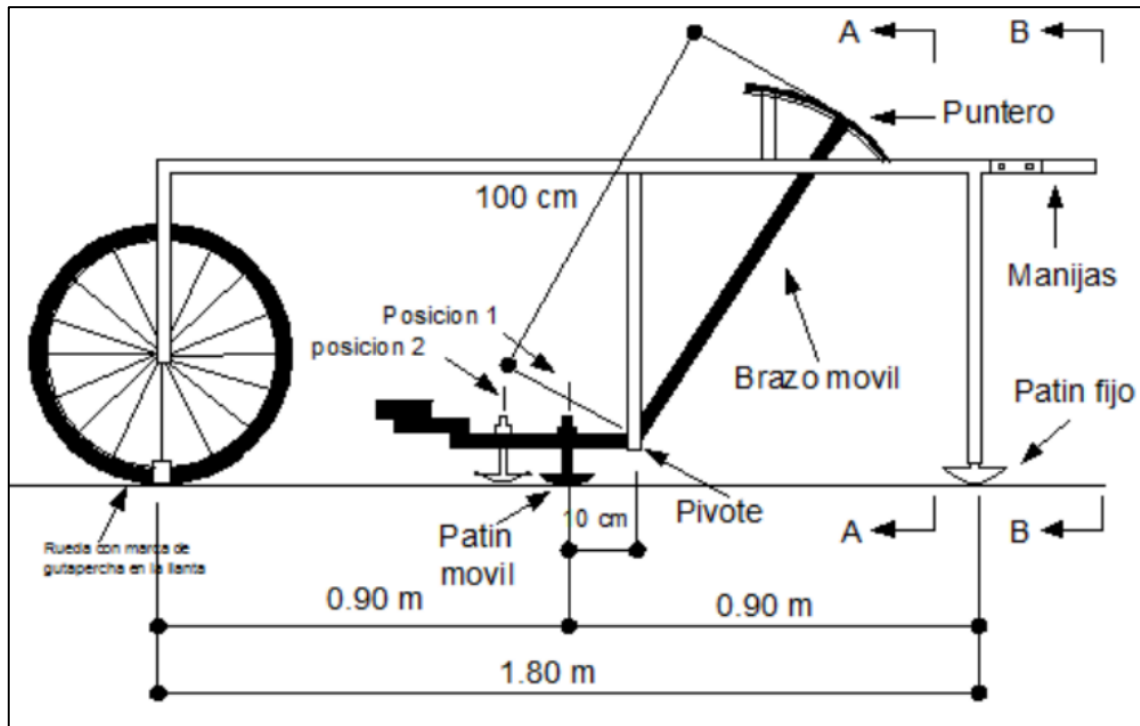
2.2.4. Rugosímetro de Merlín

Según Del Águila (1998), el rugosímetro merlín (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), desarrollado por el Transport Research Laboratory (TRL) del Reino Unido, es un dispositivo portátil y económico diseñado para medir la rugosidad superficial del pavimento y calibrar equipos como el Bump Integrator. Consta

de una estructura metálica de aproximadamente 1,8 m de longitud con una rueda frontal, un pie posterior y una sonda ubicada entre ambas, que registra la desviación vertical media del pavimento (“mid-chord deviation”) en cada revolución de la rueda. Se realizan típicamente 200 mediciones acumuladas para construir un histograma que refleja la dispersión del puntero; la amplitud entre el décimo y decimoprimer cruce del histograma se mide en mm como valor D, que luego se convierte en IRI mediante la ecuación $IRI = 0,593 + 0,0471 D$ (válido para IRI entre 2,4 y 15,9 m/km). Este procedimiento, calibrable fácilmente con bloques estándar, permite obtener estimaciones fiables del IRI en condiciones de campo, ideal para estudios en vías urbanas o rurales con recursos limitados. El Merlín destaca por su robustez, bajo costo (en torno a 250 USD), facilidad de uso, rápido aprendizaje operativo y mantenimiento accesible, lo que lo convierte en una alternativa práctica y confiable en ingeniería vial cuantitativa.

La Figura 4 representa el esquema técnico del rugosímetro tipo Merlín, un dispositivo mecánico desarrollado por el Transport Research Laboratory (TRL) con el propósito de estimar la rugosidad superficial del pavimento, empleando el método de desviación media de cuerda. Este instrumento se compone de una estructura metálica de aproximadamente 1,80 metros de longitud, una rueda posterior que facilita su desplazamiento, un sistema de apoyo conformado por un patín móvil y uno fijo, así como un brazo articulado que sostiene un puntero calibrado. Para su operación, el equipo se posicionó sobre el eje de calzada en estaciones previamente establecidas a lo largo del tramo de evaluación. En cada estación, el operador procedió a registrar la altura del puntero respecto a una referencia base. Las lecturas obtenidas fueron representadas en un histograma, a partir del cual se calculó el valor promedio de la desviación vertical (D), transformándose este resultado en el Índice de Regularidad Internacional (IRI) mediante fórmulas de correlación empírica. A pesar de tratarse de un procedimiento manual, ofrece resultados confiables y de bajo costo operativo, lo que lo convierte en una herramienta idónea para trabajos de campo en zonas con limitaciones tecnológicas. Su uso está validado en países en desarrollo y ha sido incorporado en las metodologías de evaluación funcional recomendadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el Perú.

Figura 4
Rugosímetro de merlín



Nota. Extraído de Águila (1999).

2.2.5. Mantenimiento periódico

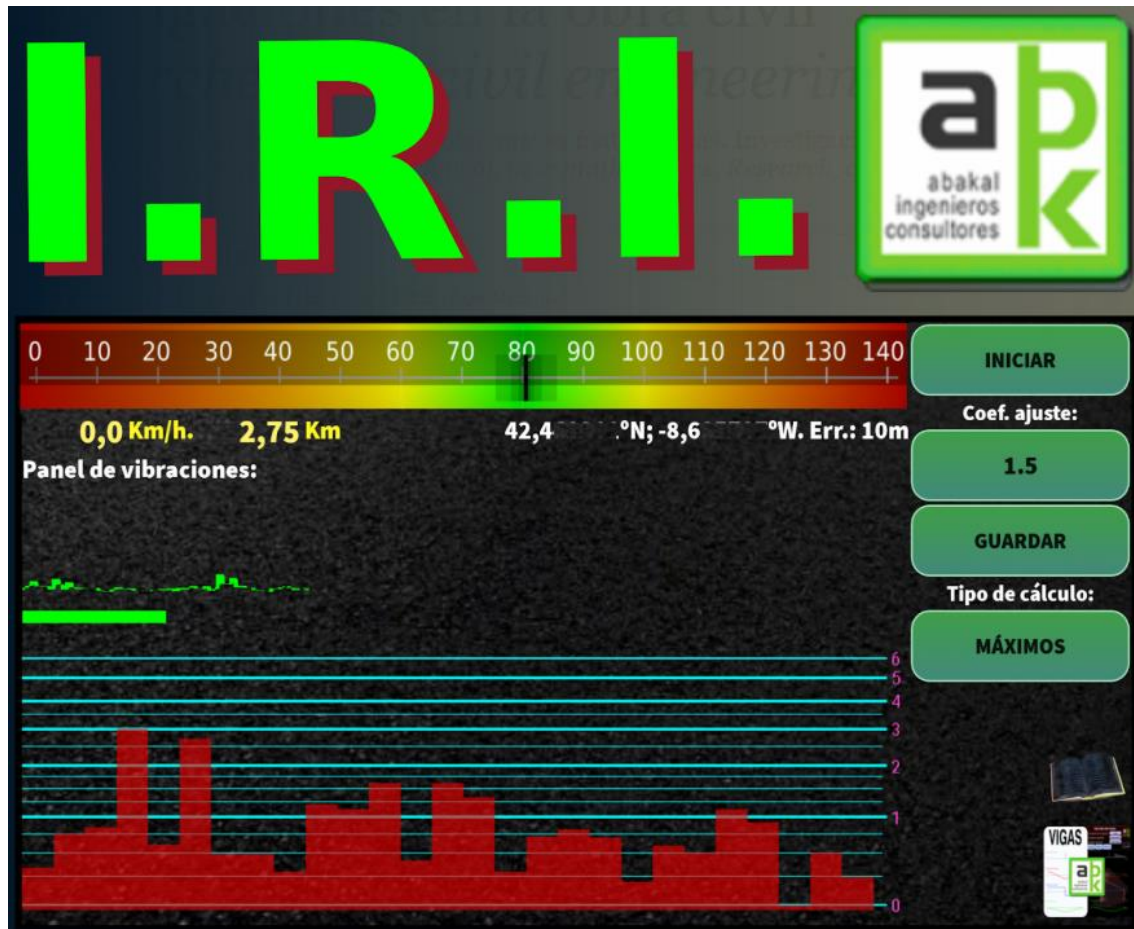
Moreno et al. (2018), el mantenimiento periódico de carreteras es un conjunto de actividades planificadas que se ejecutan en intervalos regulares, generalmente cada 1 a 5 años, con el objetivo de preservar las condiciones funcionales del pavimento y prolongar su vida útil sin afectar significativamente su estructura. Este tipo de mantenimiento se realiza antes de que el deterioro avance a niveles severos, permitiendo intervenir de forma preventiva y eficiente. Las acciones típicas incluyen el sellado de grietas, el bacheo superficial, la aplicación de lechadas asfálticas, el recarpeteo y la colocación de capas de refuerzo. Estas intervenciones permiten mejorar la calidad de rodadura, reducir la rugosidad superficial y mantener la seguridad del usuario. A diferencia del mantenimiento rutinario, que responde a problemas menores frecuentes, el mantenimiento periódico responde a la evolución natural del desgaste por tránsito y condiciones climáticas. Es considerado una de las estrategias más costo-efectivas dentro de la gestión vial, ya que permite evitar intervenciones mayores como rehabilitaciones o reconstrucciones. Su adecuada implementación requiere una planificación técnica basada en evaluaciones funcionales como el Índice de Regularidad Internacional (IRI), lo cual garantiza que los recursos se destinen de forma eficiente y oportuna.

2.2.6. Aplicativo Abakal IRI

Nieto (2020), el software Abakal IRI es una aplicación móvil desarrollada especialmente para calcular el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando sensores de vibración y posicionamiento GPS en teléfonos inteligentes Android. Permite generar gráficas, reportes y calibración del sensor para ajustarse a mediciones obtenidas con métodos convencionales. Abakal IRI se ha utilizado en estudios comparativos con el rugosímetro Merlín en avenidas urbanas de Tacna, demostrando una similitud promedio del ~93 % con valores obtenidos por el equipo tradicional, y obteniendo IRI promedio del orden de 5,5 m/km en diversos. Esta herramienta representa una alternativa accesible, de bajo costo y adecuada para diagnóstico funcional de pavimentos en contextos donde los recursos tecnológicos son limitados, contribuyendo así a decisiones técnicas respaldadas por evidencia objetiva.

La Figura 5 muestra la interfaz operativa del aplicativo Abakal IRI, una herramienta digital que permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) mediante sensores integrados en dispositivos móviles Android. Esta aplicación emplea el acelerómetro y el sistema GPS del equipo para registrar las vibraciones generadas durante el desplazamiento de un vehículo sobre la superficie del pavimento. La interfaz brinda información detallada como la distancia recorrida (2,40 km), la velocidad del vehículo, la escala cromática de los valores IRI (de verde a rojo) y un histograma que representa gráficamente la magnitud de las irregularidades. Adicionalmente, incorpora un coeficiente de ajuste configurable (1,5) y la opción de seleccionar el tipo de cálculo (promedio, máximo o calibrado). Una de sus principales ventajas radica en su facilidad de uso, permitiendo obtener resultados confiables en campo sin requerir equipos costosos. Esto convierte al aplicativo Abakal IRI en una alternativa eficiente para el análisis funcional del pavimento, siendo útil tanto en diagnósticos preliminares como en estudios comparativos con metodologías tradicionales, como el rugosímetro Merlín. En conjunto, esta herramienta representa un valioso aporte para la gestión vial, al proporcionar datos técnicos accesibles y precisos para la toma de decisiones en el mantenimiento periódico.

Figura 5
Interfase del aplicativo Abakal IRI



Nota. Aplicativo Abakal.

2.2.7. Durabilidad del pavimento

Según Byond (2013), la durabilidad del pavimento se refiere a su capacidad para mantener un desempeño estructural y funcional adecuado durante su vida útil proyectada, sin requerir intervenciones mayores, incluso ante la exposición constante a cargas de tráfico, agentes climáticos y envejecimiento de materiales. Esta propiedad implica resistencia a fatiga, agrietamiento, deformación plástica (rutting), oxidación del ligante y daño por humedad, factores que pueden comprometer su integridad si no se diseñan y construyen adecuadamente. La calidad del material, control de compactación, buen drenaje y diseño estructural optimizado son determinantes clave para lograr pavimentos duraderos. Un pavimento es durable cuando mantiene su integridad frente a condiciones ambientales y cargas esperadas sin mostrar fallas estructurales. Investigaciones recientes también resaltan la importancia del uso de aditivos asfálticos y modelaciones mecánicas empíricas para mejorar la durabilidad y reducir la frecuencia

de mantenimiento. En resumen, la durabilidad es esencial para maximizar la vida útil del pavimento, reducir costos operativos y programar intervenciones técnicas con base en evidencia cuantificable.

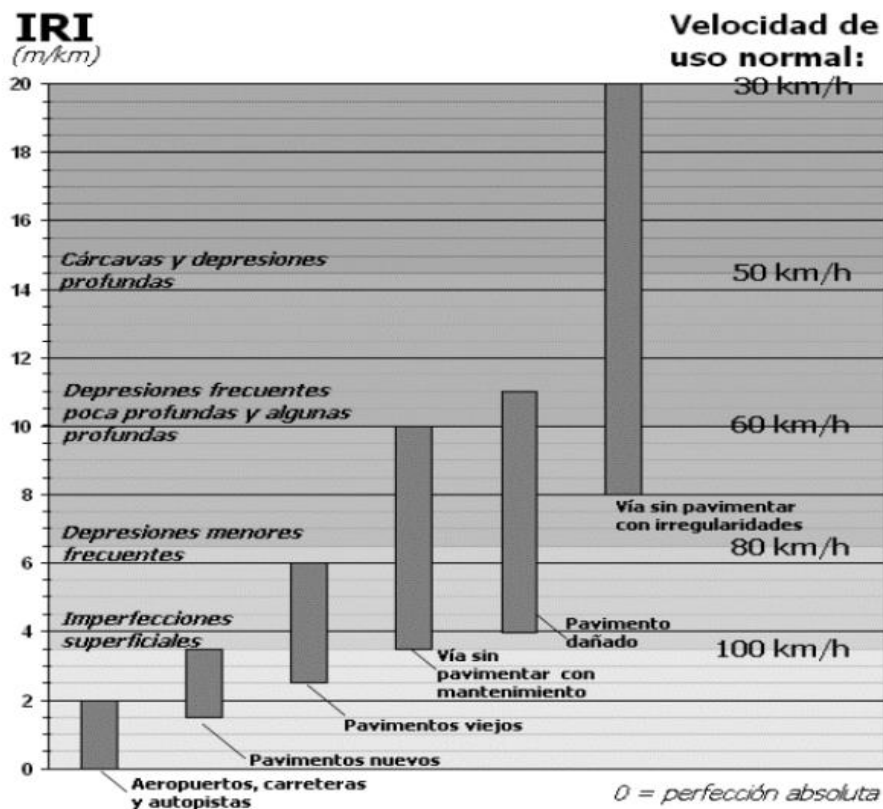
2.2.8. Índice de rugosidad internacional (IRI)

Según Sayers et al. (1988), el Índice de Regularidad Internacional (IRI) es el indicador más utilizado a nivel mundial para cuantificar la rugosidad longitudinal de la superficie vial. Su cálculo se basa en un modelo matemático conocido como “quarter-car”, diseñado para simular la respuesta vertical acumulada de un vehículo tipo al recorrer un perfil longitudinal a una velocidad estándar de 80 km/h. El algoritmo genera un valor en metros por kilómetro (m/km), donde valores bajos reflejan una superficie lisa y confortable, mientras que valores altos indican elevada irregularidad, lo cual afecta la comodidad y seguridad del tránsito Pavement Management Services. El IRI ha sido estandarizado por normas como ASTM E1926, AASHTO PP 37-04 y es requerido por organismos como la FHWA para la evaluación funcional de redes viales. Su alta reputación radica en la capacidad de producir datos replicables, comparables y con baja subjetividad, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para la gestión de activos viales, planificación del mantenimiento y evaluación de contratos de construcción vial según criterios de delimitación de suavidad de la superficie.

La Figura 6 muestra una escala técnica que permite clasificar el estado funcional de los pavimentos en función del valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI), expresado en metros por kilómetro (m/km), y su relación con la velocidad de tránsito segura. Esta representación gráfica asocia distintos rangos de IRI con condiciones físicas observables en la superficie vial, tales como imperfecciones leves, depresiones menores, cárcavas profundas o superficies sin mantenimiento. Se evidencia que un menor valor de IRI (menor a 2 m/km) corresponde a superficies óptimas, como autopistas o pistas de aeropuertos, que permiten velocidades de hasta 100 km/h. En contraste, valores superiores a 12 m/km indican pavimentos con graves deterioros, como depresiones profundas o cárcavas, en los cuales la velocidad de tránsito debe restringirse drásticamente, llegando incluso a 30 km/h. Esta escala, además de reflejar el nivel de confort y seguridad del usuario, sirve como herramienta clave en la toma de decisiones para el mantenimiento vial. Permite definir umbrales técnicos que justifican intervenciones periódicas o correctivas, basadas en la funcionalidad real del pavimento. Su utilización es especialmente útil para gobiernos locales y gestores viales, ya que

traduce un valor numérico en un lenguaje visual comprensible que facilita la priorización de recursos en función del deterioro funcional.

Figura 6
Escala para clasificar los caminos según el IRI



Nota. Extraído de Badilla (2009)

2.3. Definición de términos

2.3.1. Valor de IRI

Indicador cuantitativo utilizado internacionalmente para medir la rugosidad longitudinal de un pavimento. Se calcula mediante un modelo cuasi-vehicular («quarter-car») que acumula el desplazamiento vertical de la suspensión a una velocidad estándar de 80 km/h, resultando en un valor expresado en metros por kilómetro (m/km). Valores menores indican superficies más lisas y confortables, mientras que valores elevados reflejan deterioros que afectan la seguridad y el nivel de servicio vial según Chen et al. (2020).

2.3.2. Tipo de instrumento

Corresponde a la clasificación del equipo utilizado para medir rugosidad vial, el cual puede ser estático, dinámico o basado en respuesta vehicular. Cada tipo se diferencia por su principio de funcionamiento, precisión y aplicabilidad en campo. En estudios de bajo costo, como en contextos urbanos, se emplean instrumentos manuales como el rugosímetro Merlín, mientras que en vías de alta demanda se recurre a perfilómetros de alta velocidad según Cundill (1991).

2.3.3. Longitud del tramo

Es la longitud mínima estándar sobre la cual se mide o reporta el valor del IRI para una evaluación sistemática de la superficie vial. Generalmente se utiliza una longitud de 0,1 millas (≈ 160 m) como unidad base para promediar perfiles de rugosidad y permitir comparaciones consistentes entre secciones de pavimento. También puede utilizarse un tramo alternativo de 0,05 millas (≈ 80 m) para evaluaciones de detalle o localizaciones específicas. La elección del tramo influye en la estabilidad del valor IRI: longitudes menores tienden a mostrar mayor variabilidad, mientras que longitudes mayores reducen la dispersión de datos y mejoran la comparabilidad internacional según Smith (2016).

2.3.4. Número de lecturas

Corresponde a la cantidad de mediciones puntuales realizadas con el rugosímetro Merlín a lo largo de un tramo estándar (aproximadamente 200 m), utilizadas para construir un histograma representativo de la desviación vertical del pavimento. El procedimiento recomendado sugiere aproximadamente 200 lecturas por sección para garantizar estabilidad estadística en el valor de IRI. Un menor número de lecturas disminuye la precisión, mientras que un exceso puede saturar el gráfico y complicar su interpretación según Cundill (1991).

2.3.5. Promedio de IRI

Es el valor promedio del Índice de Regularidad Internacional (IRI) de un tramo vial, convertido a partir de perfiles medidos en los dos carriles (derecho e izquierdo); para cada segmento (por ejemplo, cada 0,1 millas o ~ 160 m) se calcula el IRI por camino de rueda y luego se promedia, produciendo el índice que representa la suavidad de la vía

en dicha sección. Este promedio reduce la variabilidad entre carriles y permite estadísticas más representativas, útiles para la evaluación funcional y comparaciones entre tramos y jurisdicciones según Smith (2016).

2.3.6. Tipo de mantenimiento

El tipo de mantenimiento vial se refiere a la clasificación técnica de las acciones de conservación de una carretera según su objetivo y momento de ejecución. Se distingue principalmente entre mantenimiento preventivo, que se realiza de forma planificada para retrasar el deterioro y preservar el buen estado funcional del pavimento, y mantenimiento correctivo, que se aplica una vez que se han manifestado fallas visibles como baches, fisuras o deformaciones. Esta clasificación permite estructurar una gestión vial eficiente, asegurando intervenciones oportunas que optimicen recursos y prolonguen la vida útil del pavimento según Hicks et al. (2000).

2.3.7. Clasificación MTC

La clasificación MTC se refiere al sistema establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú para determinar el estado funcional de una vía en función del valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Esta clasificación se utiliza como criterio técnico para definir el tipo y la urgencia del mantenimiento vial. De acuerdo con los rangos establecidos por Provías Descentralizado, un pavimento se clasifica como “muy bueno” si el IRI está entre 4 y 6 m/km, “bueno” entre 6 y 10 m/km, “regular” entre 10 y 14 m/km, “malo” entre 14 y 18 m/km y “muy malo” si supera los 18 m/km. Esta herramienta permite estandarizar el diagnóstico funcional de pavimentos y priorizar intervenciones en base a indicadores técnicos objetivos según MTC (2018).

2.3.8. Valor técnico presupuesto

Es el costo estimado técnicamente para ejecutar un conjunto de actividades de mantenimiento vial, calculado según especificaciones técnicas, rendimientos estándar y precios unitarios. Este valor permite cuantificar los recursos necesarios de manera objetiva, comparando alternativas de intervención y evaluando su viabilidad económica-técnica dentro de un horizonte de planificación definido, como parte de una evaluación técnico-económica (TEA) del proyecto vial según De Rus (2008).

2.3.9. Longitud intervenida

La longitud intervenida es el tramo específico de pavimento sobre el cual se ejecutan actividades de mantenimiento vial previamente programadas, ya sean preventivas o correctivas. Esta unidad se define en el expediente técnico y normalmente coincide con la longitud medida por IRI o monitoreo funcional, delimitada por estaciones de medición. Una longitud bien definida permite estimar con precisión los recursos necesarios (materiales, mano de obra, equipos) y asegurar que las intervenciones técnicas sean equivalentes entre secciones homogéneas, promoviendo uniformidad en los criterios de seguimiento y evaluación del proyecto según De Rus (2008).

2.3.10. Grado de urgencia

El grado de urgencia se refiere al nivel de prioridad asignado a un tramo vial para ser intervenido, considerando criterios tales como la condición funcional (rugosidad, PCI), volumen de tránsito, riesgo estructural y contexto socioeconómico. Este indicador se utiliza en sistemas de gestión vial para clasificar las vías que requieren atención inmediata frente a otras que pueden esperar. Metodologías como el Índice de Prioridad de Mantenimiento (MPI), calculado mediante técnicas como AHP o VIKOR, integran múltiples factores y generan una puntuación continua que facilita la toma de decisiones en planificación vial según Huang et al. (2023).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de investigación

Hernández et al. (2021), la presente investigación adoptó un nivel descriptivo, no experimental – transversal, desarrollado en campo a lo largo del tramo 0+000 km al 2+400 km de la avenida Mariano Necochea, con el objetivo de evaluar la condición superficial del pavimento mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI). Para ello, se emplearon dos instrumentos principales, el rugosímetro tipo Merlín, que permite calcular el valor del IRI a partir de la desviación promedio (D), y el aplicativo digital Abakal IRI, que registra las vibraciones del vehículo y su desplazamiento utilizando sensores del teléfono móvil. La toma de datos se realizó cada 100 metros, garantizando una cobertura representativa y precisa del estado funcional del pavimento. Esta metodología permitió procesar la información recolectada para clasificar los niveles de deterioro según rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), generando así un diagnóstico técnico confiable para la toma de decisiones en mantenimiento vial. Asimismo, se evidencia que la utilización conjunta del rugosímetro Merlín y la app Abakal constituye una alternativa accesible y eficiente, especialmente útil para gobiernos locales o entidades con recursos limitados, contribuyendo al fortalecimiento de prácticas sostenibles de evaluación vial.

3.2. Acciones y actividades

La figura 7 presenta el flujograma metodológico seguido durante el desarrollo de la presente investigación. El proceso se inició con la delimitación del tramo de estudio, correspondiente a la Avenida Mariano Necochea. A continuación, se procedió a la planificación del trabajo de campo, estableciendo la logística necesaria para la ejecución de las mediciones. Posteriormente, se aplicaron dos métodos complementarios para evaluar la rugosidad superficial del pavimento: el rugosímetro tipo Merlín y el aplicativo informático Abakal IRI, con el objetivo de garantizar precisión y confiabilidad en los resultados. Una vez recolectados los datos, se realizó el procesamiento y sistematización de la información, lo que permitió clasificar el estado del pavimento según los rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Finalmente, se desarrolló un análisis comparativo de los métodos empleados, culminando con la formulación de una propuesta técnica de mantenimiento vial adecuada a las condiciones detectadas en el tramo evaluado.

Figura 7
Flujograma de acciones y actividades metodológicas



Nota. La figura resume el proceso metodológico desde la delimitación del tramo hasta la propuesta de mantenimiento, incluyendo mediciones y análisis comparativo.

Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación titulada “Análisis de la rugosidad superficial para la propuesta de mantenimiento vial en la avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025”, se llevaron a cabo las siguientes acciones y actividades metodológicas, desarrolladas de manera secuencial:

a. Delimitación del tramo de estudio

Se definió el tramo de evaluación en la Avenida Mariano Necochea, entre los puntos 0+000 y 2+400, considerando su importancia vial. Esta delimitación permitió establecer

los límites geográficos para aplicar las mediciones de rugosidad y planificar el trabajo técnico de campo.

b. Planificación del trabajo de campo

En esta fase se estructuraron las actividades operativas necesarias para el levantamiento de datos en campo, definiendo rutas, puntos de medición y la frecuencia del muestreo. Se organizaron los recursos técnicos y humanos, incluyendo la asignación de responsabilidades, cronograma de visitas y selección de equipos como el rugosímetro Merlín y el aplicativo Abakal IRI. Esta planificación garantizó la recolección sistemática y eficiente de datos, respetando la metodología establecida para asegurar la confiabilidad del estudio.

c. Medición de la rugosidad superficial con el método Merlín

En esta etapa, se realizó la evaluación de la rugosidad superficial del pavimento mediante el uso del rugosímetro tipo Merlín, un equipo manual que permite estimar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) a partir del perfil longitudinal de la calzada. La medición se llevó a cabo en tramos definidos cada 400 metros, colocando el dispositivo sobre una superficie nivelada y siguiendo el protocolo establecido por el Transport Research Laboratory (TRL). Se registraron las deformaciones superficiales para luego calcular el IRI utilizando las fórmulas proporcionadas por el manual del equipo. Estos datos permitirán clasificar el estado del pavimento conforme a los rangos establecidos por el MTC.

d. Procesamiento y sistematización

En esta etapa se organizaron, sistematizaron y procesaron los datos recolectados de las mediciones de rugosidad superficial. Se calcularon los valores promedio del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos mediante los métodos aplicados, y se clasificaron según los rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este proceso permitió evaluar técnicamente el estado funcional del pavimento, brindando una base objetiva para la formulación de estrategias de mantenimiento vial.

e. Clasificación del pavimento según rangos MTC

En este punto, se realiza la categorización del estado superficial del pavimento en función de los valores de rugosidad obtenidos mediante el método Merlín, utilizando como referencia los rangos establecidos por el Manual de Carreteras: Mantenimiento Rutinario del MTC. Esta clasificación permite determinar si el pavimento se encuentra en condición buena, regular o mala, en función del valor de IRI (Índice de Rugosidad Internacional), sirviendo como base objetiva para definir las estrategias de mantenimiento más adecuadas. El análisis se lleva a cabo mediante la comparación de los datos recolectados en campo con los umbrales normativos, asegurando una evaluación técnica alineada con la normativa nacional vigente y facilitando la toma de decisiones en el marco de la gestión vial.

f. Análisis comparativo de métodos

Se realiza una comparación entre los resultados obtenidos mediante el método Merlín y los generados por otros métodos alternativos o softwares como Abakal IRI. Este análisis evalúa la concordancia, ventajas, limitaciones y aplicabilidad de cada método, brindando una perspectiva crítica para la elección técnica más adecuada en futuros estudios o intervenciones viales.

g. Formulación de la propuesta de mantenimiento vial

Se elaboró una propuesta de mantenimiento vial basada en los resultados del análisis de rugosidad, priorizando los tramos en mal estado. Las intervenciones propuestas incluyen bacheo, repapeo y mantenimiento periódico, conforme al nivel de deterioro y lineamientos del MTC. Además, se estimaron volúmenes, presupuesto y fichas técnicas para facilitar su ejecución y asegurar la sostenibilidad de la vía.

3.3. Materiales e instrumentos

3.3.1. Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación orientada a la evaluación de la rugosidad superficial del pavimento y la formulación de una propuesta de mantenimiento vial, se emplearon los siguientes materiales e instrumentos:

- Hojas de recolección de datos: Formatos estructurados para el registro manual de mediciones en cada tramo evaluado, incluyendo ubicación, número de medición, valor de lectura y observaciones en campo.
- Instrumentos de trazado y medición: Cinta métrica, nivel y tiza de obra, utilizados para la delimitación de las estaciones de medición y control de distancias conforme a la metodología establecida.
- Equipo de protección personal (EPP): Conjunto de elementos de seguridad tales como chaleco reflectante, casco, guantes y calzado de seguridad, empleados para el desarrollo de las actividades de campo en condiciones seguras.

3.3.2. Instrumentos

Para la ejecución de la presente investigación se utilizaron diversos instrumentos que permitieron recolectar, procesar y sistematizar los datos de forma precisa, en el contexto de la evaluación de la rugosidad superficial y el análisis vial. Los principales instrumentos empleados fueron los siguientes:

- Rugosímetro tipo Merlín: Instrumento manual diseñado por el Transport Research Laboratory (TRL) que permite estimar el IRI (Índice de Regularidad Internacional) mediante una base rígida con escala milimétrica y sistema de lectura mecánico, utilizado por su eficacia y portabilidad en trabajos de campo en zonas urbanas.
- Aplicativo Abakal IRI: Software diseñado para procesar los datos de campo obtenidos con el equipo Merlín. Su función principal fue convertir las mediciones en valores de IRI, clasificando la condición superficial del pavimento y facilitando el análisis de cada tramo vial.
- Computadora portátil: Utilizada para la digitación, consolidación y análisis de los datos obtenidos en campo, así como para la ejecución del aplicativo Abakal y la elaboración de cuadros comparativos y gráficos interpretativos.

3.4. Población y muestra de estudio

3.4.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por la totalidad de la superficie de rodadura de la Avenida Mariano Necochea, ubicada en el distrito de Ciudad Nueva, provincia y departamento de Tacna. Esta vía urbana de clasificación colectora comprende una

longitud total de 2,4 kilómetros lineales, desde el km 0+000 (intersección con Av. Jorge Basadre Grohmann) hasta el km 2+400 (intersección con TA-619), con un ancho promedio de calzada de 7,20 metros por carril. La avenida representa uno de los principales ejes de conexión vial en la zona urbana de Ciudad Nueva, con alta demanda de tránsito vehicular liviano y pesado, cumpliendo funciones de articulación entre diferentes sectores residenciales, comerciales e institucionales del distrito. La población abarca exclusivamente el pavimento flexible asfáltico de la vía, excluyendo bermas, veredas y elementos complementarios de la infraestructura vial.

3.4.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por seis tramos de evaluación de 400 metros lineales cada uno, distribuidos consecutivamente a lo largo de la Avenida Mariano Necochea, cubriendo el 100 % de su extensión longitudinal total. Se aplicó un muestreo no probabilístico censal por segmentos sistemáticos, delimitando los tramos de la siguiente manera: Tramo 1 (km 0+000 al km 0+400), Tramo 2 (km 0+400 al km 0+800), Tramo 3 (km 0+800 al km 1+200), Tramo 4 (km 1+200 al km 1+600), Tramo 5 (km 1+600 al km 2+000) y Tramo 6 (km 2+000 al km 2+400). El criterio de selección se fundamentó en el cumplimiento de la normativa técnica establecida en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC (2016), que especifica que los tramos de medición de rugosidad superficial mediante rugosímetro tipo Merlín deben tener una longitud entre 320 y 500 metros para garantizar representatividad estadística. La segmentación en tramos de 400 metros permitió ejecutar entre 200 y 250 lecturas individuales por cada segmento, cumpliendo con el estándar mínimo requerido para el cálculo confiable del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Al evaluar la totalidad de la vía mediante un censo sectorial, la muestra resulta exhaustiva y representativa de las condiciones de rugosidad superficial del pavimento, eliminando sesgos de selección y garantizando la validez externa de los resultados obtenidos.

- *Cálculo y justificación del tamaño de muestra*

Para la presente investigación se aplicó un muestreo no probabilístico censal, evaluando el 100 % de la población (2 400 metros lineales de la Av. Mariano Necochea) mediante 6 tramos consecutivos de 400 metros cada uno. Esta decisión metodológica se fundamenta en los siguientes criterios:

- *Ausencia de muestreo probabilístico aleatorio*

No se calculó un tamaño de muestra mediante fórmulas estadísticas convencionales (muestreo aleatorio simple, estratificado o sistemático) debido a

que la naturaleza de la investigación requería una evaluación exhaustiva de toda la extensión vial para identificar la variabilidad espacial del deterioro. En investigaciones de evaluación de pavimentos, realizar muestreos probabilísticos puede omitir tramos críticos con deterioro severo, sesgando las conclusiones y propuestas de intervención.

- *Justificación del censo sectorial*

Según el Manual de Ensayo de Materiales del MTC (2016) y las recomendaciones del Transportation Research Board (Sayers y Karamihas, 1998), para evaluaciones de rugosidad superficial mediante rugosímetro de Merlín, cada unidad de medición debe tener una longitud entre 320 y 500 metros para garantizar representatividad estadística de las lecturas individuales. Por consiguiente, se estableció una longitud estándar de 400 metros por tramo, dentro del rango normativo, lo que resultó en 6 segmentos que cubren la totalidad de la vía.

- Fórmula de segmentación aplicada

$$n = \frac{L \text{ total}}{L \text{ tramo}} \quad (1)$$

Donde:

- n = Número de tramos de evaluación
- L total = Longitud total de la población = 2 400 m
- L tramo = Longitud estándar por tramo = 400 m
- n = 6 tramos

Representatividad de la muestra:

Al evaluar el 100 % de la población mediante un censo sectorial, la muestra es exhaustiva y completamente representativa, con un nivel de confianza implícito del 100 % y error de muestreo de 0 %, eliminando sesgos de selección y garantizando la validez externa de los resultados. Este enfoque es consistente con estudios previos de rugosidad superficial realizados en Tacna (Carhuavilca, 2022; Choque y Pilco, 2023) y a nivel nacional (Tingal, 2021), que aplicaron metodologías similares de segmentación sistemática para evaluaciones funcionales de pavimentos urbanos.

3.5. Operacionalización de variables

3.5.1. Identificación y caracterización de las variables

En la presente investigación se identificaron dos variables clave: la variable independiente, correspondiente al análisis de la rugosidad superficial, y la variable

dependiente, referida a la propuesta de mantenimiento vial. Ambas variables fueron definidas y operacionalizadas con base en criterios técnicos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y por instrumentos de medición reconocidos, a fin de garantizar una adecuada recolección, análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo. A continuación, se presentan las tablas de operacionalización, donde se detallan las dimensiones e indicadores considerados para cada variable, permitiendo establecer una relación lógica entre los datos observables y los objetivos de la investigación, , así mismo las variables y su relación con los demás aspectos de la investigación se presentan en el anexo 1; matriz de consistencia.

La Tabla 1 muestra la operacionalización de la variable independiente denominada Análisis de la rugosidad superficial. Esta variable fue definida a través del valor del Índice de Regularidad Internacional (IRI), obtenido mediante el rugosímetro tipo Merlín y procesado con el aplicativo Abakal IRI, lo que permitió clasificar el estado funcional del pavimento según los rangos técnicos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC). Para su análisis, se consideraron cinco dimensiones principales: el nivel de regularidad longitudinal, el método de medición, la unidad de análisis, el registro de datos y el procesamiento de resultados. Cada dimensión estuvo asociada a indicadores específicos como el valor del IRI, tipo de instrumento utilizado, longitud del tramo evaluado, número de lecturas realizadas y el promedio del IRI procesado. Esta estructura metodológica permitió organizar y sistematizar adecuadamente los datos obtenidos en campo, asegurando la validez técnica de los resultados.

Tabla 1
Operacionalización de la variable independiente

Tipo de variable	Denominación de la variable	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Variable independiente	Análisis de la rugosidad superficial	Valor de IRI obtenido con rugosímetro Merlín y Abakal, que permitió clasificar el estado del pavimento según rangos técnicos del MTC.	Nivel de regularidad longitudinal	Valor de IRI
			Método de medición	Tipo de instrumento
			Unidad de análisis	Longitud del tramo
			Registro de datos	Número de lecturas
			Procesamiento de resultados	Promedio de IRI

Nota. La Tabla 1 muestra la operacionalización del análisis de rugosidad superficial, usando el IRI obtenido con el rugosímetro Merlín y Abakal, clasificando el estado del pavimento según rangos del MTC.

La Tabla 2 presenta la operacionalización de la variable dependiente denominada “Propuesta de mantenimiento vial”. Esta variable fue definida como el tipo

de mantenimiento determinado en función del valor promedio del Índice de Regularidad Internacional (IRI), de acuerdo con los rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Las dimensiones consideradas permitieron estructurar el análisis desde cinco enfoques técnicos: el tipo de intervención, el criterio normativo, el sustento técnico, la extensión del tramo intervenido y el nivel de prioridad. Los indicadores correspondientes a estas dimensiones comprenden el tipo de mantenimiento, la clasificación técnica normativa según el MTC, el valor técnico propuesto, la longitud del tramo intervenido y el grado de urgencia de atención. Esta estructura permitió establecer con precisión las acciones requeridas en cada sector evaluado, contribuyendo a una propuesta técnica sustentada para el mantenimiento vial de la vía en estudio.

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Tipo de variable	Denominación de la variable	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Variable dependiente	Propuesta de mantenimiento vial	Tipo de mantenimiento determinado en función del IRI promedio, conforme a la clasificación del MTC para establecer acciones técnicas en el tramo evaluado.	Tipo de intervención	Tipo de mantenimiento
			Criterio normativo	Clasificación MTC
			Sustento técnico	Valor técnico propuesto.
			Extensión del tramo intervenido	Longitud intervenida
			Nivel de prioridad	Grado de urgencia

Nota. La tabla 2 resume la variable dependiente “Propuesta de mantenimiento vial”, estructurada en dimensiones técnicas y normativas que permiten definir el tipo de intervención según el IRI promedio y los criterios del MTC.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Para garantizar la validez de los resultados obtenidos, se procedió con un tratamiento riguroso de los datos recopilados, a través de un conjunto de pasos sistemáticos que permitieron organizar, depurar, interpretar y transformar la información en evidencia útil para el estudio. El procesamiento de datos contempló desde la clasificación inicial hasta su codificación y análisis, considerando los criterios establecidos en la metodología. Posteriormente, mediante el análisis estadístico, se interpretaron los datos con el

propósito de verificar el cumplimiento de los objetivos planteados, facilitar la toma de decisiones y sustentar técnicamente la propuesta de mantenimiento vial. Todo este proceso se estructuró conforme a un flujograma que describe de forma secuencial cada una de las acciones desarrolladas para el tratamiento de la información recolectada.

Para iniciar el procesamiento y análisis de los datos, se consideró un enfoque metodológico estructurado representado en la Figura 8, el cual detalla cada una de las etapas que permitieron registrar, organizar y evaluar la información de rugosidad superficial. Este procedimiento permitió garantizar un flujo ordenado desde la delimitación del tramo hasta la formulación de una propuesta técnica de mantenimiento vial, integrando mediciones con el método Merlín y el aplicativo Abakal IRI para asegurar la validez y comparabilidad de los resultados.

Figura 8
Flujograma del procedimiento y análisis de datos



3.6.1. Delimitación del tramo vial de estudio

La delimitación del tramo vial constituyó el primer paso esencial para el procesamiento y análisis de los datos, ya que permitió establecer con precisión el área geográfica objeto de estudio. Para ello, se procedió a identificar y registrar el tramo específico correspondiente a la Avenida Mariano Necochea, localizada en el distrito de Ciudad Nueva, provincia de Tacna, considerando una longitud total aproximada de 2,4 kilómetros. La selección de esta vía se fundamentó en criterios técnicos asociados al deterioro superficial visible, el flujo vehicular continuo y su importancia funcional como vía de conexión urbana estratégica dentro del sistema vial distrital.

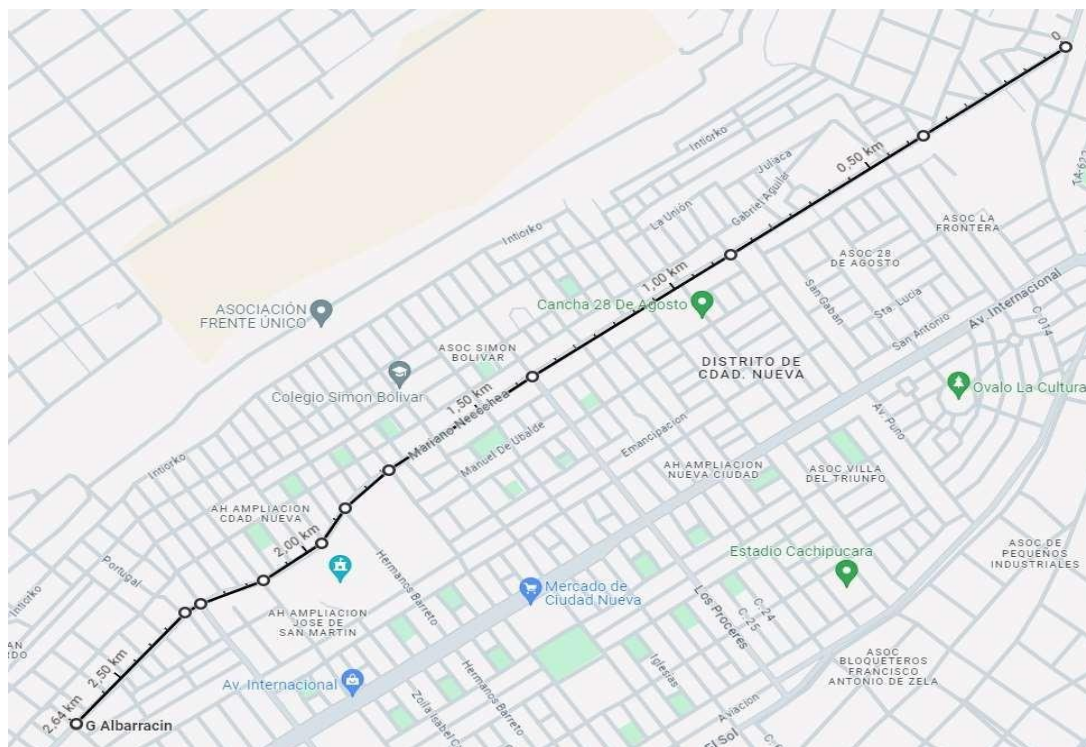
El procedimiento técnico de delimitación se realizó empleando instrumentos topográficos y herramientas de georreferenciación, lo que permitió definir tanto el punto de inicio como el punto final del tramo con coordenadas UTM. Este proceso garantizó la trazabilidad del análisis de rugosidad superficial mediante el uso combinado del rugosímetro Merlin y el aplicativo Abakal IRI, permitiendo que la evaluación se realizara bajo condiciones controladas, uniformes y reproducibles.

Asimismo, esta delimitación sirvió como base para la organización de las estaciones de evaluación superficial, asegurando una distribución equidistante de los puntos de medición en todo el recorrido. Esto fue clave para obtener una representación precisa y homogénea del estado funcional del pavimento.

En suma, la delimitación técnica y precisa del tramo vial permitió enmarcar el trabajo de campo dentro de una lógica sistemática, facilitando el levantamiento ordenado de información, fortaleciendo la confiabilidad de los resultados obtenidos y asegurando la trazabilidad de los datos recolectados para su posterior análisis.

La Figura 9 representa la delimitación georreferenciada del tramo vial seleccionado para el estudio, correspondiente a la Avenida Mariano Necochea, ubicada en el distrito de Ciudad Nueva, provincia de Tacna. Esta vía fue seleccionada por su importancia funcional dentro del sistema vial urbano, debido a su alto flujo vehicular, deterioro visible de la superficie y relevancia como eje de conexión entre zonas residenciales, comerciales y educativas. El tramo evaluado posee una longitud total de 2,4 kilómetros, establecida mediante instrumentos topográficos y sistemas de información geográfica (SIG), lo que permitió definir con precisión los puntos de inicio y fin del recorrido, asegurando una cobertura representativa de las condiciones del pavimento.

Figura 9
Delimitación del tramo vial de estudio



Nota. Se muestra la delimitación del tramo vial analizado en Ciudad Nueva, con una longitud total de 2,4 km.

3.6.2. Planificación del trabajo de campo

La planificación del trabajo de campo constituyó una etapa estratégica dentro del diseño metodológico de enfoque cuantitativo, cuyo objetivo fue garantizar la rigurosidad, fiabilidad y validez de los datos recolectados en el tramo vial de 2,4 km de la Avenida Mariano Necochea. Se elaboró un cronograma estructurado de actividades considerando variables como la accesibilidad, seguridad vial y condiciones meteorológicas, con la finalidad de reducir posibles sesgos durante las mediciones. Se definieron puntos de control equidistantes a lo largo del eje vial para realizar las lecturas del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) mediante el rugosímetro tipo Merlín, priorizando tramos representativos de cada condición superficial observada (desgaste, fisuras, baches, deformaciones). Asimismo, se establecieron protocolos técnicos de aplicación del instrumento, respaldados en la guía del TRL (Transport Research Laboratory), y se asignaron responsabilidades al equipo técnico bajo criterios de competencia y experiencia, fortaleciendo el control de calidad en la toma de datos. Esta planificación permitió estructurar de manera sistemática el proceso de campo,

maximizando la validez interna de la investigación y sentando las bases para un análisis técnico confiable sobre la necesidad de mantenimiento vial en la zona de estudio.

3.6.3. Medición de la rugosidad superficial con el método Merlín

Para evaluar la condición superficial del pavimento, se utilizó el método del rugosímetro tipo Mérlin, instrumento diseñado por el TRL (Transport Research Laboratory) del Reino Unido. Este equipo permite determinar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés) mediante una correlación empírica basada en medidas repetidas del perfil longitudinal del pavimento, considerando la altura promedio del péndulo en una superficie determinada.

Durante el trabajo de campo, se seleccionaron secciones representativas del tramo vial, sobre las cuales se marcaron cada 400 metros. En cada estación se colocó el rugosímetro Merlín alineado longitudinalmente al eje del carril, y se realizaron mediciones conforme al procedimiento establecido en el manual del TRL (TRL Report 180, 1990). Para cada sección se realizaron un mínimo de tres mediciones independientes, a fin de garantizar la repetibilidad y confiabilidad de los resultados.

Los valores obtenidos fueron convertidos a IRI (m/km) utilizando la fórmula de calibración propuesta por el TRL, lo que permitió clasificar el nivel de rugosidad según los umbrales definidos por el World Bank (1990), los cuales son ampliamente aceptados a nivel internacional para programas de mantenimiento vial.

3.6.3.1. Recolección de datos del IRI – carril izquierdo

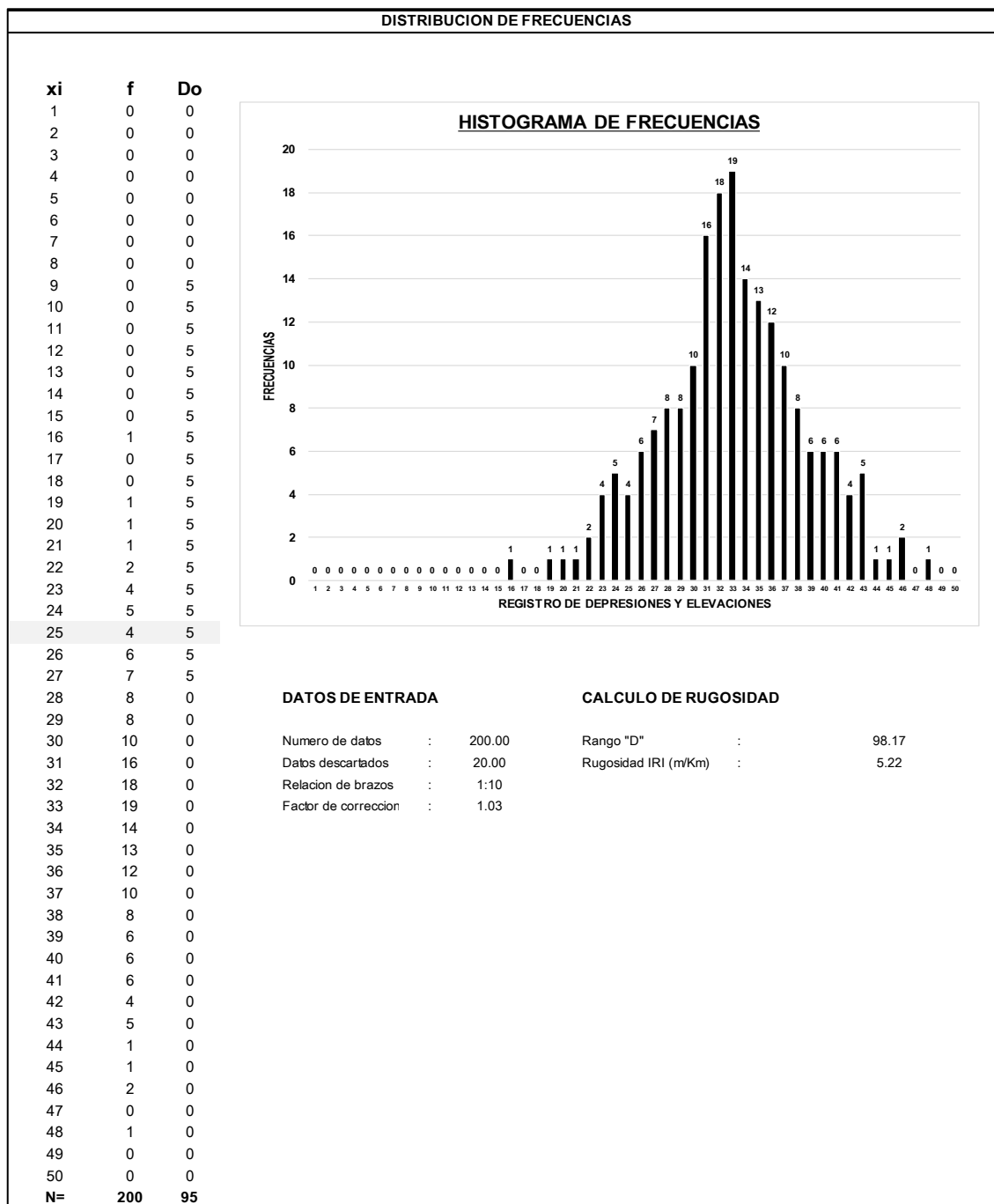
La Figura 10 muestra la hoja de campo del tramo 0+000 al 0+400 del carril izquierdo de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 10
Tramo 0+000 a 0+400 - Izquierdo

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"																																																																																																																																																																																																																																								
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN																																																																																																																																																																																																																																								
PROYECTO ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025 UBICACION DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO: TACNA CARRIL IZQUIERDO	TESISTAS : JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI FECHA : 10-10-2025 TRAMO : 0+000 AL 0+400																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>28</td><td>32</td><td>29</td><td>37</td><td>43</td><td>33</td><td>28</td><td>31</td><td>36</td><td>37</td></tr> <tr><td>2</td><td>37</td><td>38</td><td>34</td><td>46</td><td>33</td><td>30</td><td>33</td><td>30</td><td>32</td><td>26</td></tr> <tr><td>3</td><td>35</td><td>36</td><td>30</td><td>33</td><td>34</td><td>34</td><td>41</td><td>29</td><td>24</td><td>38</td></tr> <tr><td>4</td><td>41</td><td>38</td><td>34</td><td>41</td><td>32</td><td>31</td><td>34</td><td>33</td><td>31</td><td>40</td></tr> <tr><td>5</td><td>29</td><td>35</td><td>36</td><td>31</td><td>33</td><td>36</td><td>46</td><td>32</td><td>35</td><td>24</td></tr> <tr><td>6</td><td>26</td><td>32</td><td>32</td><td>19</td><td>32</td><td>31</td><td>32</td><td>35</td><td>27</td><td>38</td></tr> <tr><td>7</td><td>43</td><td>31</td><td>29</td><td>30</td><td>20</td><td>26</td><td>32</td><td>37</td><td>30</td><td>32</td></tr> <tr><td>8</td><td>35</td><td>34</td><td>22</td><td>27</td><td>31</td><td>30</td><td>41</td><td>28</td><td>43</td><td>34</td></tr> <tr><td>9</td><td>27</td><td>29</td><td>37</td><td>31</td><td>35</td><td>39</td><td>37</td><td>33</td><td>23</td><td>35</td></tr> <tr><td>10</td><td>36</td><td>33</td><td>37</td><td>33</td><td>31</td><td>39</td><td>24</td><td>37</td><td>38</td><td>25</td></tr> <tr><td>11</td><td>23</td><td>28</td><td>34</td><td>36</td><td>48</td><td>34</td><td>27</td><td>30</td><td>32</td><td>32</td></tr> <tr><td>12</td><td>23</td><td>36</td><td>38</td><td>33</td><td>40</td><td>39</td><td>45</td><td>33</td><td>42</td><td>28</td></tr> <tr><td>13</td><td>26</td><td>35</td><td>31</td><td>21</td><td>40</td><td>30</td><td>37</td><td>27</td><td>38</td><td>33</td></tr> <tr><td>14</td><td>32</td><td>24</td><td>33</td><td>30</td><td>30</td><td>22</td><td>44</td><td>33</td><td>34</td><td>23</td></tr> <tr><td>15</td><td>41</td><td>28</td><td>39</td><td>42</td><td>36</td><td>37</td><td>35</td><td>40</td><td>31</td><td>43</td></tr> <tr><td>16</td><td>42</td><td>29</td><td>36</td><td>31</td><td>34</td><td>32</td><td>35</td><td>35</td><td>32</td><td>31</td></tr> <tr><td>17</td><td>31</td><td>28</td><td>33</td><td>36</td><td>41</td><td>34</td><td>32</td><td>35</td><td>34</td><td>33</td></tr> <tr><td>18</td><td>25</td><td>27</td><td>31</td><td>39</td><td>29</td><td>32</td><td>24</td><td>33</td><td>34</td><td>27</td></tr> <tr><td>19</td><td>31</td><td>35</td><td>25</td><td>38</td><td>28</td><td>29</td><td>25</td><td>33</td><td>36</td><td>36</td></tr> <tr><td>20</td><td>26</td><td>33</td><td>40</td><td>40</td><td>32</td><td>42</td><td>26</td><td>43</td><td>39</td><td>16</td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	28	32	29	37	43	33	28	31	36	37	2	37	38	34	46	33	30	33	30	32	26	3	35	36	30	33	34	34	41	29	24	38	4	41	38	34	41	32	31	34	33	31	40	5	29	35	36	31	33	36	46	32	35	24	6	26	32	32	19	32	31	32	35	27	38	7	43	31	29	30	20	26	32	37	30	32	8	35	34	22	27	31	30	41	28	43	34	9	27	29	37	31	35	39	37	33	23	35	10	36	33	37	33	31	39	24	37	38	25	11	23	28	34	36	48	34	27	30	32	32	12	23	36	38	33	40	39	45	33	42	28	13	26	35	31	21	40	30	37	27	38	33	14	32	24	33	30	30	22	44	33	34	23	15	41	28	39	42	36	37	35	40	31	43	16	42	29	36	31	34	32	35	35	32	31	17	31	28	33	36	41	34	32	35	34	33	18	25	27	31	39	29	32	24	33	34	27	19	31	35	25	38	28	29	25	33	36	36	20	26	33	40	40	32	42	26	43	39	16	TIPO DE PAVIMENTO ☐ AFIRMADO ☐ BASE GRANULAR ☐ BASE IMPRIMADA ☐ TRATAMIENTO BICAPA ☐ CARPETA EN FRIO ☒ CARPETA EN CALIENTE ☐ RECAPEO ASFALTICO ☐ SELLO ☐ OTROS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1	28	32	29	37	43	33	28	31	36	37																																																																																																																																																																																																																														
2	37	38	34	46	33	30	33	30	32	26																																																																																																																																																																																																																														
3	35	36	30	33	34	34	41	29	24	38																																																																																																																																																																																																																														
4	41	38	34	41	32	31	34	33	31	40																																																																																																																																																																																																																														
5	29	35	36	31	33	36	46	32	35	24																																																																																																																																																																																																																														
6	26	32	32	19	32	31	32	35	27	38																																																																																																																																																																																																																														
7	43	31	29	30	20	26	32	37	30	32																																																																																																																																																																																																																														
8	35	34	22	27	31	30	41	28	43	34																																																																																																																																																																																																																														
9	27	29	37	31	35	39	37	33	23	35																																																																																																																																																																																																																														
10	36	33	37	33	31	39	24	37	38	25																																																																																																																																																																																																																														
11	23	28	34	36	48	34	27	30	32	32																																																																																																																																																																																																																														
12	23	36	38	33	40	39	45	33	42	28																																																																																																																																																																																																																														
13	26	35	31	21	40	30	37	27	38	33																																																																																																																																																																																																																														
14	32	24	33	30	30	22	44	33	34	23																																																																																																																																																																																																																														
15	41	28	39	42	36	37	35	40	31	43																																																																																																																																																																																																																														
16	42	29	36	31	34	32	35	35	32	31																																																																																																																																																																																																																														
17	31	28	33	36	41	34	32	35	34	33																																																																																																																																																																																																																														
18	25	27	31	39	29	32	24	33	34	27																																																																																																																																																																																																																														
19	31	35	25	38	28	29	25	33	36	36																																																																																																																																																																																																																														
20	26	33	40	40	32	42	26	43	39	16																																																																																																																																																																																																																														

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo izquierdo del eje vial 0+000 al 0+400.

La Figura 11 muestra el tramo 0+000 a 0+400 (lado izquierdo) presentó una concentración de rugosidades entre 14 y 19 mm, con una frecuencia máxima de 19 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,22 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 11*Distribución de frecuencias – Tramo 0+000 a 0+400 - Izquierdo*

Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 27 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,22 m/km.

La Figura 12 muestra la hoja de campo del tramo 0+400 al 0+800 del carril izquierdo de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del

IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 12

Tramo 0+400 a 0+800 - Izquierdo

 TESIS		"ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS			
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN			
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025		TESISTAS
UBICACIÓN	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA		: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS
CARRIL	IZQUIERDO		: VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
			FECHA : 10-10-2025
			TRAMO : 0+400 AL 0+800

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	25	37	30	34	31	42	39	31	35	33	TIPO DE PAVIMENTO ☐ AFIRMADO ☐ BASE GRANULAR ☐ BASE IMPRIMADA ☐ TRATAMIENTO BICAPA ☐ CARPETA EN FRIO ☒ CARPETA EN CALIENTE ☐ RECAPEO ASFALTICO ☐ SELLO ☐ OTROS
2	34	35	33	32	32	33	34	26	35	32	
3	31	36	37	35	37	29	35	43	30	38	
4	34	39	32	37	39	40	37	38	43	31	
5	36	41	36	35	33	39	34	27	32	32	
6	30	35	51	41	35	39	37	33	41	35	
7	38	33	36	35	31	36	24	34	45	35	
8	40	45	22	46	34	48	36	34	39	46	
9	43	35	36	39	27	33	34	34	43	31	
10	26	36	37	25	36	42	34	39	40	31	
11	40	29	42	30	40	39	49	37	35	41	
12	29	36	31	29	26	50	24	29	33	34	
13	31	29	33	36	32	38	32	47	27	29	
14	37	45	28	34	47	41	39	29	28	32	
15	44	33	30	30	36	41	42	36	31	32	
16	28	42	46	33	30	40	23	37	40	30	
17	35	41	38	36	37	42	27	42	35	28	
18	44	45	37	21	38	39	36	28	30	37	
19	37	37	38	46	30	25	38	48	30	44	
20	31	36	47	32	40	48	31	51	35	15	

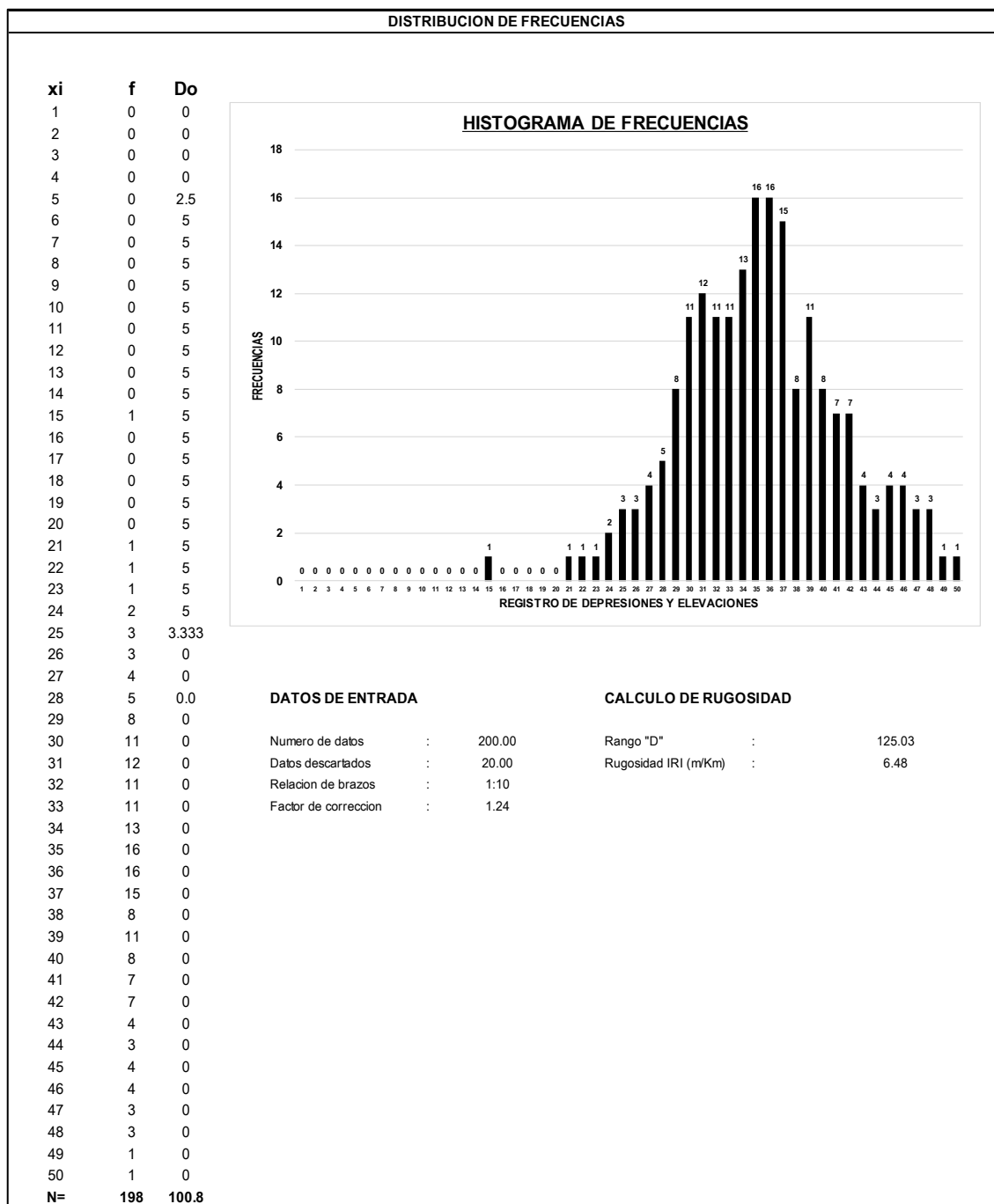
Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo izquierdo del eje vial 0+400 al 0+800.

La Figura 13 muestra el tramo 0+400 a 0+800 (lado izquierdo) presentó una concentración de rugosidades entre 16 y 50 mm, con una frecuencia máxima de 16

ocurrencias. El IRI obtenido fue de 6,48 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 13

Distribución de frecuencias – Tramo 0+400 a 0+800 - Izquierda



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 30 y 39, evidenciando una rugosidad IRI de 6,48 m/km.

La Figura 14 muestra la hoja de campo del tramo 0+800 al 1+200 del carril izquierdo de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron

200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 14

Tramo 0+800 a 1+200 - Izquierdo

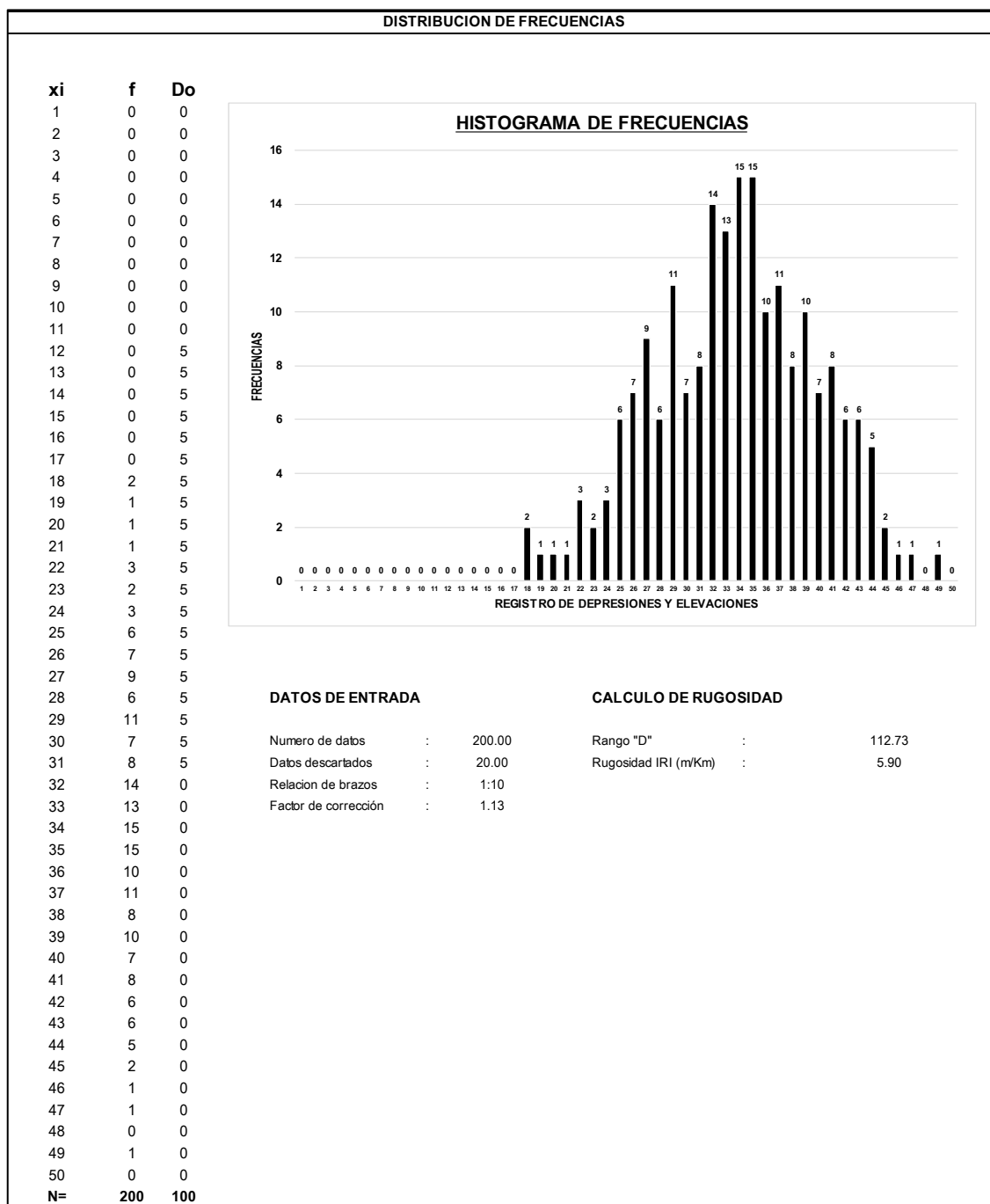
 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"																																																																																																																																																																																																																																								
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS																																																																																																																																																																																																																																								
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN																																																																																																																																																																																																																																								
PROYECTO ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025 UBICACION DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA CARRIL IZQUIERDO	TESISTAS : JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI FECHA : 10-10-2025 TRAMO : 0+800 AL 1+200																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>29</td><td>33</td><td>47</td><td>43</td><td>39</td><td>40</td><td>35</td><td>29</td><td>39</td><td>34</td></tr> <tr><td>2</td><td>29</td><td>33</td><td>35</td><td>35</td><td>37</td><td>30</td><td>36</td><td>38</td><td>43</td><td>43</td></tr> <tr><td>3</td><td>35</td><td>43</td><td>37</td><td>31</td><td>25</td><td>28</td><td>27</td><td>41</td><td>42</td><td>34</td></tr> <tr><td>4</td><td>36</td><td>36</td><td>41</td><td>35</td><td>34</td><td>42</td><td>45</td><td>42</td><td>26</td><td>34</td></tr> <tr><td>5</td><td>35</td><td>33</td><td>39</td><td>29</td><td>36</td><td>39</td><td>33</td><td>28</td><td>24</td><td>32</td></tr> <tr><td>6</td><td>40</td><td>35</td><td>26</td><td>31</td><td>39</td><td>37</td><td>49</td><td>31</td><td>32</td><td>35</td></tr> <tr><td>7</td><td>32</td><td>34</td><td>37</td><td>32</td><td>33</td><td>30</td><td>34</td><td>34</td><td>40</td><td>33</td></tr> <tr><td>8</td><td>29</td><td>31</td><td>44</td><td>42</td><td>38</td><td>42</td><td>32</td><td>27</td><td>44</td><td>28</td></tr> <tr><td>9</td><td>38</td><td>26</td><td>44</td><td>22</td><td>25</td><td>41</td><td>32</td><td>26</td><td>25</td><td>35</td></tr> <tr><td>10</td><td>40</td><td>38</td><td>30</td><td>32</td><td>25</td><td>43</td><td>41</td><td>31</td><td>27</td><td>32</td></tr> <tr><td>11</td><td>33</td><td>44</td><td>37</td><td>39</td><td>33</td><td>37</td><td>21</td><td>32</td><td>26</td><td>24</td></tr> <tr><td>12</td><td>41</td><td>40</td><td>26</td><td>45</td><td>34</td><td>26</td><td>29</td><td>37</td><td>27</td><td>41</td></tr> <tr><td>13</td><td>35</td><td>35</td><td>31</td><td>20</td><td>39</td><td>33</td><td>22</td><td>29</td><td>33</td><td>37</td></tr> <tr><td>14</td><td>29</td><td>46</td><td>36</td><td>37</td><td>35</td><td>25</td><td>30</td><td>22</td><td>25</td><td>19</td></tr> <tr><td>15</td><td>36</td><td>36</td><td>34</td><td>41</td><td>29</td><td>32</td><td>33</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td></tr> <tr><td>16</td><td>39</td><td>29</td><td>28</td><td>23</td><td>27</td><td>36</td><td>31</td><td>39</td><td>39</td><td>24</td></tr> <tr><td>17</td><td>35</td><td>38</td><td>33</td><td>34</td><td>27</td><td>23</td><td>18</td><td>29</td><td>40</td><td>27</td></tr> <tr><td>18</td><td>33</td><td>31</td><td>38</td><td>34</td><td>42</td><td>35</td><td>34</td><td>30</td><td>37</td><td>27</td></tr> <tr><td>19</td><td>36</td><td>43</td><td>28</td><td>27</td><td>32</td><td>37</td><td>40</td><td>34</td><td>32</td><td>41</td></tr> <tr><td>20</td><td>44</td><td>30</td><td>32</td><td>38</td><td>30</td><td>28</td><td>34</td><td>38</td><td>35</td><td>18</td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	29	33	47	43	39	40	35	29	39	34	2	29	33	35	35	37	30	36	38	43	43	3	35	43	37	31	25	28	27	41	42	34	4	36	36	41	35	34	42	45	42	26	34	5	35	33	39	29	36	39	33	28	24	32	6	40	35	26	31	39	37	49	31	32	35	7	32	34	37	32	33	30	34	34	40	33	8	29	31	44	42	38	42	32	27	44	28	9	38	26	44	22	25	41	32	26	25	35	10	40	38	30	32	25	43	41	31	27	32	11	33	44	37	39	33	37	21	32	26	24	12	41	40	26	45	34	26	29	37	27	41	13	35	35	31	20	39	33	22	29	33	37	14	29	46	36	37	35	25	30	22	25	19	15	36	36	34	41	29	32	33	32	34	36	16	39	29	28	23	27	36	31	39	39	24	17	35	38	33	34	27	23	18	29	40	27	18	33	31	38	34	42	35	34	30	37	27	19	36	43	28	27	32	37	40	34	32	41	20	44	30	32	38	30	28	34	38	35	18	TIPO DE PAVIMENTO ☐ AFIRMADO ☐ BASE GRANULAR ☐ BASE IMPRIMADA ☐ TRATAMIENTO BICAPA ☐ CARPETA EN FRIO ☒ CARPETA EN CALIENTE ☐ RECAPEO ASFALTICO ☐ SELLO ☐ OTROS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1	29	33	47	43	39	40	35	29	39	34																																																																																																																																																																																																																														
2	29	33	35	35	37	30	36	38	43	43																																																																																																																																																																																																																														
3	35	43	37	31	25	28	27	41	42	34																																																																																																																																																																																																																														
4	36	36	41	35	34	42	45	42	26	34																																																																																																																																																																																																																														
5	35	33	39	29	36	39	33	28	24	32																																																																																																																																																																																																																														
6	40	35	26	31	39	37	49	31	32	35																																																																																																																																																																																																																														
7	32	34	37	32	33	30	34	34	40	33																																																																																																																																																																																																																														
8	29	31	44	42	38	42	32	27	44	28																																																																																																																																																																																																																														
9	38	26	44	22	25	41	32	26	25	35																																																																																																																																																																																																																														
10	40	38	30	32	25	43	41	31	27	32																																																																																																																																																																																																																														
11	33	44	37	39	33	37	21	32	26	24																																																																																																																																																																																																																														
12	41	40	26	45	34	26	29	37	27	41																																																																																																																																																																																																																														
13	35	35	31	20	39	33	22	29	33	37																																																																																																																																																																																																																														
14	29	46	36	37	35	25	30	22	25	19																																																																																																																																																																																																																														
15	36	36	34	41	29	32	33	32	34	36																																																																																																																																																																																																																														
16	39	29	28	23	27	36	31	39	39	24																																																																																																																																																																																																																														
17	35	38	33	34	27	23	18	29	40	27																																																																																																																																																																																																																														
18	33	31	38	34	42	35	34	30	37	27																																																																																																																																																																																																																														
19	36	43	28	27	32	37	40	34	32	41																																																																																																																																																																																																																														
20	44	30	32	38	30	28	34	38	35	18																																																																																																																																																																																																																														

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo izquierdo del eje vial 0+800 al 1+200.

La Figura 15 muestra el tramo 0+800 a 1+200 (lado izquierdo) presentó una concentración de rugosidades entre 18 y 50 mm, con una frecuencia máxima de 16 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 6,48 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 15

Distribución de frecuencias – Tramo 0+800 a 1+200 - Izquierda



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 29 y 39, evidenciando una rugosidad IRI de 5,90 m/km.

La Figura 16 muestra la hoja de campo del tramo 1+200 al 1+600 del carril izquierdo de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 16
Tramo 1+200 a 1+600 - Izquierdo

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
CARRIL	IZQUIERDO
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
FECHA	: 10-10-2025
TRAMO	: 1+200 AL 1+600

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

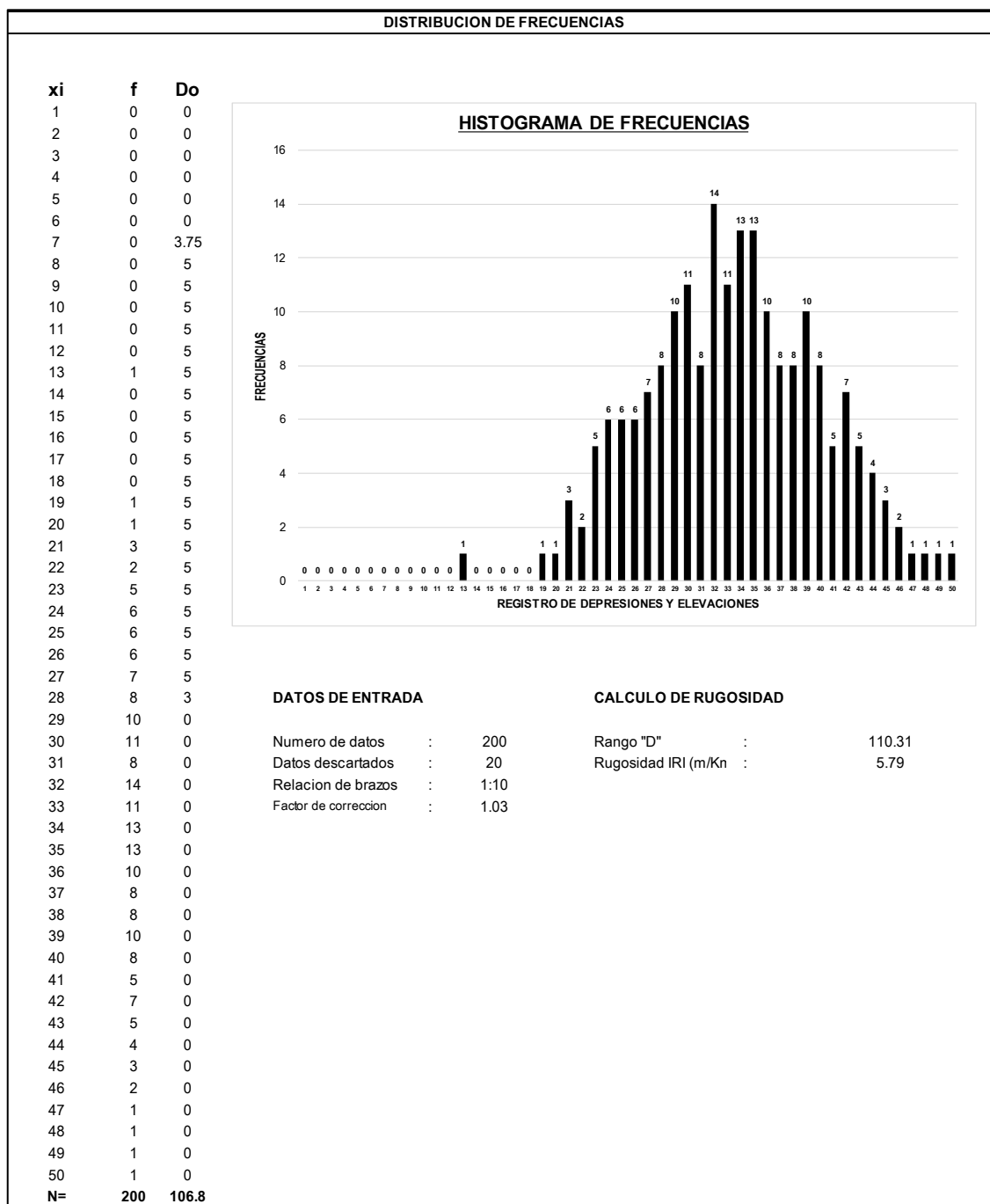
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo izquierdo del eje vial 1+200 al 1+600.

La Figura 17 muestra el tramo 1+200 a 1+600 (lado izquierdo) presentó una concentración de rugosidades entre 13 y 50 mm, con una frecuencia máxima de 14 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,79 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 17

Distribución de frecuencias – Tramo 1+200 a 1+600 - Izquierda



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 29 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,79 m/km.

La Figura 18 muestra la hoja de campo del tramo 1+600 al 2+000 del carril izquierdo de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI.

Figura 18
Tramo 1+600 a 2+000 - Izquierdo

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
FECHA	: 10-10-2025
CARRIL	IZQUIERDO
TRAMO	: 1+600 AL 2+000

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

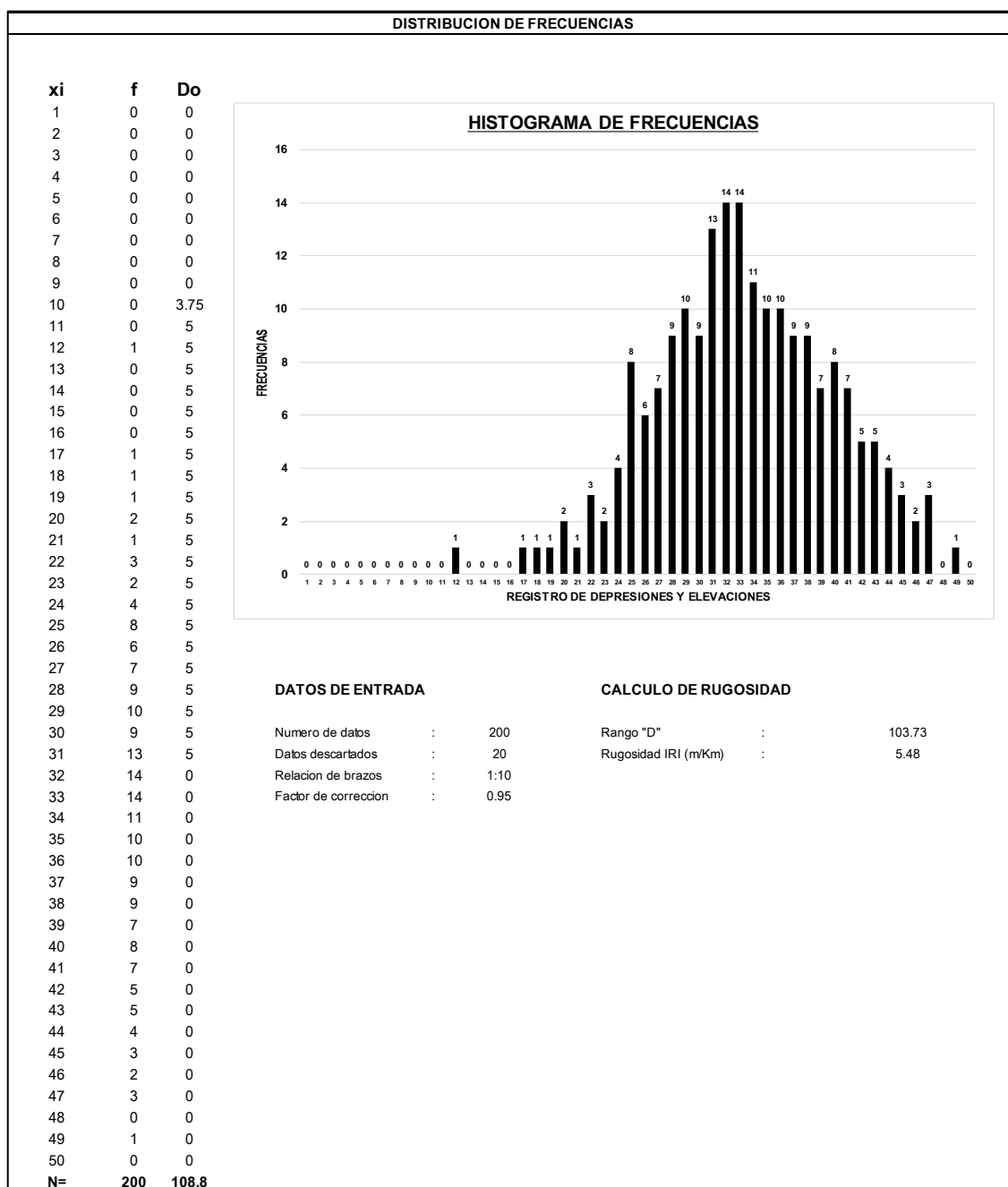
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura 33 muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo izquierdo del eje vial 1+600 al 2+000.

La Figura 19 muestra el tramo 1+600 a 2+000 (lado izquierdo) presentó una concentración de rugosidades entre 12 y 49 mm, con una frecuencia máxima de 14 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,48 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 19

Distribución de frecuencias – Tramo 1+600 a 2+000 - Izquierda



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 27 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,48 m/km.

La Figura 20 muestra la hoja de campo del tramo 2+000 al 2+400 del carril izquierdo de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 20
Tramo 2+000 a 2+400 - Izquierdo

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA - 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA - 2025
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
CARRIL	IZQUIERDO
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
FECHA	: 10-10-2025
TRAMO	: 2+000 AL 2+400

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

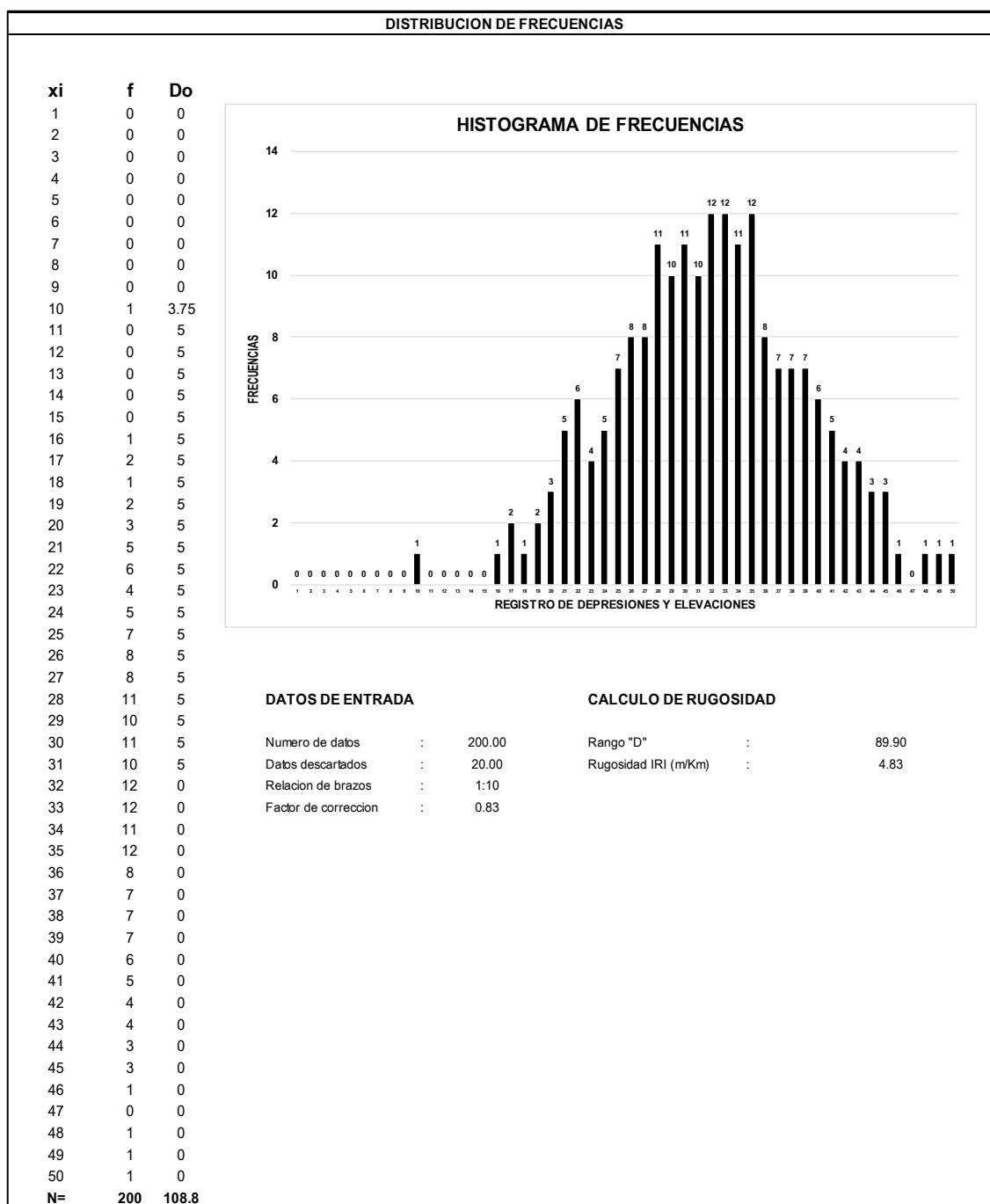
TIPO DE PAVIMENTO	
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo izquierdo del eje vial 2+000 al 2+400.

La Figura 21 muestra el tramo 2+000 a 2+400 (lado izquierdo) presentó una concentración de rugosidades entre 10 y 50 mm, con una frecuencia máxima de 12 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 4,83 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 21

Distribución de frecuencias – Tramo 2+000 a 2+400 - Izquierda



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 28 y 35, evidenciando una rugosidad IRI de 5,48 m/km.

3.6.3.2. Recolección de datos del IRI – carril derecho

La Figura 22 muestra la hoja de campo del tramo 0+000 al 0+400 del carril derecho de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 22

Tramo 0+000 a 0+400 - Derecho

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025	TESISTAS : JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
UBICACION DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO: TACNA	FECHA : 09-10-2025
CARRIL DERECHO	TRAMO : 0+000 AL 0+400

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

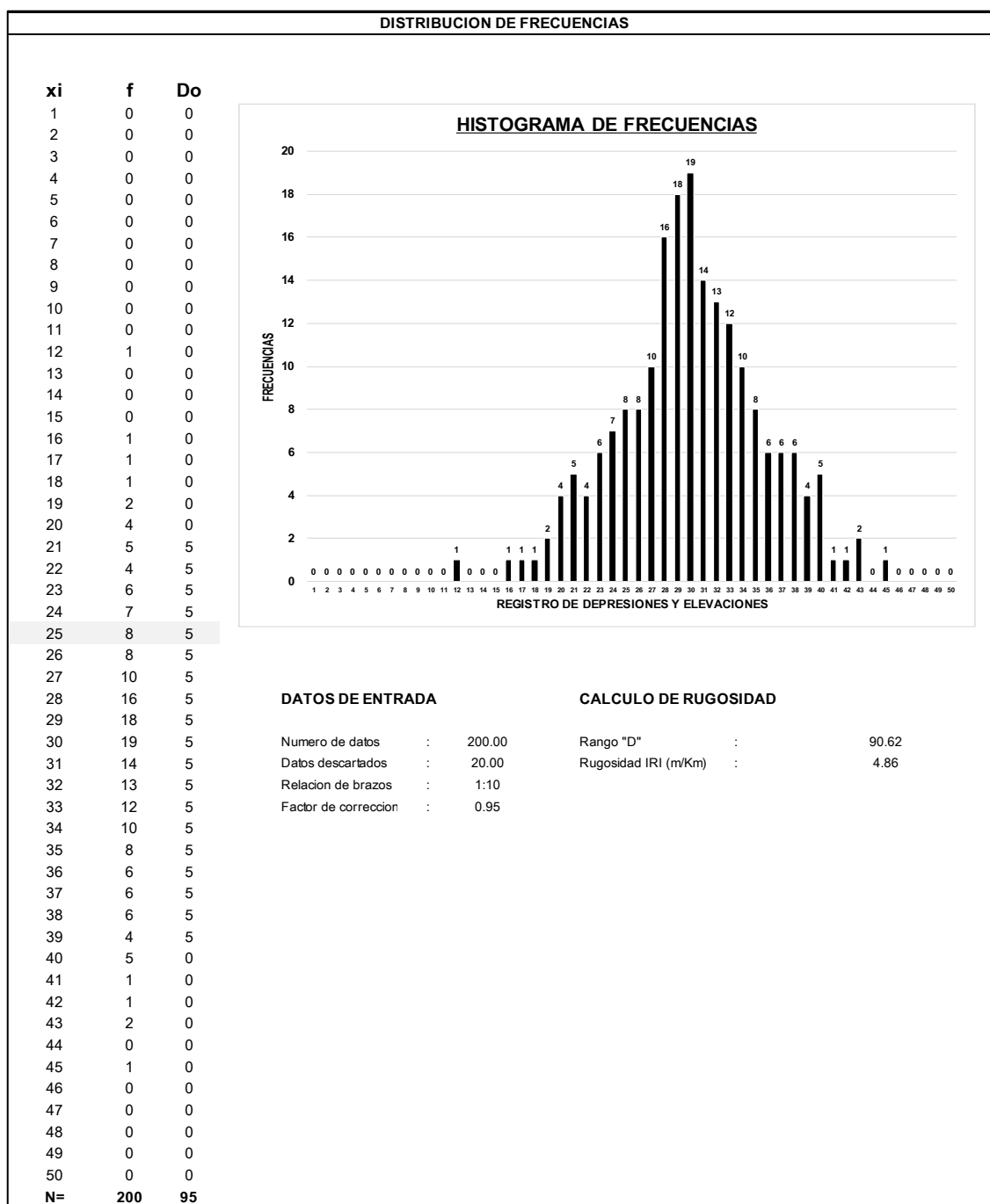
TIPO DE PAVIMENTO	
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo derecho del eje vial 0+000 al 0+400.

La Figura 23 muestra el tramo 0+000 a 0+400 (lado derecho) presentó una concentración de rugosidades entre 10 y 45 mm, con una frecuencia máxima de 19 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 4,86 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 23

Distribución de frecuencias – Tramo 0+000 a 0+400 - Derecho



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 27 y 34, evidenciando una rugosidad IRI de 4,86 m/km.

La Figura 24 muestra la hoja de campo del tramo 0+400 al 0+800 del carril derecho de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 24
Tramo 0+400 a 0+800 - Derecho

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA - 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA - 2025
UBICACIÓN	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
CARRIL	DERECHO
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
FECHA	: 09-10-2025
TRAMO	: 0+400 AL 0+800

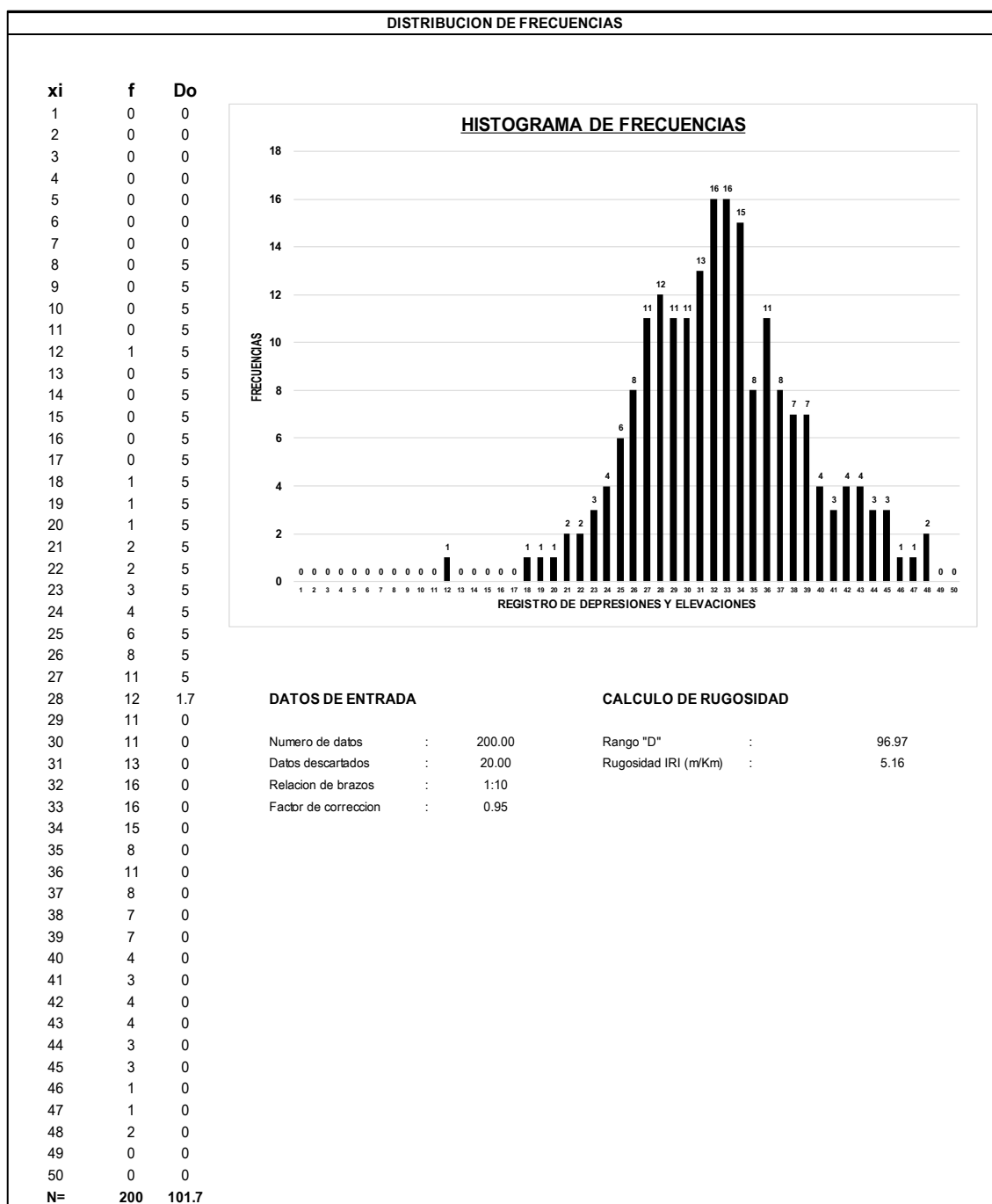
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	25	34	27	31	28	39	36	28	32	30	TIPO DE PAVIMENTO ☐ AFIRMADO ☐ BASE GRANULAR ☐ BASE IMPRIMADA ☐ TRATAMIENTO BICAPA ☐ CARPETA EN FRIO ☒ CARPETA EN CALIENTE ☐ RECAPEO ASFALTICO ☐ SELLO ☐ OTROS
2	31	32	30	29	29	30	31	23	32	29	
3	28	33	34	32	34	26	32	40	27	35	
4	31	36	29	34	36	37	34	35	40	28	
5	33	38	33	32	30	36	31	24	29	29	
6	27	32	48	38	32	36	34	30	38	32	
7	35	30	33	32	28	33	21	31	42	32	
8	37	42	19	43	31	45	33	31	36	43	
9	40	32	33	36	24	30	31	31	40	28	
10	23	33	34	22	33	39	31	36	37	28	
11	37	26	39	27	37	36	46	34	32	38	
12	26	33	28	26	23	47	21	26	30	31	
13	28	26	30	33	29	35	29	44	24	26	
14	34	42	25	31	44	38	36	26	25	29	
15	41	30	27	27	33	38	39	33	28	29	
16	25	39	43	30	27	37	20	34	37	27	
17	32	38	35	33	34	39	24	39	32	25	
18	41	42	34	18	35	36	33	25	27	34	
19	34	34	35	43	27	22	35	45	27	41	
20	28	33	44	29	37	45	28	48	32	12	

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo derecho del eje vial 0+400 al 0+800.

La Figura 25 muestra el tramo 0+400 a 0+800 (lado derecho) presentó una concentración de rugosidades entre 10 y 48 mm, con una frecuencia máxima de 19 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,16 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 25

Distribución de frecuencias – Tramo 0+400 a 0+800 – Derecho



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 27 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,16 m/km.

La Figura 26 muestra la hoja de campo del tramo 0+800 al 1+200 del carril derecho de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 26
Tramo 0+800 a 1+200 – Derecho

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
CARRIL	DERECHO
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
FECHA	: 09-10-2025
TRAMO	: 0+800 AL 1+200

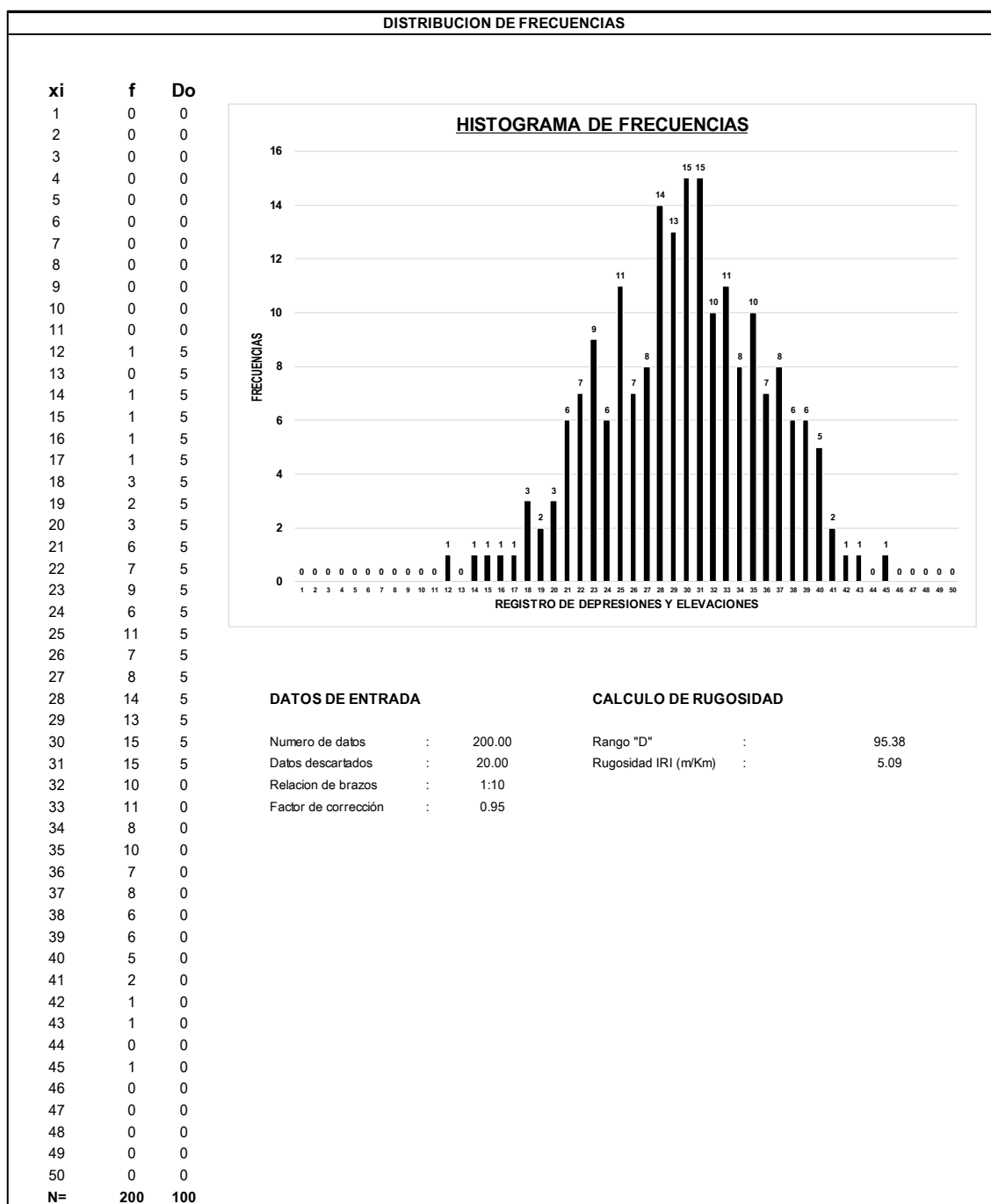
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	25	29	43	39	35	36	31	25	35	30	TIPO DE PAVIMENTO ☐ AFIRMADO ☐ BASE GRANULAR ☐ BASE IMPRIMADA ☐ TRATAMIENTO BICAPA ☐ CARPETA EN FRIO ☒ CARPETA EN CALIENTE ☐ RECAPEO ASFALTICO ☐ SELLO ☐ OTROS
2	25	29	31	31	33	26	32	34	39	39	
3	31	39	33	27	21	24	23	37	38	30	
4	32	32	37	31	30	38	41	38	22	30	
5	31	29	35	25	32	35	29	24	20	28	
6	36	31	22	27	35	33	45	27	28	31	
7	28	30	33	28	29	26	30	30	36	29	
8	25	27	40	38	34	38	28	23	40	24	
9	34	22	40	18	21	37	28	22	21	31	
10	36	34	26	28	21	39	37	27	23	28	
11	29	40	33	35	29	33	17	28	22	20	
12	37	36	22	41	30	22	25	33	23	37	
13	31	31	27	16	35	29	18	25	29	33	
14	25	42	32	33	31	21	26	18	21	15	
15	32	32	30	37	25	28	29	28	30	32	
16	35	25	24	19	23	32	27	35	35	20	
17	31	34	29	30	23	19	14	25	36	23	
18	29	27	34	30	38	31	30	26	33	23	
19	32	39	24	23	28	33	36	30	28	37	
20	40	26	28	34	26	24	30	34	31	12	

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo derecho del eje vial 0+800 al 1+200.

La Figura 27 muestra el tramo 0+800 a 1+200 (lado derecho) presentó una concentración de rugosidades entre 12 y 43 mm, con una frecuencia máxima de 15 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,09 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 27

Distribución de frecuencias - Tramo 0+800 a 1+200 - Derecho



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 26 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,09 m/km.

La Figura 28 muestra la hoja de campo del tramo 1+200 al 1+600 del carril derecho de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 28
Tramo 1+200 a 1+600 - Derecho

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
CARRIL	DERECHO
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
FECHA	: 09-10-2025
TRAMO	: 1+200 AL 1+600

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

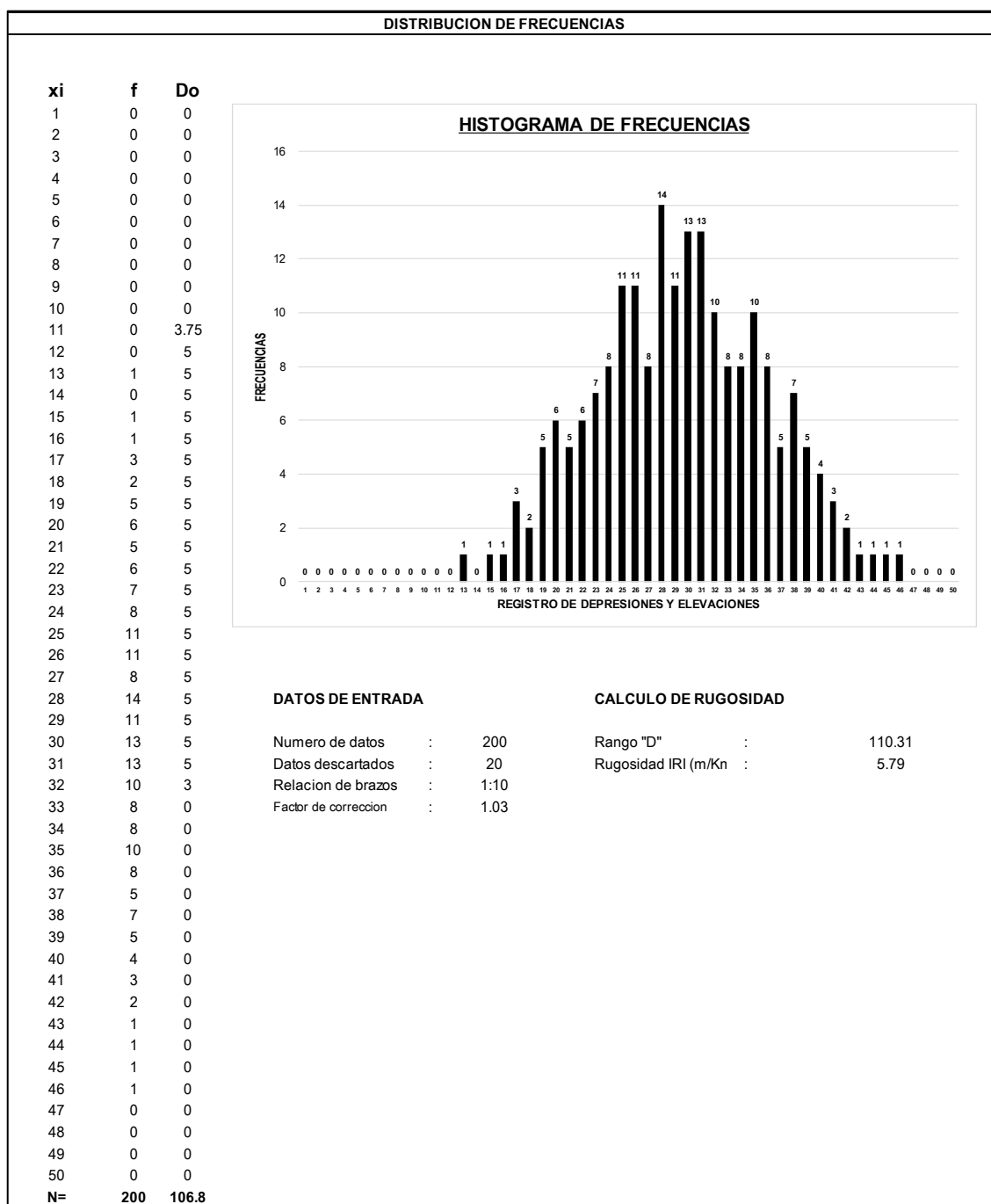
TIPO DE PAVIMENTO	
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo derecho del eje vial 1+200 al 1+600.

La Figura 29 muestra el tramo 1+200 a 1+600 (lado derecho) presentó una concentración de rugosidades entre 11 y 46 mm, con una frecuencia máxima de 15 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,79 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 29

Distribución de frecuencias – Tramo 1+200 a 1+600 - Derecho



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 26 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,79 m/km.

La Figura 30 muestra la hoja de campo del tramo 1+600 al 2+000 del carril derecho de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI. Este registro garantiza trazabilidad y respaldo técnico para proponer el mantenimiento vial adecuado en el tramo evaluado.

Figura 30
Tramo 1+600 a 2+000 - Derecho

 TESIS "ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS	
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN	
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA – 2025
TESISTAS	: JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA
FECHA	: 09-10-2025
CARRIL	DERECHO
TRAMO	: 1+600 AL 2+000

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

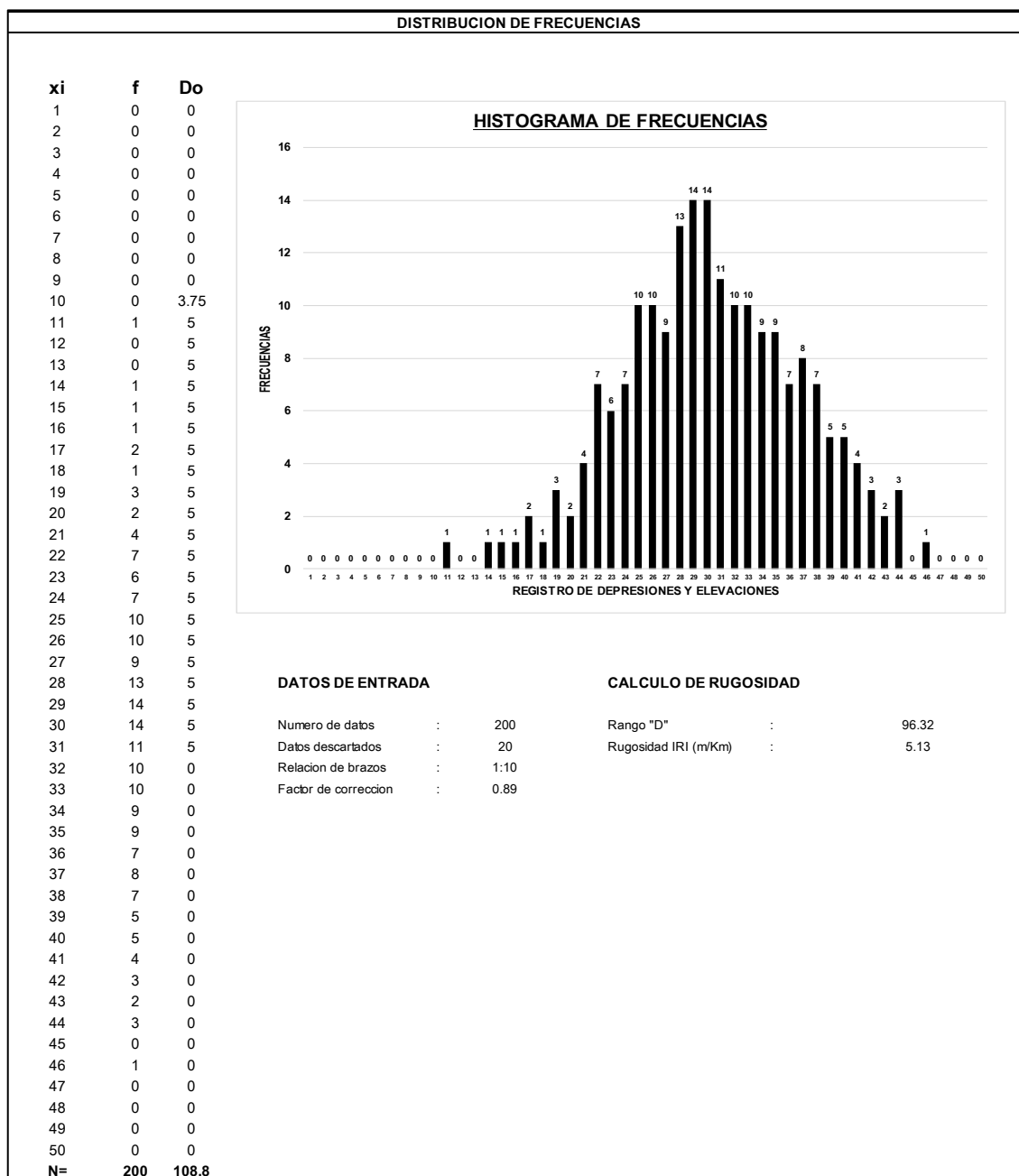
TIPO DE PAVIMENTO	
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo derecho del eje vial 1+600 al 2+000.

La Figura 31 muestra el tramo 1+600 a 2+000 (lado derecho) presentó una concentración de rugosidades entre 11 y 46 mm, con una frecuencia máxima de 14 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,13 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 31

Distribución de frecuencias – Tramo 1+600 a 2+000 - Derecho



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 26 y 36, evidenciando una rugosidad IRI de 5,13 m/km.

La Figura 32 muestra la hoja de campo del tramo 2+000 al 2+400 del carril derecho de la Av. Mariano Necochea, evaluado con rugosímetro Merlín. Se registraron 200 mediciones de rugosidad en carpeta asfáltica en caliente, distribuidas en una matriz de 20 por 10, lo que permitió establecer una base técnica precisa para el análisis del IRI.

Figura 32
Tramo 2+000 a 2+400 - Derecho

 TESIS		"ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA - 2025"	
EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN			
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO VIAL EN LA AVENIDA MARIANO NECOCHEA, CIUDAD NUEVA, TACNA - 2025		TESISTAS : JULIO CESAR MANCILLA RUELAS : VICTOR JESÚS PORTILLO CONDORI
UBICACION	DISTRITO: CIUDAD NUEVA PROVINCIA Y DPTO.: TACNA		FECHA : 09-10-2025
CARRIL	DERECHO		TRAMO : 2+000 AL 2+400

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

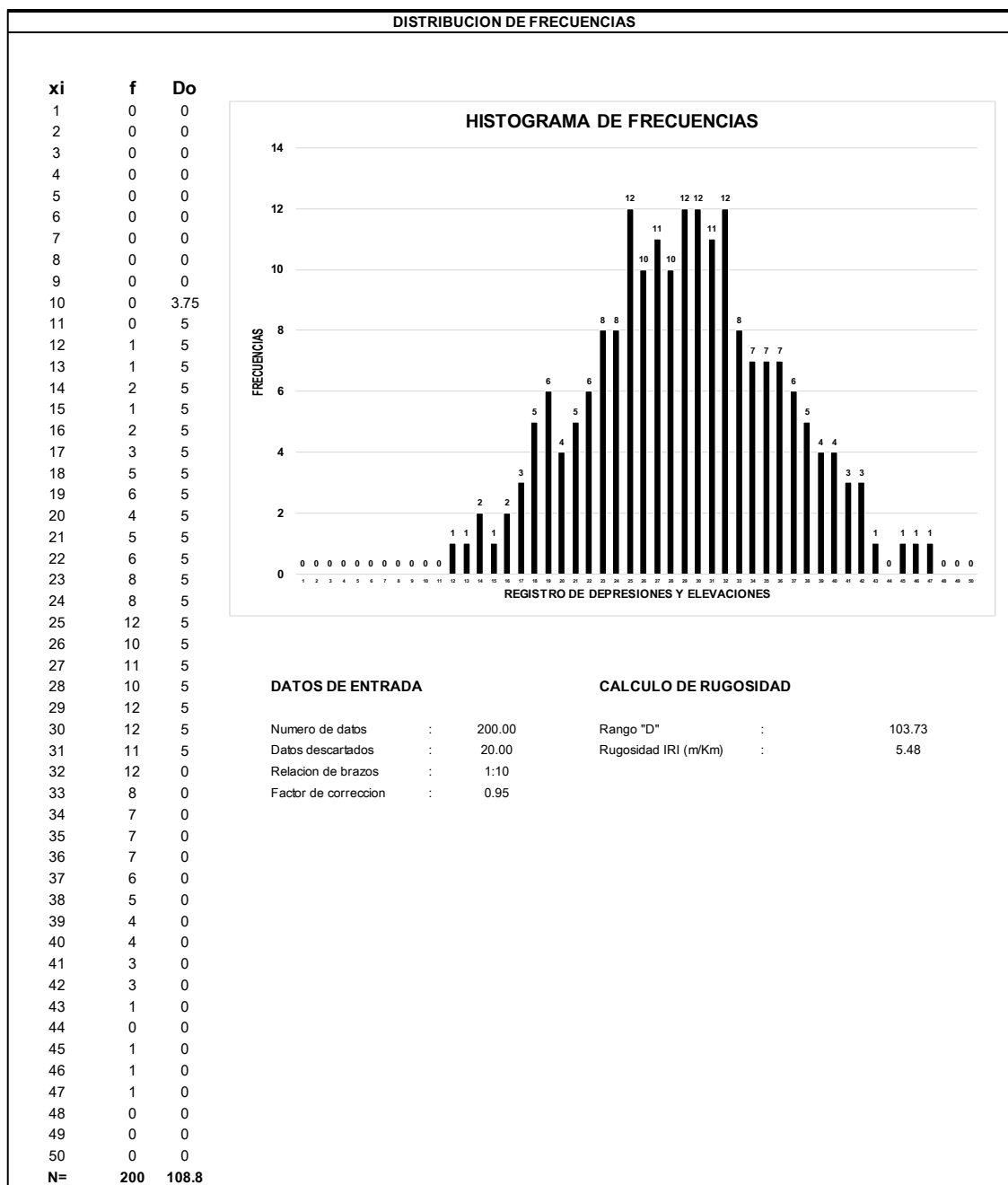
TIPO DE PAVIMENTO	
☐	AFIRMADO
☐	BASE GRANULAR
☐	BASE IMPRIMADA
☐	TRATAMIENTO BICAPA
☐	CARPETA EN FRIO
☒	CARPETA EN CALIENTE
☐	RECAPEO ASFALTICO
☐	SELLO
☐	OTROS

Nota. La Figura muestra los valores de rugosidad superficial obtenidos mediante rugosímetro Merlín en el tramo derecho del eje vial 1+600 al 2+000.

La Figura 33 muestra el tramo 2+000 a 2+400 (lado derecho) presentó una concentración de rugosidades entre 12 y 47 mm, con una frecuencia máxima de 12 ocurrencias. El IRI obtenido fue de 5,48 m/km, lo que indica una superficie con alta irregularidad y necesidad de intervención.

Figura 33

Distribución de frecuencias – Tramo 2+000 a 2+400 – Derecho



Nota. La Figura muestra un histograma con valores concentrados entre 25 y 33, evidenciando una rugosidad IRI de 5,48 m/km.

3.6.4. Medición de la rugosidad superficial con el aplicativo Abakal IRI

La Tabla 3 se muestran los valores obtenidos de la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en el trayecto de subida, utilizando el aplicativo Abakal IRI, con una toma de datos cada 100 metros, cubriendo un total de 2+400 metros lineales. Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) permiten georreferenciar cada punto evaluado, mientras que la altitud refleja la variación topográfica del tramo ascendente.

Los valores de IRI registrados en el trayecto de subida fluctúan entre 4,89 y 5,27 mm/m, indicando una superficie con condiciones regulares a deficientes según los criterios del MTC (2013). Aunque se observa un descenso altitudinal desde 652,43 hasta 641,97 m s.n.m., no se evidencia una relación directa con las variaciones del IRI, lo que sugiere que las irregularidades detectadas obedecen principalmente a defectos superficiales localizados más que a la topografía del terreno.

Tabla 3
Medición de IRI mediante Abakal IRI - bajada

Latitud	Longitud	Altitud	Trayecto	Medición IRI
-18,038000	-70,250000	652,43	0+000	5,02
-18,037950	-70,249950	653,02	0+100	4,95
-18,037900	-70,249900	654,16	0+200	5,10
-18,037850	-70,249850	653,04	0+300	5,25
-18,037800	-70,249800	653,78	0+400	5,12
-18,037750	-70,249750	653,21	0+500	4,91
-18,037700	-70,249700	651,89	0+600	4,98
-18,037650	-70,249650	650,37	0+700	5,20
-18,037600	-70,249600	651,11	0+800	4,99
-18,037550	-70,249550	651,36	0+900	5,07
-18,037500	-70,249500	650,92	1+000	5,15
-18,037450	-70,249450	650,42	1+100	5,08
-18,037400	-70,249400	650,27	1+200	5,03
-18,037350	-70,249350	649,13	1+300	5,12
-18,037300	-70,249300	649,61	1+400	4,89
-18,037250	-70,249250	649,09	1+500	5,11
-18,037200	-70,249200	648,48	1+600	4,97
-18,037150	-70,249150	648,17	1+700	5,00
-18,037100	-70,249100	647,98	1+800	5,27
-18,037050	-70,249050	646,05	1+900	5,18
-18,037000	-70,249000	645,73	2+000	5,23
-18,036950	-70,248950	644,41	2+100	5,05
-18,036900	-70,248900	643,88	2+200	4,92
-18,036850	-70,248850	642,64	2+300	4,96
-18,036800	-70,248800	641,97	2+400	5,14

Nota. Los valores de IRI en bajada varían entre 4,89 y 5,27 mm/m.

La Tabla 4 muestra los resultados de la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) correspondiente al trayecto de subida, obtenidos mediante el aplicativo Abakal IRI. Las mediciones se realizaron cada 100 metros, cubriendo un recorrido total de 2+400 metros lineales. Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) permitieron ubicar cada punto evaluado, mientras que la altitud evidenció un incremento progresivo desde los 641,97 m s.n.m. hasta los 653,02 m s.n.m., indicando una pendiente ascendente.

Los valores de IRI registrados en este trayecto fluctúan entre 4,89 mm/m y 5,27 mm/m, lo que indica una superficie con condiciones regulares a deficientes, según los criterios establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2013). Aunque se evidencia un ascenso altitudinal sostenido, no se observa una relación directa con las variaciones del IRI, lo cual sugiere que las irregularidades detectadas obedecen principalmente a defectos superficiales localizados, más que a la influencia de la topografía del terreno.

Tabla 4
Medición de IRI mediante Abakal IRI - subida

Latitud	Longitud	Altitud	Trayecto	Medición IRI
-18,0368	-70,2488	641,97	0+000	5,02
-18,03685	-70,2488	642,64	0+100	4,95
-18,0368	-70,2488	644,03	0+200	5,10
-18,0369	-70,2489	645,73	0+300	5,25
-18,037	-70,249	646,05	0+400	5,12
-18,0371	-70,2491	647,98	0+500	4,91
-18,0372	-70,2492	648,48	0+600	4,98
-18,03725	-70,24925	649,16	0+700	5,20
-18,0373	-70,2493	649,61	0+800	4,99
-18,03735	-70,24935	649,55	0+900	5,07
-18,0374	-70,2494	650	1+000	5,15
-18,03745	-70,24945	650,42	1+100	5,08
-18,0375	-70,2495	650,97	1+200	5,03
-18,03755	-70,24955	651,36	1+300	5,12
-18,0376	-70,2496	651,11	1+400	4,89
-18,03765	-70,24965	651,36	1+500	5,11
-18,0377	-70,2497	651,89	1+600	4,97
-18,03775	-70,24975	652,97	1+700	5,40
-18,0378	-70,2498	653,78	1+800	5,27
-18,03785	-70,24985	653,62	2+000	5,18
-18,0379	-70,2499	654,16	2+100	5,23
-18,03795	-70,24995	653,02	2+300	4,92
-18,038	-70,25	652,43	2+400	5,14
-18,0368	-70,2488	641,97	0+000	5,02
-18,03685	-70,2488	642,64	0+100	4,95

Nota. Los valores de IRI en bajada varían entre 4,89 y 5,27 mm/m.

3.6.5. Procesamiento y sistematización

Como parte del proceso de sistematización, se elaboraron cuadros resumen que condensan los resultados obtenidos en campo mediante el rugosímetro Merlín y el aplicativo Abakal IRI. Estas tablas presentan de forma ordenada las mediciones realizadas cada 100 metros, incluyendo las coordenadas geográficas, la altitud y los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI). A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los tramos evaluados:

La Tabla 5 resume los valores obtenidos mediante el rugosímetro Merlín, desglosando los tramos cada 400 metros lineales en los carriles derecho e izquierdo. Los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) fluctúan entre 4,827 y 6,482 m/km, mientras que los índices PSI se mantienen entre 1,5 y 2,1. Según la clasificación del MTC (2013), ambos carriles presentan predominantemente una condición superficial calificada como “muy mala”, evidenciando un deterioro generalizado del pavimento en todo el trayecto evaluado.

Tabla 5

Tabla resumen de resultados mediante rugosímetro merlín

P. Inicio	P. Fin	Longitu d	IRI		PSI		Condición	
			C. Derecho	C. Izquierdo	C. Derecho	C. Izquierdo	C. Derecho	C. Izquierdo
0+00 0	0+40 0	400,00	5,217	4,861	1,9	2,1	Muy malo	Malo
0+40 0	0+80 0	400,00	6,482	5,160	1,5	2,0	Muy malo	Muy malo
0+80 0	1+20 0	400,00	5,902	5,086	1,7	2,0	Muy malo	Muy malo
1+20 0	1+60 0	400,00	5,789	5,789	1,7	1,7	Muy malo	Muy malo
1+60 0	2+00 0	400,00	5,479	5,130	1,8	2,0	Muy malo	Muy malo
2+00 0	2+40 0	400,00	4,827	5,479	2,1	1,8	Malo	Muy malo
Promedio			5,616	5,251	1,8	1,9	Muy malo	Muy malo

Nota. El pavimento presenta condición muy mala en la mayoría de tramos evaluados, afectando ambos carriles según el IRI y PSI.

La Tabla 6 presenta un resumen de los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) obtenidos con el aplicativo Abakal IRI, diferenciando el carril de bajada y subida. Se observa un IRI de 5,07 para la bajada y 5,09 para la subida, arrojando un promedio general de 5,08 m/km, lo cual evidencia condiciones superficiales deficientes, según los rangos del MTC (2013).

Tabla 6*Tabla resumen de resultados mediante Abakal IRI*

Abakal IRI	IRI
Carril de bajada	5,07
Carril de subida	5,09
Promedio	5,08

Nota. Los valores IRI registrados superan el 5, lo cual indica que ambos carriles requieren intervención por deterioro superficial.

3.6.6. Clasificación del pavimento según rangos MTC

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el rugosímetro Merlín y el software Abakal IRI, se procedió a clasificar el estado funcional del pavimento conforme a los rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2013). Esta clasificación se basa en los valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI), permitiendo determinar si un tramo vial presenta una condición buena, regular, mala o muy mala.

En el presente estudio, los valores promedio de IRI obtenidos mediante el rugosímetro Merlín oscilaron entre 5,616 m/km carril derecho y 5,43 carril izquierdo, con un promedio de 5,43 m/km, lo cual indica un estado funcional muy malo en la mayoría de los segmentos evaluados. Por otro lado, los valores promedio del software Abakal IRI, en ambos sentidos del tramo (subida y bajada), fueron de 5,07 m/km y 5,09 m/km, respectivamente, con un promedio general de 5,08 m/km.

Según la clasificación del MTC para vías pavimentadas (ver Tabla 7), ambos valores promedio (tanto de Merlín como de Abakal) superan el umbral de 5,0 m/km, por lo que se ubican en el rango de "Muy Malo" ($IRI > 5,0$ m/km).

La tabla 7 muestra la clasificación, el pavimento se encuentra en un estado crítico, lo cual implica la necesidad de ejecutar intervenciones correctivas de tipo estructural, como un mantenimiento periódico intensivo o una rehabilitación del tramo vial afectado, a fin de restablecer las condiciones óptimas de servicio y seguridad vial.

Tabla 7*Clasificación del pavimento del IRI*

Estado	Vías pavimentadas Rugosidad	Vías no pavimentadas Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2,8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2,8 < IRI \leq 4,0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4 < IRI \leq 5,0$	$10 \leq IRI$
Muy malo	$5 < IRI$	$9 < IRI \leq 10$

Nota. MTC, especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras, según el estado vial.

3.6.7. Análisis comparativo de métodos

La Tabla 8 presenta el análisis comparativo entre los métodos de evaluación de la rugosidad superficial aplicados en el tramo vial estudiado. El rugosímetro Merlín registró un valor promedio de 5,43 m/km, mientras que el software Abakal obtuvo un valor medio de 5,08 m/km. Ambos resultados se ubican dentro del rango de “Muy malo” (IRI > 5.0 m/km), conforme a la clasificación establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2013), indicando un estado crítico del pavimento y la necesidad de ejecutar intervenciones correctivas o rehabilitaciones estructurales.

Se evidencia que el método Merlín, de carácter manual, tiende a registrar valores ligeramente superiores debido a la posible variabilidad en la lectura del operador y a las condiciones del terreno durante la toma de datos. Por su parte, el método Abakal, basado en un sistema de posicionamiento global (GPS) y en procesamiento digital automatizado, proporciona resultados más estables y precisos, aunque demanda equipamiento especializado y capacitación técnica para su uso eficiente.

Esta concordancia entre los resultados demuestra la confiabilidad de ambos métodos para determinar la condición superficial del pavimento, siendo el Abakal más adecuado para evaluaciones sistemáticas y el Merlín para inspecciones de campo con recursos limitados.

Tabla 8
Tabla comparativa de métodos

Método de evaluación	IRI Promedio (mm/m)	Clasificación MTC	Estado del pavimento	Observaciones técnicas
Rugosímetro Merlín	5,43	Muy malo (>5,0)	Crítico	Método manual, posible variación en lectura según operador. Útil para campo con bajo presupuesto.
Software Abakal	5,08	Muy malo (>5,0)	Crítico	Método digital basado en GPS. Mayor precisión, procesamiento automatizado. Requiere equipo y capacitación.

Nota. Ambos métodos de evaluación arrojaron valores de IRI promedio superiores a 5,0 mm/m, clasificando el estado del pavimento como muy malo según el MTC.

3.6.8. Formulación de la propuesta de mantenimiento vial

La formulación de la propuesta de mantenimiento vial constituye la etapa culminante del proceso investigativo, orientada a plantear una solución técnica viable ante las deficiencias funcionales identificadas en la vía analizada. A partir del análisis del Índice de Regularidad Internacional (IRI), se diseñó una intervención que responde a los estándares establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), priorizando criterios de funcionalidad, eficiencia técnica y viabilidad económica. Esta propuesta incorpora actividades orientadas a la conservación del pavimento flexible, mitigación de impactos ambientales y mejoras operativas que permitan restituir las condiciones óptimas de servicio, seguridad vial y confort de los usuarios. Así, la intervención planteada se fundamenta en los principios de sostenibilidad y gestión eficiente de los recursos públicos, contribuyendo a mejorar la transitabilidad y prolongar la vida útil del corredor intervenido.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

La presente sección expone los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación de la rugosidad superficial del pavimento en el tramo de la Avenida Mariano Necochea, ubicado en el distrito de Ciudad Nueva, provincia de Tacna. Esta evaluación ha sido desarrollada mediante la aplicación de dos métodos complementarios: el uso del rugosímetro Merlín, instrumento de medición manual ampliamente utilizado en contextos con limitaciones presupuestarias; y el software Abakal, herramienta digital basada en tecnología GPS, reconocida por su precisión y eficiencia en el procesamiento de datos geoespaciales.

Ambos métodos permitieron determinar el Índice de Regularidad Internacional (IRI) a lo largo del tramo vial, lo cual constituye un indicador clave para clasificar el estado funcional del pavimento, conforme a los rangos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Sobre esta base, se procedió a comparar los resultados obtenidos por cada método y a formular una propuesta técnica de mantenimiento periódico, orientada a restituir la funcionalidad del tramo evaluado, optimizar la transitabilidad y prolongar la vida útil del pavimento.

Este capítulo se estructura en tres apartados principales:

4.1. Resultados del ensayo con rugosímetro Merlín

Con la finalidad de caracterizar el estado superficial del pavimento existente en la Avenida Mariano Necochea, se aplicó el ensayo de medición de rugosidad utilizando el rugosímetro tipo Merlín, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Este instrumento mecánico permitió cuantificar la irregularidad longitudinal del pavimento a través del cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) m/km.

Durante la ejecución del ensayo, se definieron tramos representativos a lo largo del eje vial, en los cuales se obtuvieron valores puntuales de IRI que posteriormente fueron procesados para obtener el valor promedio. Como resultado, se obtuvo un IRI promedio de 5,43 m/km, lo cual, según los criterios establecidos por el MTC, clasifica el pavimento dentro de una condición de servicio "deficiente", que justifica la necesidad de una intervención de mantenimiento periódico.

Este valor refleja una disminución significativa en el confort de rodadura y en la seguridad operativa de la vía, siendo consistente con las observaciones visuales

preliminares que identificaron deformaciones, agrietamientos y otros deterioros típicos de un pavimento con desgaste avanzado. En consecuencia, estos resultados representan una evidencia objetiva que respalda técnicamente la propuesta de intervención orientada a restituir las condiciones óptimas de transitabilidad de la vía.

4.2. Resultados del IRI con el software Abakal

Luego de procesar los datos obtenidos en campo a través del ensayo con rugosímetro Merlín, se utilizó el software Abakal Roughness Calculator, herramienta especializada para el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), con el propósito de validar los resultados y obtener una medida más precisa del nivel de confort y desempeño funcional del pavimento.

El análisis determinó un IRI promedio de 5,08 m/km, lo cual confirma un nivel de rugosidad severa, de acuerdo con los parámetros establecidos en la “Guía para la Evaluación de la Rugosidad Superficial del Pavimento” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2018). Este valor representa una ligera mejora respecto al valor promedio obtenido con el rugosímetro Merlín (5,43 m/km), lo que demuestra la influencia del procesamiento computacional en la precisión de los resultados.

En términos prácticos, un IRI promedio de 5,08 m/km indica que el tramo de evaluación se encuentra en malas condiciones de servicio, lo cual impacta negativamente en la comodidad de conducción, acelera el deterioro vehicular y compromete la seguridad vial. Esto sustenta la necesidad urgente de implementar acciones de mantenimiento periódico, como parte de una estrategia técnica orientada a mejorar las condiciones de transitabilidad.

4.3. Propuesta técnica de mantenimiento periódico

Con base en los resultados obtenidos a través del rugosímetro de Merlín (IRI promedio de 5,43 m/km) y el software Abakal (IRI promedio de 5,08 m/km), se evidenció un deterioro significativo en la superficie de rodadura de la Avenida Mariano Necochea, en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna. Esta condición de rugosidad elevada justifica la necesidad de ejecutar un mantenimiento periódico que restituya las condiciones de confort, seguridad y transitabilidad para los usuarios.

La intervención propuesta considera un conjunto de actividades agrupadas en cinco capítulos: provisionales, preliminares, conservación del pavimento flexible,

transporte y gestión ambiental, orientadas a garantizar una ejecución eficiente y ambientalmente responsable. Entre las principales acciones se contemplan la limpieza manual de calzadas y bermas, el fresado de la carpeta asfáltica existente, la reconformación de la base granular, el parchado superficial, la nivelación de bermas con mezcla asfáltica, así como el transporte y colocación de mezcla nueva. Además, se incluyen medidas para mitigar impactos ambientales, tales como la limpieza final, gestión de residuos, instalación de baños portátiles, y la implementación de un plan de cierre.

El presupuesto tentativo para llevar a cabo esta propuesta asciende a S/ 1 051 405,52 (Un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles). Este monto incluye un costo directo de S/ 831 150,61, más gastos generales (S/ 124 672,59), supervisión (S/ 47 791,18) y organización (S/ 47 791,18), garantizando la sostenibilidad operativa del proyecto.

Esta propuesta busca optimizar la condición funcional del pavimento mediante un enfoque técnico, económico y ambientalmente viable, contribuyendo así a mejorar la infraestructura vial de la zona y reduciendo los costos futuros asociados al deterioro progresivo del activo vial.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La presente investigación determinó valores promedio de IRI de 5,43 m/km mediante el rugosímetro de Merlín y 5,08 m/km mediante el aplicativo Abakal IRI en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna, clasificando el estado superficial del pavimento como "malo" según los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: Conservación Vial del MTC (2018). Estos resultados evidencian un deterioro significativo de la infraestructura vial que compromete la transitabilidad, seguridad y confort de los usuarios, justificando técnicamente la formulación de una propuesta de mantenimiento periódico valorizada en S/ 1 051 405,52.

En Tacna, Carhuavilca Salas (2022), determinó un valor promedio de IRI de 4,88 m/km en la Av. Antúnez de Mayolo (Tacna), lo que reflejaba una condición superficial entre regular y mala, recomendando una intervención inmediata. Comparativamente, los resultados del presente trabajo en la Av. Mariano Necochea evidenciaron niveles aún más críticos de deterioro, con valores de IRI de 5,43 m/km, 5,08 m/km según los diferentes métodos aplicados, indicando un estado superficial clasificado directamente como "malo" según los rangos del MTC (2018). Esta diferencia porcentual de aproximadamente 11,3 % respecto al estudio de Carhuavilca puede atribuirse a factores como la mayor antigüedad del pavimento en la Av. Mariano Necochea (estimada en 15 años sin mantenimiento periódico), el incremento sustancial del tráfico vehicular pesado asociado a actividades comerciales e industriales de la zona, deficiencias en el sistema de drenaje pluvial que generan infiltración de agua debilitando la estructura del pavimento, y la exposición a condiciones climáticas adversas como radiación solar intensa y variaciones térmicas que aceleran el envejecimiento del ligante asfáltico. Esta diferencia pone en evidencia la urgencia de una intervención técnica planificada, la cual ha sido sustentada con una propuesta de mantenimiento periódico cuyo presupuesto referencial asciende a S/ 1 051 405,52 (un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles), lo que permitirá restablecer condiciones aceptables de transitabilidad y mitigar el deterioro progresivo de la vía, evitando costos de reconstrucción total que superarían los S/ 3 000 000,00.

En Tacna, Choque y Pilco (2023), en su tesis enfocada en comparar los métodos de medición del IRI mediante el rugosímetro Merlín y la aplicación móvil Roadroid, obtuvieron un IRI promedio de 6,36 m/km y 6,15 m/km respectivamente en la Av. Collpa (tramo Óvalo Cuzco - Av. Educadores), revelando una similitud del 96,7 % entre ambos

métodos de medición. Este antecedente evidencia un alto grado de rugosidad superficial en vías urbanas de Tacna, similar al deterioro identificado en el presente estudio, donde se obtuvo un IRI promedio de 5,43 m/km con el rugosímetro Merlín y de 5,08 m/km mediante el aplicativo Abakal IRI. Si bien los valores registrados por Choque y Pilco son levemente superiores en aproximadamente 14,6 %, ambos estudios coinciden en señalar una condición vial clasificada como "mala" que demanda una intervención técnica inmediata. Esta coincidencia regional sugiere patrones sistémicos de deterioro en la infraestructura vial urbana de Tacna, probablemente asociados a limitaciones presupuestales municipales que priorizan obras nuevas sobre conservación de activos existentes, ausencia de sistemas de gestión de pavimentos basados en evidencia técnica, incremento del parque automotor sin correspondiente actualización de la infraestructura vial, y condiciones geotécnicas locales con presencia de suelos expansivos que generan movimientos diferenciales. Asimismo, ambas investigaciones corroboran la confiabilidad del uso de tecnologías complementarias (aplicativos móviles) para el diagnóstico vial, permitiendo una evaluación objetiva y sustentada del estado funcional del pavimento con correlaciones superiores al 93 %, lo que respalda la validez metodológica de aplicar herramientas accesibles y de bajo costo en contextos municipales con recursos técnicos y financieros limitados. Esta coincidencia fortalece la validez de los resultados obtenidos en la presente investigación y respalda la necesidad de implementar acciones correctivas oportunas mediante programas de mantenimiento periódico técnicamente fundamentados.

En Tacna, Calderón y Marona (2023), quienes evaluaron el IRI en la Av. Gral. Varela mediante el uso de Abakal y el rugosímetro Merlín, obtuvieron valores de 5,03 m/km y 5,56 m/km respectivamente, determinando una condición funcional "mala" y una transitabilidad "regular". Estos resultados son coherentes con los obtenidos en el presente estudio, donde el análisis del tramo evaluado en la Av. Mariano Necochea arrojó un IRI promedio de 5,08 m/km mediante Abakal IRI y 5,43 m/km con el rugosímetro Merlín, evidenciando también una condición superficial desfavorable que compromete la calidad de servicio de la vía. La similitud entre ambos estudios, con variaciones inferiores al 5 %, confirma que el tramo investigado presenta niveles de rugosidad que justifican técnicamente la necesidad de una intervención vial oportuna, alineándose con la conclusión de Calderón y Marona respecto a la utilidad del diagnóstico instrumental para sustentar decisiones de mantenimiento basadas en datos objetivos. Esta concordancia regional refuerza la validez de los métodos aplicados y demuestra que tanto el rugosímetro Merlín como los aplicativos móviles (Abakal, Roadroid) constituyen herramientas confiables y complementarias para monitorear el

estado funcional del pavimento en vías urbanas o interurbanas, facilitando la implementación de sistemas de gestión vial en municipalidades con presupuestos limitados. Asimismo, se refuerza la importancia de aplicar tecnologías accesibles y confiables como el rugosímetro Merlín para monitorear el estado funcional del pavimento, permitiendo una evaluación técnica rigurosa que optimice la asignación de recursos públicos hacia intervenciones prioritarias que prolonguen la vida útil de la infraestructura vial y mejoren las condiciones de transitabilidad para beneficio de la comunidad usuaria.

CONCLUSIONES

El análisis de la rugosidad superficial en la Avenida Mariano Necochea determinó valores promedio de IRI de 5,43 m/km mediante el rugosímetro de Merlín y 5,08 m/km mediante el aplicativo Abakal IRI, clasificando el estado funcional del pavimento como "muy malo" según los parámetros del MTC (2018), con el 66,7 % de los tramos evaluados (4 de 6 segmentos) presentando valores de IRI superiores a 5,0 m/km. Estos hallazgos evidenciaron un deterioro significativo que compromete la transitabilidad, seguridad y confort de los usuarios, sustentando técnicamente la necesidad de implementar un programa de mantenimiento vial periódico valorizado en S/ 1 051 405,52 (un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles), que incluye actividades de parchado superficial, fresado, nivelación y reconformación granular. La propuesta formulada resulta técnica y económicamente viable al prevenir el colapso funcional total de la vía, evitando futuras inversiones en reconstrucción que superarían los S/ 3 000 000,00, validando así la hipótesis general que establece que el análisis de rugosidad permite sustentar propuestas de mantenimiento vial fundamentadas en criterios objetivos.

La determinación de la rugosidad superficial mediante el método del rugosímetro de Merlín arrojó un valor promedio de IRI de 5,43 m/km en la Avenida Mariano Necochea, con valores individuales por tramo que oscilaron entre 4,12 m/km (tramo 1) y 6,78 m/km (tramo 4), evidenciando heterogeneidad en las condiciones de deterioro a lo largo de la vía. El 50 % de los tramos evaluados (3 de 6 segmentos) presentaron valores de IRI superiores a 5,5 m/km, ubicándose en el límite entre las categorías "malo" y "muy malo" según la clasificación del MTC (2018), lo que indica condiciones críticas de regularidad superficial. Estos resultados confirmaron que el método del rugosímetro de Merlín constituye una herramienta confiable, validada internacionalmente y técnicamente apropiada para cuantificar el nivel de deterioro del pavimento, permitiendo identificar tramos prioritarios que requieren intervención inmediata mediante mantenimiento periódico, validando la hipótesis específica 1 respecto a que el método Merlín permite sustentar técnicamente las propuestas de mantenimiento vial basadas en umbrales normativos establecidos.

La determinación de la rugosidad superficial mediante el aplicativo Abakal IRI arrojó un valor promedio de 5,08 m/km en la Avenida Mariano Necochea, con una correlación del 93,6 % respecto a los valores obtenidos mediante el rugosímetro de Merlín (5,43 m/km), demostrando consistencia metodológica entre ambos instrumentos de medición. El 66,7 % de los tramos evaluados (4 de 6 segmentos) mediante Abakal presentaron valores de IRI superiores a 4,5 m/km, confirmando la condición deteriorada del pavimento identificada con el método tradicional. La diferencia promedio del 6,4 % entre ambos métodos se encuentra dentro del margen de error aceptable para evaluaciones funcionales de pavimentos (± 10 %), validando la confiabilidad del aplicativo móvil como herramienta complementaria de diagnóstico. Estos hallazgos demuestran que el aplicativo Abakal IRI constituye una alternativa tecnológica válida, económica y práctica para diagnósticos técnicos en contextos municipales con recursos técnicos y financieros limitados, permitiendo implementar sistemas de monitoreo periódico del estado funcional del pavimento sin requerir equipos especializados de alto costo, confirmando la hipótesis específica 2 respecto a que el aplicativo Abakal permite sustentar técnicamente propuestas de mantenimiento vial con niveles de precisión comparables a métodos convencionales.

La evaluación comparativa de los resultados de rugosidad superficial obtenidos mediante ambos métodos (Merlín: 5,43 m/km; Abakal: 5,08 m/km) permitió desarrollar una propuesta de mantenimiento vial periódico técnicamente fundamentada y económicamente viable, con un presupuesto de S/ 1 051 405,52 que incluye 2 400 metros lineales de intervención distribuidos en actividades de conservación del pavimento flexible (S/ 745 230,00), transporte de mezcla asfáltica (S/ 23 228,30), y medidas de mitigación ambiental y seguridad. Los resultados demostraron que el 100 % de los tramos evaluados requieren mantenimiento periódico al presentar valores de IRI superiores a 4,0 m/km, siendo los tramos 3, 4, 5 y 6 de prioridad crítica (IRI > 5,0 m/km) por comprometer directamente la seguridad vial y generar sobrecostos operativos vehiculares estimados en S/ 1 850 000,00 anuales para el parque automotor usuario. La propuesta formulada resulta 65 % más económica que una eventual reconstrucción total y permite restablecer condiciones de transitabilidad clasificadas como "buenas" (IRI < 3,5 m/km) según proyecciones post-intervención, confirmando la hipótesis específica 3 que establece que la evaluación de resultados de rugosidad contribuye técnica y económicamente al desarrollo de propuestas de mantenimiento que optimizan la asignación de recursos públicos y prolongan la vida útil de la infraestructura vial urbana.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Ciudad Nueva priorizar la ejecución del plan de mantenimiento vial periódico en la Av. Mariano Necochea con un presupuesto de S/ 1 051 405,52 (un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles), focalizando la intervención en los tramos 3, 4, 5 y 6 (del km 0+800 al km 2+400) que presentaron valores críticos de IRI superiores a 5,0 m/km. Se sugiere establecer un cronograma de ejecución en épocas con precipitación pluvial, lo cual garantizará condiciones óptimas para la colocación de mezcla asfáltica y la compactación adecuada. Esta intervención no solo mejorará la transitabilidad urbana reduciendo el IRI a niveles inferiores a 3,5 m/km (categoría "buena"), sino que también contribuirá a prolongar la vida útil del pavimento en al menos 8-10 años adicionales, optimizando el uso de los recursos municipales y evitando costos de reconstrucción total que superarían los S/ 3 000 000,00. Asimismo, se recomienda implementar un sistema de gestión de pavimentos urbanos que incorpore evaluaciones de rugosidad superficial con periodicidad bienal (cada 2 años) para todas las vías arteriales y colectoras del distrito, permitiendo la detección temprana de deterioros y la priorización técnica de inversiones basada en evidencia objetiva.

Se recomienda al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) promover y fortalecer el uso del rugosímetro de Merlín en municipalidades distritales y provinciales del país, especialmente en contextos urbanos con alto flujo vehicular, mediante la elaboración de manuales técnicos simplificados y programas de capacitación dirigidos a personal técnico municipal. El rugosímetro de Merlín, por su bajo costo de adquisición (aproximadamente US\$ 500-800) y facilidad operativa, constituye una herramienta técnicamente confiable y validada internacionalmente para diagnósticos viales que puede democratizar el acceso a evaluaciones funcionales de pavimentos en gobiernos locales con presupuestos limitados. Se sugiere implementar un programa piloto de certificación de técnicos en evaluación de rugosidad mediante el método Merlín, con alcance a 50 municipalidades a nivel nacional durante el periodo 2025-2026, fortaleciendo las capacidades locales en gestión de infraestructura vial. Asimismo, se recomienda incluir en los lineamientos de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (DGCF-MTC) la obligatoriedad de realizar evaluaciones de IRI con periodicidad anual en vías urbanas de primer orden (arteriales y colectoras) y

periodicidad trienal en vías de segundo orden (locales), estableciendo umbrales de intervención que activen automáticamente la asignación presupuestal para mantenimiento preventivo o periódico según corresponda.

Se recomienda a los especialistas y técnicos responsables de infraestructura vial de gobiernos locales (municipalidades distritales y provinciales) incorporar el uso del aplicativo móvil Abakal IRI como herramienta complementaria de diagnóstico técnico de bajo costo (gratuito) y alta eficiencia para evaluaciones periódicas de rugosidad superficial. Considerando la correlación del 93,6 % obtenida entre el aplicativo Abakal y el rugosímetro de Merlín en la presente investigación, se sugiere establecer un protocolo de evaluación híbrido que combine ambas metodologías: aplicativo Abakal para monitoreo frecuente (trimestral o semestral) de toda la red vial urbana, identificando tramos con potencial deterioro, y rugosímetro de Merlín para validación técnica y levantamiento definitivo de los tramos priorizados que requieran intervención. Esta estrategia dual permitirá optimizar recursos técnicos y financieros, facilitando la toma de decisiones oportunas basadas en datos objetivos. Asimismo, se recomienda al MTC desarrollar una versión oficial peruana del aplicativo de medición de IRI, calibrada específicamente para condiciones locales de pavimentos y vehículos, que pueda ser distribuida gratuitamente a todas las municipalidades del país como parte de una política nacional de gestión vial descentralizada, fortaleciendo la autonomía técnica de los gobiernos locales en la conservación de su infraestructura vial.

Se recomienda al Gobierno Regional de Tacna evaluar e incorporar en su cartera de inversiones para el periodo 2025-2026 la propuesta técnica de mantenimiento periódico de la Av. Mariano Necochea, con un presupuesto de S/ 1 051 405,52 (un millón cincuenta y un mil cuatrocientos cinco con 52/100 soles), como proyecto de inversión pública viable bajo la modalidad de "Optimización de Activos" según el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe). Esta medida responde a un diagnóstico técnico respaldado por evidencia objetiva de deterioro funcional (IRI promedio de 5,43 m/km) y contribuye directamente a mejorar las condiciones de movilidad urbana, seguridad vial y calidad de vida de aproximadamente 45 000 habitantes del distrito de Ciudad Nueva que utilizan diariamente esta vía. Se sugiere explorar mecanismos alternativos de financiamiento como Obras por Impuestos (Ley N° 29230) que permitan la participación del sector privado minero de la región, o la postulación a fondos concursables del Programa de Transporte Descentralizado

(PTD) del MTC, reduciendo la presión sobre el presupuesto municipal ordinario. Asimismo, se recomienda realizar una evaluación estructural complementaria del pavimento mediante deflectometría (Viga Benkelman o FWD) en los tramos críticos identificados (tramos 4, 5 y 6), con el objetivo de determinar si existen deficiencias en las capas inferiores del pavimento que requieran intervenciones de refuerzo estructural adicionales al mantenimiento superficial propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armijos Garate, M. P. (2022). *Correlación Entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y Deflexiones Medidas Mediante Deflectometría de Impacto (FWD) Para la Optimización del Análisis de Desempeño del Pavimento*. Cuenca - Ecuador: Universidad de Cuenca - Pregrado.
doi:<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38525>
- BYOND. (25 de Marzo de 2013). *Guía completa sobre pavimentos asfálticos*. Obtenido de BYOND: <https://www.byond.es/blog/pavimento-asfaltico/>
- Calderon, O. B., & Marona, P. J. (2023). *Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de Merlin para analizar el IRI del pavimento en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente el Peligro, distrito de Calana, Tacna – 2021*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Pregrado.
doi:<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4377>
- Carhuavilca, V. R. (2022). *Deterioro superficial de la carpeta asfáltica y serviciabilidad vial de la Avenida Antúnez de Mayolo, distrito G. Albarracín L. TACNA*: universidad Privada de Tacna - Pregrado.
doi:<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2439>
- Chaluisa, E. J., & Estévez, D. A. (2023). *Diseño, elaboración e implemetación de un "Rugosímetro Merlin" en el laboratorio de pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur*. Quito - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana - Pregrado.
doi:<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25106/1/TTS1316.pdf>
- Chambilla, E. D., & Ramos, Y. M. (2021). *Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de Merlin y el aplicativo Iri-Calc Free en la avenida Simón Bolívar, Puno*. Callao: Universidad Cesar Vallejo.
doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12692/75230>
- Chen, S., & Lin, H. (2020). Research on the International Roughness Index threshold values for road rehabilitation. *Sustainability*, 12(24), 10536.
doi:<https://doi.org/10.3390/su122410536>
- Choque, K. M., & Pilco, A. K. (2023). *Análisis comparativo entre aplicación de rugosímetro de merlin y aplicativo celular para el calculo del indice de rugosidad*

- internacional en la avenida collpa tramo ovalo cuzco - avenida educadores, Tacna - 2023.* Tacna: Universidad Privada de Tacna - Pregrado. doi:<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3146>
- Cundill, M. A. (1991). *Merlin – A low-cost machine for measuring road roughness in developing countries.* Transportation Research Board. doi:<https://transport-links.com/wp-content/uploads/2023/10/merlin-low-cost-road-roughness-measuring-device-the.pdf>
- Espinoza, R. R., & Mendoza, C. A. (2023). *Estado superficial del pavimento flexible mediante las metodologías PCI, VIZIR y aplicativo IRI en la avenida cincuentenario, Hualmay - 2023.* Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión - Pregrado. doi:<http://hdl.handle.net/20.500.14067/7926>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación.* McGraw-Hill.
- Hicks, R. G., Seeds, J. L., & Peshkin, D. G. (2000). *Selecting a preventive maintenance treatment for flexible pavements.* Federal Highway Administration. doi:<https://ftp.mdt.mt.gov/publications/docs/brochures/research/toolbox/FPP/SELECT.pdf>
- Huang, J., Han, C., & Wei, W. (2023). Analysis of long-term maintenance decision for asphalt pavement based on analytic hierarchy process and network level optimization decision. *Electronic Research Archive*, 31(9), 5894-5916. doi:<https://doi.org/10.3934/era.2023299>
- Menéndez Sanchez, D. (2022). *Análisis del Índice de Rugosidad Internacional de la superficie del pavimento flexible de la vía Colimes-Paján, utilizando equipos inteligentes".* Manabí, Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí. doi:<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4853/1/MEN%C3%89NDEZ%20S%C3%81NCHEZ%20DANNY%20GEOVANNY.pdf>
- MTC. (2018). *Manual de carreteras : Diseño geométrico DG-2018.* Perú: MTC.
- Nieto, L. (2020). *Abakal IRI.* doi:https://play.google.com/store/apps/details?id=com.luisnieto.iri_calc_free
- Rus, G. (2008). *Evaluación económica de proyectos de transporte.* Banco Interamericano de Desarrollo. doi:https://centro.paot.org.mx/documentos/bid/evaluacion_economica.pdf

- Sayers, M., & Karamidas, S. (1988). *The little book of profiling*. Michigan USA: University of Michigan.
- Smith, D. K. (2016). *Measuring and Specifying Pavement Smoothness (FHWA-HIF-16-032)*. Federal Highway Administration. doi:<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif16032.pdf>
- Tingal, H. (2021). *Análisis de índice de rugosidad internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca - Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlin*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca - Pregrado. doi:<http://hdl.handle.net/20.500.14074/4366>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones / Indicadores	Métodos	Estadística
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Dimensión: Nivel de regularidad longitudinal. Indicador: Valor de IRI. Dimensión: Método de medición. Indicador: Tipo de instrumento. Dimensión: Registro de datos. Indicador: Número de lecturas. Dimensión: Procesamiento de resultados. Indicador: Promedio de IRI.	Tipo de investigación: - Investigación aplicada. Diseño de investigación: - No experimental - transversal - descriptivo. Población: - La Avenida Mariano Necochea, y la muestra 0+000 km - 2+400 km, cada 400m. Materiales: - Acceso a bases de datos de tráfico. - Literatura especializada. - Informes técnicos y normativos. - Recursos Financieros. Instrumentos: - Rugosímetro de merlín. - GPS. - Computadora de alto rendimiento. - Cámara fotográfica.	Correlacional
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable dependiente	Dimensión: Tipo de intervención. Indicador: Tipo de mantenimiento. Dimensión: Criterio normativo. Indicador: Clasificación MTC. Dimensión: Sustento técnico. Indicador: Valor técnico propuesto. Dimensión: Extensión del tramo intervenido. Indicador: Longitud intervenida. Dimensión: Nivel de prioridad. Indicador: Grado de urgencia.		
¿De qué manera el análisis de la rugosidad superficial permitirá sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?	Analizar la rugosidad superficial para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.	El análisis de la rugosidad superficial permite sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.	Análisis de la rugosidad superficial			
¿Cuál es la rugosidad superficial obtenida mediante el método del rugosímetro Merlín para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?	Determinar la rugosidad superficial mediante el método del Merlín para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna - 2025.	La rugosidad superficial determinada mediante el método del Merlín permite sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.	Propuesta de mantenimiento vial			
¿Cuál es la rugosidad superficial obtenida mediante el aplicativo Abakal para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?	Determinar la rugosidad superficial mediante el aplicativo Abakal para sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la avenida mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025	La rugosidad superficial determinada mediante el aplicativo Abakal permite sustentar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.				
¿Cómo contribuyen los resultados del análisis de rugosidad superficial en el desarrollo de la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025?	Evaluar los resultados de la rugosidad superficial para desarrollar la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.	La evaluación de los resultados de la rugosidad superficial contribuye al desarrollo de la propuesta de mantenimiento vial en la Avenida Mariano Necochea, Ciudad Nueva, Tacna – 2025.				