

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



TESIS

**“DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE RUGOSIDAD PARA LA
DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD EN LA AVENIDA
COLLPA, TACNA-2024”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. YANIRA DEL ROSARIO MAMANI TICONA

Bach. ADRIANA CORRALES HUAMÁN

TACNA – PERÚ

2024

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

TESIS

**“DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE RUGOSIDAD PARA LA
DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD EN LA AVENIDA
COLLPA, TACNA-2024”**

Tesis sustentada y aprobada el 27 de septiembre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTA : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

VOCAL : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

**ASESOR : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN
JUÁREZ**

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Yanira del Rosario Mamani Ticona y Adriana Corrales Huamán egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 72437718 y DNI 70413831 respectivamente; así como Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez con DNI 00794213 declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos autores de la *tesis* titulada: *Diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida Collpa, Tacna-2024*, 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, 27 de septiembre de 2024



Yanira del Rosario Mamani Ticona
DNI: 72437718



Adriana Corrales Huamán
DNI: 70413831



Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez
DNI: 00794213

DEDICATORIA

A mis progenitores, los cuales me brindaron su cariño incondicional y frecuente apoyo quienes son mi mayor inspiración y motivo en esta marcha académica.

A mis sobrinas Esmeralda, María del Cielo y April, quienes fueron un gran impulso para el cumplimiento de mis metas, a mi hermana Yomaira que fue gran ejemplo de resiliencia para mí, a mi pareja que me acompañó en momentos de frustración y me dio confort. Que este trabajo sea un pequeño reflejo de mi gratitud y un tributo a su confianza en mí.

Yanira del Rosario Mamani Ticona

DEDICATORIA

A mis progenitores, quienes perpetuamente fueron soporte moral tanto como soporte económico, me brindaron la oportunidad de poder estar en una gran universidad y de no preocuparme por las demás situaciones de la vida para enfocarme en el estudio.

A mi hermana, que estuvo conmigo a lo largo de mi carrera impulsándome a seguir adelante pese a cualquier problema.

Adriana Corrales Huamán

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos expresar nuestra más genuina gratitud a todos aquellos que han asistido de algún modo en la elaboración de este trabajo. Agradecemos a nuestro asesor, el Mtro. Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez por su experta orientación, su paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso. A la Universidad Privada de Tacna, por proporcionarnos los medios indispensables para realizar nuestra investigación.

Agradecemos a nuestras familias por su cariño ilimitado, comprensión e invariable ánimo durante los momentos difíciles. Su apoyo ha sido fundamental para nosotras. A todas estas personas, nuestro más profundo agradecimiento.

Yanira del Rosario Mamani Ticona
Adriana Corrales Huamán

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	8
1.3. Justificación e importancia.....	8
1.3.1. Desde una perspectiva social	8
1.3.2. Desde una perspectiva científica	9
1.3.3. Desde una perspectiva económica	9
1.3.4. Desde una perspectiva ambiental	10
1.4. Objetivos	10
1.5. Hipótesis.....	10
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes de la investigación	12
2.2. Bases teóricas	14
2.2.1. Rugosidad del pavimento.....	14
2.2.2. Posibles causas de la rugosidad.....	15
2.2.3. Relevancia de la textura en la superficie de rodadura.....	16
2.2.4. Pavimento	16
2.2.5. Aplicación de teléfonos inteligentes	18
2.2.6. International roughness index (IRI)	19
2.2.7. Determinación de la calidad de servicio a través del IRI	20
2.2.8. Cálculo de IRI con el Rugosímetro de Merlín.....	20
2.2.9. Longevidad del pavimento	22
2.2.10. Fallas del pavimento	22

2.3.	Definición de términos	24
2.3.1.	Abakal Iri	24
2.3.2.	Totalpave	24
2.3.3.	Rugosímetro de Merlín.....	24
2.3.4.	Serviciabilidad.....	24
2.3.5.	Índice de serviciabilidad	25
2.3.6.	Estado de la transitabilidad	26
2.3.7.	Longevidad del pavimento	27
2.3.8.	Estado de la capa de rodadura	27
2.3.10.	Calzada.....	28
2.3.11.	Tránsito.....	28
2.3.12.	Transitabilidad.....	28
2.3.13.	Conservación Vial	28
2.3.14.	Base del Pavimento	28
2.3.15.	Muestreo	28
2.3.16.	Capa De Rodadura	29
2.3.17.	Provias Nacional	29
2.3.18.	Asfalto.....	29
2.3.19.	Temperatura de exposición.....	29
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		30
3.1.	Diseño de Investigación.....	30
3.2.	Acciones y actividades	30
3.3.	Materiales y/o instrumentos.....	31
3.4.	Población y/o muestra de estudio.....	35
3.4.1.	Población	35
3.4.2.	Muestra.....	36
3.5.	Operacionalización de variables	36
3.5.1.	Identificación y/o caracterización de las variables.....	36
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	37
3.6.1.	Procedimiento del ensayo ABAKAL IRI.....	37
3.6.2.	Procedimiento del ensayo con Totalpave.....	40
3.6.3.	Procedimiento del ensayo con el instrumento convencional Merlín	46
3.6.4.	Trabajo de Gabinete	52
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		53
4.1.	Resultados con la aplicación Abakal Iri.....	53
4.2.	Resultados con el Aplicativo Total Pave	55
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		70

CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fallas del Pavimento.....	23
Tabla 2. Escala de Índice de Serviciabilidad según el ICG	25
Tabla 3. Escala Índice de Serviciabilidad del Manual de Carreteras del MTC	26
Tabla 4. Estados de Transitabilidad.....	26
Tabla 5. Operacionalización de la Variable Independiente	36
Tabla 6. Operacionalización de la Variable Dependiente.....	37
Tabla 7. Mediciones Iri obtenidos del aplicativo Abakal Iri – Carril bajada	53
Tabla 8. Mediciones Iri obtenidos del aplicativo Abakal Iri – Carril subida	54
Tabla 9. Nivel de Rugosidad por carriles obtenido con el Aplicativo Abakal Iri	55
Tabla 10. Valores IRI obtenidos del aplicativo Totalpave – Carril Bajada	55
Tabla 11. Valores IRI obtenidos del aplicativo Totalpave – Carril subida.....	56
Tabla 12. Nivel de Rugosidad por carril obtenido con el Aplicativo Total Pave	57
Tabla 13. Resultados IRI obtenidos por Rugosímetro de Merlín - Bajada.....	68
Tabla 14. Resultados IRI obtenidos por Rugosímetro de Merlín - Carril Subida	68
Tabla 15. Nivel de Rugosidad por carril obtenido por Rugosímetro de Merlín	69
Tabla 16. Estado vial según la Rugosidad	70
Tabla 17. IRI promedio proveniente del aplicativo Abakal IRI	70
Tabla 18. IRI promedio proveniente del aplicativo Total Pave	71
Tabla 19. IRI promedio proveniente Rugosímetro de Merlín.....	71
Tabla 20. IRI obtenido por aplicativos y Rugosímetro de Merlín	72
Tabla 21. Cálculo PSI por metodología.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lugar de indagación L=2,2 km de dos carriles - Av. Collpa	4
Figura 2. Medición de la vía.....	4
Figura 3. Inicio de la Av. Collpa partiendo del Óvalo Cusco.....	5
Figura 4. Fallas presentes de la vía de estudio.....	6
Figura 5 . Recopilación de imágenes del estado de la vía	6
Figura 6. Reconocimiento de la vía de estudio	7
Figura 10. Proporción de la población que accede a Internet	18
Figura 11. Escalas de IRI para variedad de pavimentos	19
Figura 12. Rugosímetro de Merlín	21
Figura 13. Samsung Galaxy A70	32
Figura 14. Logo Aplicativo Abakal Iri.....	32
Figura 15. Logo Totalpave IRI.....	33
Figura 16. Equipo Merlín.....	34
Figura 17. Camioneta RAIZE usada para el ensayo	34
Figura 18. Pantalla de inicio de Abakal IRI	38
Figura 19. Porta celular colocado en vehículo	38
Figura 20. Inicio del programa Abakal Iri.....	39
Figura 21. Mensaje de pantalla principal de Abakal al “Guardar”	39
Figura 22. Archivos generados por Abakal Iri	40
Figura 23. Costo de Totalpave.....	41
Figura 24. Correo respuesta a solicitud de información de costos	41
Figura 25. Activación del GPS para Totalpave	42
Figura 26. Inicio para recopilación de los datos en Totalpave.....	43
Figura 27. Modo Lento GPS Totalpave.....	44
Figura 28. Dispositivo para los vehículos.....	45
Figura 29. Aplicativo Totalpave nivelado.....	45
Figura 30. Registros IRI Totalpave	46
Figura 31. Equipo del Laboratorio de Mecánica de Suelos.....	47
Figura 32. Explicación de uso del equipo con el Técnico de laboratorio	48
Figura 33. Recopilación de valores Óvalo Tarapacá-Óvalo Cusco, Av. Collpa	49
Figura 34. Recopilación de valores Óvalo Cusco-Óvalo Tarapacá, Av. Collpa	49
Figura 35. Formato de captura de información	50
Figura 36. Histograma de Frecuencias	51

Figura 34. Formato de datos calzada subida hoja 1	58
Figura 35. Formato de datos calzada subida hoja 2	59
Figura 36. Formato de datos calzada subida hoja 3	60
Figura 37. Formato de datos calzada subida hoja 4	61
Figura 38. Formato de datos calzada subida hoja 5	62
Figura 39. Formato de datos calzada bajada hoja 6	63
Figura 40. Formato de datos calzada bajada hoja 7	64
Figura 41. Formato de datos calzada bajada hoja 8	65
Figura 42. Formato de datos calzada bajada hoja 9	66
Figura 43. Formato de datos calzada bajada hoja 10	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	85
Anexo 2. Plano de ubicación – Abakal Iri.....	86
Anexo 3. Plano de ubicación – Total Pave.....	87
Anexo 4. Plano de ubicación – Rugosímetro de Merlín	88

RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis de investigación fue realizar el diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la Av. Collpa en el tramo Óvalo Cuzco – Óvalo Tarapacá. Para este propósito, se utilizaron metodologías modernas y convencionales, incluyendo los aplicativos Total Pave y Abakal Iri, así como la metodología tradicional merlin. Los resultados de la investigación permitieron definir el IRI de la Av. Collpa, obteniendo un promedio de 4,16 m/km para Abakal Iri, 4,13 m/km para Totalpave y de 4,11 m/km para Rugosímetro Merlin. Con base en estos resultados, se clasificó la transitabilidad del tramo de estudio como "regular". La investigación concluyó que las metodologías modernas, como Total Pave y Abakal Iri, son efectivas y proporcionan datos detallados y precisos para la evaluación de la rugosidad y transitabilidad vial. Sin embargo, la metodología merlin sigue siendo útil, especialmente en contextos con recursos limitados. En resumen, la aplicación de diversas metodologías permitió un diagnóstico completo y detallado, resaltando la importancia de utilizar herramientas adecuadas para evaluar y mejorar la infraestructura vial.

Palabras clave: rugosidad; Abakal Iri; transitabilidad; Iri; índice de serviciabilidad.

ABSTRACT

The main objective of this research thesis was to carry out the diagnosis of the level of roughness to determine the passability on Av. Collpa in the Óvalo Cuzco – Óvalo Tarapacá section. For this purpose, modern and conventional methodologies were used, including the Total Pave and Abakal Iri applications, as well as the traditional merlin methodology. The results of the research made it possible to define the Iri of Av. Collpa, obtaining an average of 4.16 m/km for Abakal Iri, 4.13 m/km for Totalpave and 4.11 m/km for Merlín Rugosimeter. Based on these results, the passability of the study section was classified as "regular". The research concluded that modern methodologies, such as Total Pave and Abakal Iri, are effective and provide detailed and accurate data for the evaluation of road roughness and passability. However, the merlin methodology remains useful, especially in resource-limited contexts. In summary, the application of various methodologies allowed a complete and detailed diagnosis, highlighting the importance of using appropriate tools to evaluate and improve road infrastructure.

Keywords: roughness; Abakal Iri; walkability; Iri; serviceability index.

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos que impacta en el progreso de un país y su expansión económica es principalmente la calidad de las conexiones de transporte entre diferentes áreas geográficas, como ciudades, regiones y divisiones administrativas, junto con el estado y funcionamiento de esas infraestructuras.

Al estar expuestas las estructuras viales a cargas continuas, volumen de tránsito, comportamiento sísmico, cambio climático, daños estructurales, etc., resultando en la modificación de la superficie en la vía, induciendo averías o desperfectos, reduciendo la aptitud para los usuarios, influye en el tiempo de transporte, incrementa el coste de sostenimiento y reducir las condiciones óptimas de la carpeta asfáltica.

En la actualidad, el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa está experimentando un rápido aumento en su población y en el número de vehículos, lo que hace indispensable una planificación en la infraestructura vial para garantizar la movilidad eficiente y segura de sus habitantes. Además, se observa un crecimiento significativo en las actividades comerciales y residenciales a lo largo de la Avenida Collpa, lo que aumenta aún más la importancia de mantener esta vía en óptimas condiciones. En esta investigación, se aborda la valoración de la irregularidad de la superficie del pavimento flexible de la Av. Collpa, una calzada compuesta de doble carril en sentidos contrarios, con una longitud de 2200 metros. Este recorrido es fundamental para el transporte interurbano tanto de pasajeros como de mercancías, pues sirve como una arteria principal que conecta diferentes áreas de la ciudad y facilita el acceso a zonas comerciales, industriales y residenciales. Por lo tanto, es fundamental garantizar la calidad del pavimento y abordar cualquier irregularidad que pueda afectar a la población.

En este estudio se expone el estado de la transitabilidad a raíz del pavimento flexible haciendo uso de aplicativos de smartphone y metodología convencional. El estudio se centrará en la cuantificación y valoración de las imperfecciones provocadas por variables tales como la afluencia vehicular, las condiciones meteorológicas y la conservación de la calzada, que inciden en la calidad del pavimento. Para alcanzar este objetivo, se emplean herramientas tecnológicas como las aplicaciones móviles Abakal IRI, y Totalpave IRI además del instrumento Rugosímetro de Merlín. Estas aplicaciones facilitan la estimación de la condición operativa del pavimento mediante el

procesamiento de datos del Índice de Rugosidad Internacional, proporcionando datos objetivos que posibilitan la administración y conservación de la infraestructura vial.

La tesis se estructura en cinco secciones:

En el capítulo primero se aborda la formulación de la problemática, detalle, sustento del estudio, los objetivos tanto generales como específicos, así como la hipótesis general y específica.

En el capítulo segundo se aborda el marco teórico, que incluye el registro de antecedentes, el establecimiento de fundamentos teóricos y la precisión de conceptos pertinentes.

En el capítulo tercero se exhibe el marco metodológico, que encierra la especificación del tipo y nivel de estudio, la descripción de la población y muestra, la segmentación de variables, así como las metodologías y el análisis de datos utilizados.

En el capítulo cuarto se muestra los datos resultantes conseguidos mediante los aplicativos Abakal IRI, Totalpave IRI y el procedimiento habitual del Rugosímetro de Berlín.

En el quinto capítulo está centrado sobre la cuestión, analizando los resultados alcanzados en comparación con los resultados de los antecedentes mencionados en el trabajo.

La tesis culmina con la presentación de las conclusiones y recomendaciones realizados durante el estudio.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En la región de Tacna enfrentamos serios desafíos debido a la ausencia de una estrategia de inversión óptima en redes viales y la insuficiente supervisión estatal de sus carreteras. Esta situación ha provocado un rápido deterioro del pavimento asfáltico, lo que podría generar complicaciones significativas en el futuro.

Desde las primeras cuatro décadas del siglo XX, Tacna ha experimentado cambios demográficos notables, caracterizados por un aumento de la población urbana debido a la migración interna. Según datos del INEI, en 2023 la cantidad de habitantes en Perú alcanzó los 33 millones 726 mil habitantes, con proyecciones de llegar a 39 millones 363 mil para 2050. En el caso específico del departamento de Tacna, se registraron 346 mil habitantes en 2023, y se espera que para 2025 la población aumente a 383 mil habitantes. Este crecimiento poblacional, ha acentuado la carencia de inversión en una buena infraestructura vial, resultando en serios problemas de transporte, ya que la infraestructura existente no puede soportar la creciente demanda.

Se ha observado en los últimos años, una mayor congestión del tráfico en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, donde la demanda en vías ha superado su capacidad, especialmente durante las horas pico. Esto ha generado frustración entre los conductores y los residentes que dependen del transporte público y privado para desplazarse.

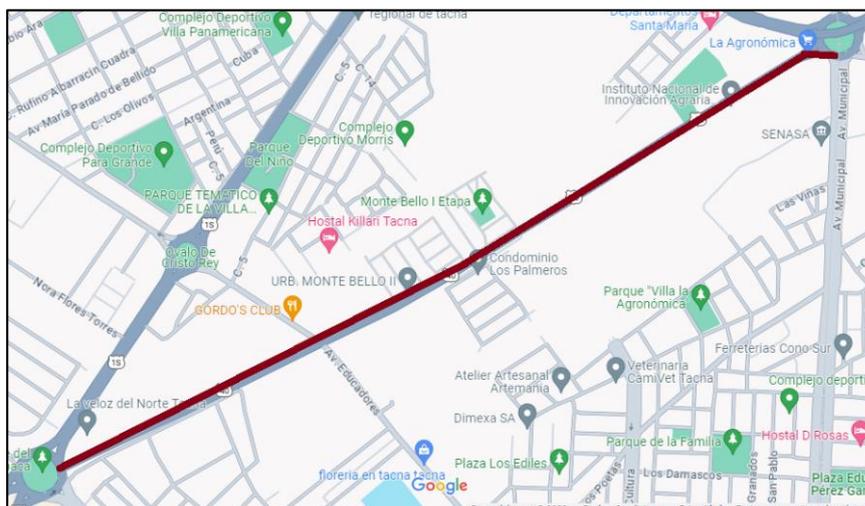
Además, la falta de cultura vial en una gran parte de la población peruana empeora la situación, puesto que muchos ciudadanos desconocen o no comprenden las normas de tránsito vehicular, por ende; no respetan las señales informativas. La congestión vehicular es especialmente severa en la Avenida Collpa, desde el Óvalo Cusco hasta el Óvalo Tarapacá, donde se observa una alta demanda de vehículos, incluyendo de carga pesada, lo que resulta en largas colas y un servicio de transporte cada vez más complicado y hostil.

La Avenida Collpa es una vía clave dentro de la red vial de Tacna, conectando diversas áreas importantes de la ciudad. El tramo analizado, que abarca una longitud de 2,2 km y cuenta con dos carriles, presenta un deterioro significativo debido a la falta de mantenimiento adecuado. Este deterioro afecta tanto la seguridad vial como la comodidad de los usuarios que transitan diariamente por la vía. En la Figura 1 se

muestra el mapa del área de estudio correspondiente a la Avenida Collpa, destacando el tramo comprendido entre el Óvalo. Cusco y el Óvalo Tarapacá.

Figura 1

Lugar de indagación L=2,2 km de dos carriles - Av. Collpa

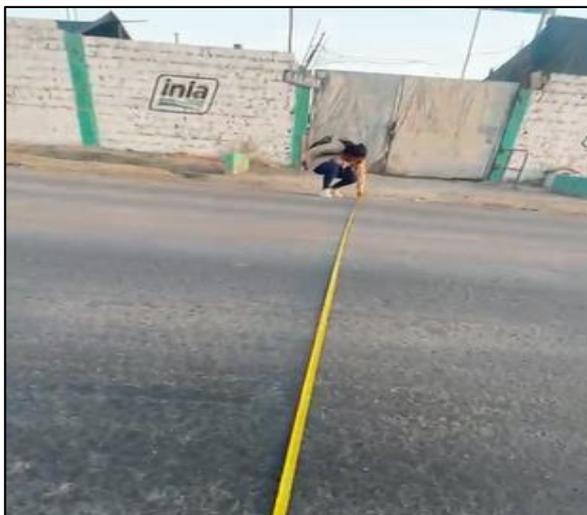


Nota. Sitio de la Av. Collpa en el distrito GAL. Obtenido de Google Maps (2022).

Para evaluar el ancho de la vía en el tramo de estudio de la Avenida Collpa, se realizó una medición in situ. El ancho de la calzada es un factor crucial para analizar la transitabilidad, ya que afecta la capacidad de flujo vehicular y la seguridad de los usuarios. En la Figura 2 se observa el proceso de medición del ancho de la vía, el cual se registró en 7,10 metros, distribuidos en dos carriles.

Figura 2

Medición de la vía

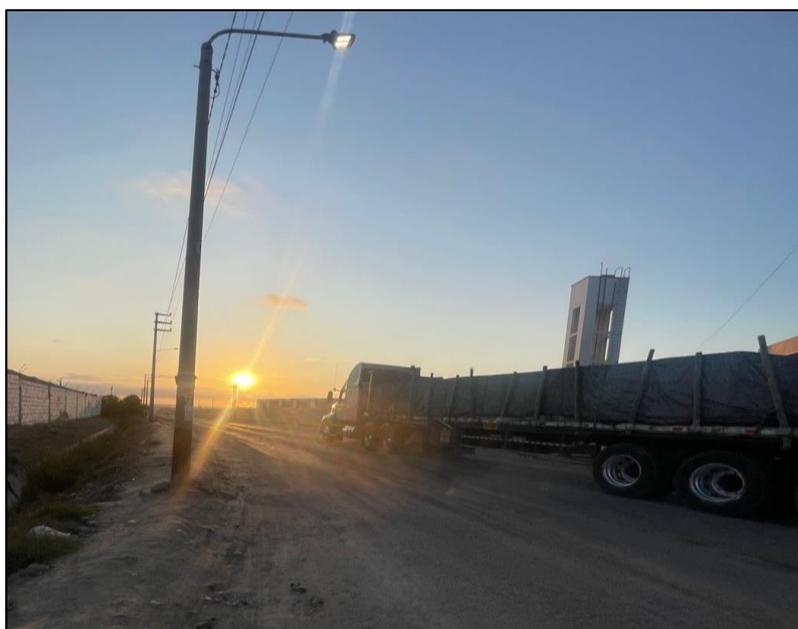


Nota. Se muestra la medición realizada con un ancho de camino de 7,10 m dividido en dos carriles en Av. Collpa del Distrito GAL.

El tramo de estudio de la Avenida Collpa inicia en el Óvalo Cusco, un punto clave para el tránsito vehicular, especialmente por la alta presencia de transporte de carga pesada. Este tipo de tráfico tiene un impacto directo sobre la rugosidad y deterioro de la calzada, aumentando el desgaste de la superficie vial. En la Figura 3 se muestra el inicio del tramo de estudio, donde se observa la presencia de vehículos de carga pesada que transitan regularmente por esta vía.

Figura 3

Inicio de la Av. Collpa partiendo del Óvalo Cusco



Nota. Al inicio del tramo de estudio, partiendo del Óvalo Cusco se muestra la presencia de transporte de carga pesada en la Av. Collpa del Distrito GAL.

Durante el estudio de la Avenida Collpa, se identifican varias fallas en el pavimento flexible, las cuales son características de vías con alto tráfico vehicular y falta de mantenimiento adecuado. Estas fallas afectan directamente la rugosidad de la superficie y, por ende, la comodidad y seguridad de los conductores que transitan por la vía. En la Figura 4 se presentan las principales fallas observadas en el pavimento, lo que evidencia el deterioro significativo de la calzada en el tramo evaluado.

Figura 4*Fallas presentes de la vía de estudio*

Nota. Se muestra el pavimento flexible con presencia de fallas en la Av. Collpa del Distrito GAL.

Como parte del diagnóstico del estado actual de la Avenida Collpa, se llevó a cabo una recopilación fotográfica de las condiciones de la vía. Este proceso permite documentar visualmente el deterioro existente y complementar el análisis técnico con evidencia gráfica del estado del pavimento. En la Figura 5 se muestra la recolección de imágenes durante el recorrido del tramo de estudio, donde se observan las condiciones generales de la vía.

Figura 5*Recopilación de imágenes del estado de la vía*

Nota. Se realizó la compilación de imágenes sobre el deterioro existente en el tramo de estudio en la Av. Collpa del Distrito GAL.

Como parte del análisis detallado de la Avenida Collpa, se realizó un reconocimiento completo de la vía para observar de cerca las condiciones de la calzada, el tráfico vehicular y otros factores que impactan en la transitabilidad. Este recorrido permitió identificar las principales zonas afectadas por el desgaste del pavimento y el flujo constante de vehículos pesados. En la Figura 6 se muestra el proceso de reconocimiento de la vía, donde se observa la presencia de vehículos de gran tamaño que transitan por la zona estudiada.

Figura 6

Reconocimiento de la vía de estudio



Nota. Se realizó en recorrido total del tramo de estudio en la Av. Collpa del Distrito GAL.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la Av. Collpa, Tacna 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el resultado de la rugosidad de la calzada obtenida con la aplicación Abakal Iri en la Av. Collpa?
- b. ¿Cuál es el resultado de la rugosidad de la calzada obtenida con la aplicación Totalpave Iri en la Av. Collpa?
- c. ¿Cuál es el resultado de la rugosidad de la calzada obtenida con el instrumento Rugosímetro de Merlín en la Av. Collpa?

1.3. Justificación e importancia

La imperatividad de recopilar datos para identificar alternativas de solución pertinentes y adecuadas ante futuros conflictos en la vía, con el objetivo de prevenir posibles daños y deterioros en la condición de la Avenida Collpa, viene siendo nuestra justificación.

Los datos recopilados permitirán contar con pruebas precisas para identificar la magnitud de los daños en la calzada y prevenir la necesidad de costosos mantenimientos y reparaciones al no detectar los problemas a tiempo, esto con la ayuda de planes de protección de carreteras.

Se confía que la información compilada manifieste con gran precisión posible la condición actual del pavimento, lo que permitirá una evaluación más realista de los daños. Para lograr esto, se utilizarán métodos de análisis de pavimentos como Abakal Iri y Total Pave; y se compararán los resultados con los obtenidos mediante el procedimiento convencional del "Rugosímetro de Merlín". Se espera que esta comparación proporcione precisión en los resultados y una evaluación de daños más objetiva, lo que generará datos útiles para mejorar la condición de la calzada.

1.3.1. Desde una perspectiva social

Este estudio pretende conseguir resultados que mejoren la experiencia de los beneficiarios de la calzada. A partir de la identificación de los desperfectos en la Avenida Collpa, también tiene como propósito ofrecer un diagnóstico actualizado del estado de la vía, dado que no existen investigaciones recientes al respecto. Con esta información,

se espera que la entidad competente pueda encontrar soluciones efectivas para abordar los problemas identificados y mejorar la situación en la vía.

Las condiciones actuales de la carretera en estudio están limitando el flujo de tráfico, lo que resulta en un incremento del lapso de desplazamiento, un mayor deterioro de los vehículos, una disminución en la durabilidad de la vía y costos más elevados en el transporte. Para asegurar la seguridad vial y elevar considerablemente el bienestar de todos los residentes locales es crucial optimizar la calidad de servicio en la vía.

1.3.2. Desde una perspectiva científica

El incremento de las actividades económicas entre los residentes de una comunidad exige en las vías de tránsito mantener unas buenas condiciones, considerando que el deterioro físico del pavimento es una consecuencia inevitable con el paso del tiempo. Por lo tanto, este estudio ofrecerá resultados derivados de la apreciación de la situación del pavimento mediante el empleo de metodologías aplicadas en dispositivos móviles inteligentes como Abakal Iri y Total Pave, así mismo con la metodología convencional rugosímetro de Merlín. Estos resultados se ofrecerán a la autoridad competente del área de estudio para que puedan utilizarlos en la elaboración de un plan de mantenimiento vial oportuno.

1.3.3. Desde una perspectiva económica

El mal estado de las carreteras dificultará el acceso a una determinada zona, así como la recepción de servicios básicos y la educación. También ocasionará problemas de comodidad a los usuarios durante el transporte, ya que las superficies irregulares de la carretera generarán más vibraciones y podrán dañar la carrocería y la estructura interna del vehículo. Además, estas irregularidades pueden provocar deformaciones en los neumáticos, lo que resultará en un mayor consumo de combustible, un aumento en el tiempo de transporte y un rendimiento ineficiente, lo que incrementará los costes de conservación.

Las condiciones deficientes de las calzadas pueden manifestarse de desemejantes maneras, tales como depresiones, manchas y hendeduras. Estas imperfecciones incrementan el riesgo de accidentes viales debido a la distracción que provocan. Por consiguiente, es imperativo llevar a cabo valoraciones habituales de la superficie asfáltica. Mediante dicho estudio, se deben desarrollar planes de mantenimiento para las vías pavimentadas de manera oportuna, asegurando así que puedan alcanzar su vida útil proyectada sin necesidad de una reconstrucción total.

1.3.4. Desde una perspectiva ambiental

Para implementar metodologías de preservación de la superficie asfáltica, se sustenta con la aplicación de técnicas avanzadas para con la valoración de pavimentos, tales como el empleo de aplicaciones móviles como Abakal Iri y Total Pave, así como el uso del instrumento Rugosímetro de Merlín. Estas herramientas pueden identificar niveles de rugosidad y el nivel de servicio del asfalto flexible. Con estos resultados, se pueden desarrollar alternativas para mejorar la conservación de las carreteras. Es crucial subrayar que esto tiene una repercusión sustancial en el medio ambiente, dado que la gravedad del deterioro en la cubierta de la vía, mayor será el volumen y la cantidad de materiales necesarios para su reparación, lo que puede afectar la calidad del aire.

La conservación adecuada de las carreteras no solo influye en el aire, sino que también incide en la minimización de la liberación de gases de efecto invernadero. Conjuntamente, una buena conservación de las carreteras puede estimular una utilización más parsimoniosa de los bienes naturales al extender la duración operativa de la infraestructura vial, disminuyendo de este modo la necesidad de nuevas edificaciones y reduciendo la huella ambiental que estas conllevan.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la Av. Collpa, Tacna 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Definir los resultados del aplicativo Abakal Iri en la Av. Collpa
- b. Definir los resultados del aplicativo Totalpave Iri en la Av. Collpa
- c. Definir los resultados del método convencional Rugosímetro de Merlín en la Av. Collpa

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

El diagnóstico del nivel de rugosidad puede determinar favorablemente la transitabilidad en la Av. Collpa, Tacna 2024.

1.5.2. Hipótesis Específicas.

- a. Los resultados del aplicativo Abakal Iri en el tramo de estudio son desfavorables
- b. Los resultados del aplicativo Total Pave Iri en el tramo de estudio de la Av. Collpa son desfavorables
- c. Los resultados del instrumento Rugosímetro de Merlín en el tramo de estudio de la Av. Collpa son desfavorables

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Saltos (2023) realizó la investigación “Determinación del índice de rugosidad internacional de la vía Los Ángeles-Andil”, de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. El propósito de esta investigación de terreno es obtener valores Iri de la carretera Los Ángeles-Andil, en Jipijapa, utilizando el método convencional Merlín. Obteniendo un resultado Iri equivalente a 1,90 m/km, con una serviciabilidad de 3,38, calificada como buena. Además, se utilizó la aplicación de teléfono Roadroid, obteniendo un índice de 1,60 m/km. Se reveló que la carretera presentaba pocas irregularidades significativas, con una buena calidad de mezcla asfáltica o preparación de la superficie. Se ultimó que el instrumento “Rugosímetro de Merlín” fue el instrumento más adecuado para conseguir el Iri.

Celeita (2023) realizó la investigación “Análisis de la medición del Iri utilizando la aplicación para smartphone Roadroid”, de la Universidad Santo Tomás, Bogotá. Se hizo la comparación de las mediciones tradicionales con la aplicación Roadroid, que es accesible y económica. Además, esta aplicación cuenta con un mayor poder de procesamiento para mediciones a lo largo de varios kilómetros. Para lograr esto, se desarrolló un método de calibración de la aplicación basado en 9 pruebas que requerían cambios en los soportes y la revisión de la velocidad promedio. En los primeros resultados obtenidos utilizando el soporte universal para teléfono de coche de brazo largo, se observó un valor negativo y una correlación baja con las mediciones convencionales. Luego se llevaron a cabo diez pruebas adicionales, durante las cuales se tuvieron que cambiar los soportes duros del parabrisas y realizar nuevas mediciones. Sin embargo, debido a las diferencias en la forma en que cada dispositivo realiza las mediciones y sus características individuales, los valores obtenidos nunca serán idénticos.

Menéndez (2022) realizó la investigación “Análisis del Índice de Rugosidad Internacional de la Superficie del Pavimento Flexible de la Vía Colimes-Paján, utilizando equipos inteligentes”, de la Universidad Estatal del sur de Manabí, Ecuador. El cometido de este estudio es examinar la homogeneidad en la superficie de la calzada Vía Colimes-Paján. Hicieron uso de aplicaciones como Iri Calculator, que mostró valores de 2,26 m/km como nimio y de 5,11 m/km como cúspide, y Totalpave, con valores de

1,87m/km y 7,11m/km. El resultado del índice de serviciabilidad fue de 3,51. La investigación concluyó que el pavimento está en pésimas condiciones.

2.1.2. A Nivel Nacional

Montalvo (2023) realizó la investigación “Índice de rugosidad internacional de la carretera Huaraz-Carhuaz para mejorar la serviciabilidad empleando Roadroid, año 2022”, de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú. La tesis utilizó dos métodos el nivel y mira junto con el roadroid, obteniendo promedio IRI de 6,87 m/km y 3,36 m/km, correspondientemente. Se efectuó una pesquisa comparativa con el propósito medidas de conservación, encontrando una similitud del 95,77 % en los hallazgos obtenidos por cada enfoque. Se resolvió que los valores de IRI indican un índice de serviciabilidad (PSI) con transitabilidad regular.

Pinedo et al. (2023) realizaron la investigación “Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional”, de la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. Realizaron una comparativa en los pavimentos en Tarapoto utilizando el aplicativo para smartphones RoadBump (Clase 3), el perfil longitudinal con nivel y mira (Clase 1), y el software ProVAL. Tras probar distintas condiciones, el automóvil adecuado sería a 35 km/h y con neumáticos a 27 PSI, lo que produjo un error promedio del 10,17 %. El estudio encontró una correlación del 88,76 % entre el IRI calculado por métodos tradicionales (nivel y mira) y el IRI obtenido con RoadBump. En promedio, el IRI para RoadBump fue 2,922 m/km y 2,923 m/km para los carriles diestro y siniestro, correspondientemente. Indicando un nivel de rugosidad regular. En resumen, RoadBump se mostró como una herramienta precisa para medir el IRI, con un alto grado de similitud respecto a métodos convencionales.

Rios et al. (2022) llevaron a cabo el estudio de investigación. “Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura”, de la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Su objetivo fue medir el IRI en la carretera PE-18, entre los kilómetros 30+000 y 60+000. Para ello, se utilizaron dos aplicaciones móviles, Abakal y Totalpave, y un perfilómetro láser como referencia, mientras se conducía un automóvil Kia Cerato a velocidades de entre 35 y 70 km/h para evaluar el estado de la carretera. Los resultados en m/km fueron 2,35, 3,53 y 3,62; para el perfilómetro láser, Totalpave y Abakal, respectivamente. Esto sugiere que el nivel de confiabilidad de Totalpave es del 75,52 %, mientras que Abakal tiene un nivel de confiabilidad del 67,35 %.

2.1.3. A Nivel Local

Choque et al. (2023) realizaron la investigación “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”, de la Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú. La intención del estudio buscó realizar una comparativa entre el dispositivo convencional manual Merlín y el aplicativo Roadroid en la métrica IRI (International Roughness Index). Los datos obtenidos a través Merlín dieron un promedio Iri de 6,36 m/km y con el Roadroid obtuvo 6,15 m/km, calificando como “Deficiente” al tramo utilizando el método convencional.

Bustinza et al. (2022) realizaron la investigación “Uso del aplicativo Totalpave en la determinación de la rugosidad de la Av. Collpa, tramo: Av. Tarapacá – Av. Municipal, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna – 2022”, de la Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú. El propósito central de este trabajo de investigación se focalizó en examinar la rugosidad de la superficie del asfalto flexible en la Av. Von Humboldt, entre Av. Tarapacá y Av. Municipal, con la aplicación Totalpave. Para este fin, se emplearon un teléfono móvil y una camioneta, obteniendo 2,84 m/km de promedio Iri para la vía diestra y 2,51 m/km para la vía surda, con un promedio total de 2,68 m/km. Esta evaluación calificó el asfalto como regular y transitabilidad buena con un Psi de 3,07.

Lozano et al. (2021) efectuaron la indagación “Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2021”, de la Universidad Privada de Tacna, en Tacna, Perú. Investiga la textura del pavimento para la Av. Antúnez de Mayolo utilizando teléfonos móviles con el objetivo de optimizar las condiciones de tránsito. Con las aplicaciones Roadroid y Abakal para medir un tramo de 2000 metros con una calzada de dos carriles, ambos de 3,30 m. Los hallazgos mostraron un promedio de Iri ponderado de 4,58 m/km según Roadroid y 5,06 m/km según Abakal. Ambas aplicaciones clasificaron la condición de la calzada y la transitabilidad como deficientes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Rugosidad del pavimento

Montoya (2013) indica que la rugosidad se describe como una desviación respecto a un valor establecido. Las dimensiones y la irregularidad de una superficie respecto a un área óptimamente nivelada pueden influir en aspectos relacionados al pavimento.

2.2.1.1. Agentes que afectan la Rugosidad del Pavimento

- Antigüedad del pavimento.
- Atributos del asfalto utilizado.
- Características de la subrasante.
- Cualidades de la base granular.
- Flujos vehiculares.
- Grosor del pavimento.
- La magnitud y gravedad de los defectos en el pavimento.
- La resistencia estructural.
- Las peculiaridades ambientales.

2.2.2. Posibles causas de la rugosidad

Según Pereyra (2018), las deficiencias observadas en los pavimentos, tanto recién construidos o activos, podrían derivarse de la falta de cumplimiento de normativas de preservación o errores durante su construcción, donde no se aplicaron los controles necesarios. Estos factores pueden ocasionar deformaciones en la superficie del pavimento.

Hay 10 posibles causas que pueden generar rugosidad durante la edificación de una vía:

- a. Compresión desigual o detención prolongada del rodillo sobre el pavimento caliente, lo cual puede ocasionar impresiones visibles.
- b. Conmutaciones en la zona base o en la capa asfáltica: Cambios en el grosor de la capa donde estará la nueva capa de desgaste puede provocar que las partes más gruesas se compacten más que las delgadas, creando irregularidades. Esto se puede corregir aplicando un estrato nivelador o realizando un fresado previamente.
- c. Distribución excesiva del material: Es crucial calibrar la regla de la pavimentadora para reducir al mínimo el efecto de rastrillado. Si se necesita rastrillar, debe hacerse de manera adecuada y sin excesos.
- d. Interrupciones y reanudaciones recurrentes de la pavimentadora: La solución implica verificar la nivelación de la capa antes y después de la compactación, especialmente cuando no es posible evitar interrupciones.
- e. Juntas de construcción que tienen una mala calidad: Después de la construcción se revisa con una regla y se corrige con el material aun caliente.
- f. Mezcla no uniforme: Esto puede llevar a diferencias de compactación y, por ende, a rugosidad.

- g. No realizar una verificación meticulosa de la nivelación de la superficie: No verificar la superficie mientras está caliente puede impedir realizar correcciones a tiempo.
- h. Operaciones incorrectas de camiones: Frenos bruscos o choques contra la pavimentadora pueden causar deformaciones.
- i. Optimización de los parámetros de ajuste en el dispositivo de control de la pavimentadora: Cambios constantes pueden generar inconsistencias en la superficie.
- j. Temperatura del material no uniforme: Las cargas frías no se compactarán igual que las calientes. Se puede prevenir comprobando la temperatura antes de vaciar el material.

Estas causas sugieren que el control y la atención a los detalles son cruciales para prevenir la rugosidad durante la construcción de una vía.

2.2.3. Relevancia de la textura en la superficie de rodadura

Según Jiménez et al. (2022), la relevancia de la textura en la capa asfáltica para el tránsito vehicular se evidencia principalmente en tres facetas:

- a. Costos de operación vehicular: La rugosidad de la calzada puede aumentar los costos de funcionamiento de los vehículos. En superficies muy irregulares, tenemos una disminución grande sobre la velocidad de conducción.
- b. Efectos dinámicos: Las dificultades sobre la vía atribuidas a la rugosidad pueden impactar tanto los vehículos como la integridad estructural del pavimento, generando tensiones y deformaciones. Esto puede aumentar los costos asociados con el mantenimiento, la reparación o la reconstrucción de las carreteras.
- c. Seguridad y comodidad: Una superficie irregular puede afectar la seguridad y la comodidad del conductor. Por lo tanto, es crucial crear condiciones que aseguren un tránsito seguro y confortable, minimizando riesgos para los conductores y pasajeros.

Estos aspectos subrayan la necesidad de mantener pavimentos en buenas condiciones para evitar consecuencias negativas para la seguridad, la economía y el mantenimiento vial.

2.2.4. Pavimento

El Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) define el pavimento como una distribución compuesta por múltiples capas montadas sobre la

base de una carretera. Su objetivo es soportar y distribuir las fuerzas generadas por los vehículos, además de ofrecer seguridad y comodidad al tráfico. El pavimento se compone habitualmente de tres capas principales:

- a. Base: Situado debajo del estrato superficial, este estrato es responsable de soportar, distribuir y transferir las cargas generadas por el tráfico.
- b. Capa de Rodadura: Fracción superficial del pavimento, compuesto de asfalto, concreto o adoquines, y es directamente impactado por el tráfico vehicular.
- c. Subbase: Ubicado debajo del estrato intermedio, sirve como base de apoyo para el estrato intermedio y el estrato superficial. Asimismo, actúa como manto de drenaje y regula la ascensión de agua por capilaridad. Dependiendo del bosquejo de la carretera, esta capa puede ser prescindible.

Estos estratos colaboran para asegurar la longevidad y la robustez del pavimento, ofreciendo una superficie segura y confortable para la circulación vehicular.

Existen diferentes tipologías de pavimentos, las cuales se describen a continuación:

- a. Pavimentos Flexibles: Se componen de múltiples estratos granulares (como base y subbase), además de una capa superficial compuesta por material asfáltico, áridos y ocasionalmente aditivos.
- b. Pavimentos Semirrígidos: Consisten en una estratificación compuesta por una capa asfáltica con un grosor total de asfalto, dispuesta sobre una subbase estabilizada con cal o cemento.
- c. Pavimentos Rígidos: consiste en una subbase granular y una capa compuesta por conglomerantes, rellenos y, en algunos casos, aditivos. Los pavimentos rígidos generalmente se dividen en tres clases:
 - Pavimento de concreto sin adiciones, con juntas.
 - Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero, ya sea en forma de fibras o mallas.
 - Pavimento de concreto con refuerzo ininterrumpido

Estas categorías de pavimentos se seleccionan según las exigencias particulares del proyecto, tomando en cuenta aspectos como la longevidad, el presupuesto y el volumen de tráfico.

2.2.5. Aplicación de teléfonos inteligentes

Según investigaciones por Global Web Index en el año 2018, aproximadamente la mitad de los jóvenes utilizan entre el 90 % y el 100 % de su tiempo navegando en sus dispositivos móviles, lo que ha llevado a clasificarlos como usuarios "mobile first".

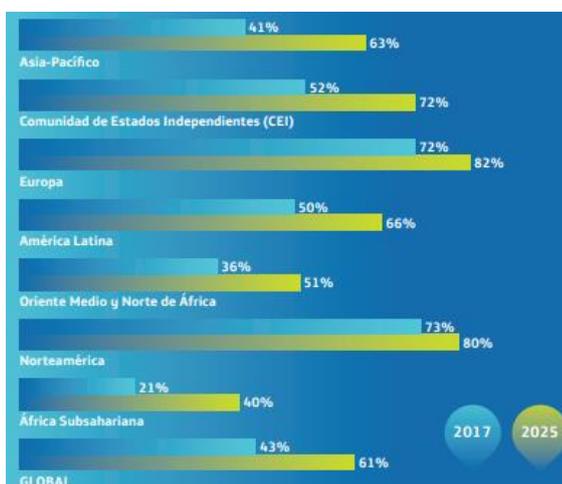
Hoy en día, la incorporación de smartphones y aplicaciones móviles en nuestras actividades cotidianas ofrece un gran potencial. Esto significa que cada vez más utilizamos nuestros teléfonos inteligentes para llevar a cabo tareas, comunicarnos o entretenernos, lo que puede resultar en una mejor gestión del tiempo si se planifica adecuadamente.

De acuerdo con Telefónica (2019), se anticipa que para el año 2025, aproximadamente el 60 % de la población mundial estará conectada a Internet a través de dispositivos móviles. En Europa y Norteamérica, esta proporción será aún mayor, con estimaciones que sugieren que el 82 % y el 80 % de los usuarios.

La figura 10 muestra el porcentaje de usuarios que accedieron a Internet desde dispositivos móviles en distintas regiones durante en 2021.

Figura 7

Proporción de la población que accede a Internet



Nota. Se puede apreciar en porcentajes la cantidad de población que hace uso y/o se conecta a internet, la línea azul al 2017 y la línea verde la proyección al 2025. Obtenido de GSMA (2018)

En la actualidad, las aplicaciones móviles son esenciales en nuestra vida cotidiana, permitiéndonos acceder a una gran variedad de servicios y actividades.

Utilizamos aplicaciones móviles para conectarnos a redes sociales, jugar, comprar en línea, realizar trámites bancarios, realizar cálculos estadísticos, estimar materiales de construcción, evaluar la rugosidad del pavimento, y muchas otras tareas que se simplifican gracias a estas herramientas, telefónica (2019).

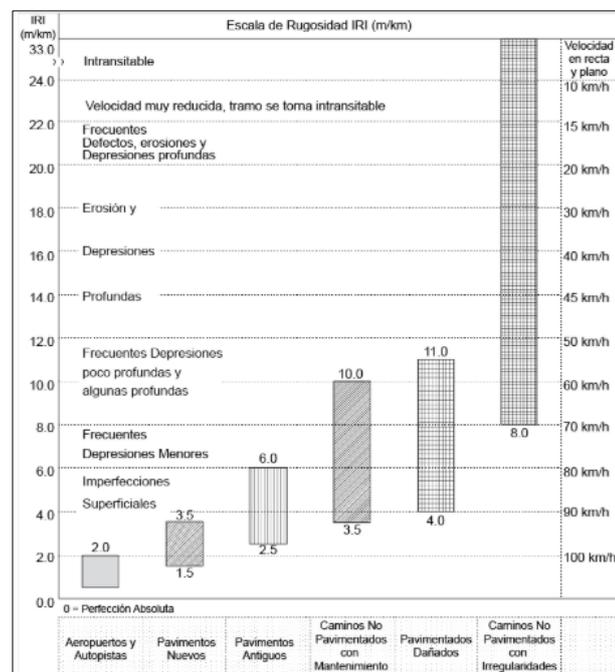
2.2.6. International roughness index (IRI)

Para la norma ASTM E 867-06, " Terminología estándar relacionada con los sistemas de pavimento para vehículos ", la expresión "rugosidad" se precisa como la inclinación respecto a una superficie plana ideal.

Sayers et al. (1998) exteriorizan que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) viene siendo métrica empleada al evaluar la textura de la superficie pavimentada. Esta técnica fue desarrollada por el Banco Mundial, los valores del IRI, expresados en metros por kilómetro (m/km), proporcionan una medida objetiva de la suavidad o irregularidad del pavimento, donde esta unidad representa la cantidad de variación vertical de la superficie del pavimento (en metros) a lo largo de una distancia de un kilómetro. En la Figura 11 vemos los valores típicos y esperados del IRI para tipos de pavimentos.

Figura 8

Escalas de IRI para variedad de pavimentos



Nota. Obtenido del Manual de Carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos (2014)

2.2.7. Determinación de la calidad de servicio a través del IRI

La evaluación del PSI se lleva a cabo en una escala del 0 al 5, donde un puntaje de 0 indica un estado muy deficiente del pavimento, mientras que un puntaje de 5 señala condiciones excelentes según Cedeño (2014).

Utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3 convertimos los valores IRI a PSI.

Ecuación 1 Fórmula para determinar el PSI según William Paterson (1987)

$$PSI = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5,5}}} \quad (1)$$

Ecuación 2 Fórmula para determinar el PSI según D. Dujisin y A. Arroyo (1995)

$$PSI = 5,85 - 1,68(IRI)^{0,5} \quad (2)$$

Ecuación 3 Fórmula para determinar el PSI según William Paterson (1987)

$$PSI = 4,182 - 0,455(IRI) \quad (3)$$

Donde:

PSI= índice de serviciabilidad del pavimento

IRI= índice de rugosidad del pavimento

e= 2,718281828 (base de logaritmos neperianos)

Fórmulas usadas principalmente en el contexto de investigaciones académicas y estudios sobre pavimentos, particularmente en la evaluación del estado de los pavimentos y su relación con la calidad de la transitabilidad.

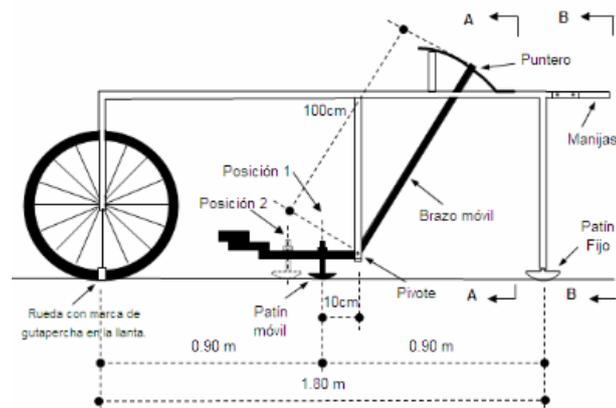
2.2.8. Cálculo de IRI con el Rugosímetro de Merlín

El rugosímetro Merlín, introducido en Perú en 1993, este método se consolidó en junio de 1999 como una herramienta empleada para valorar la aspereza de los pavimentos. Su diseño versátil y portable hacen que este equipo sea fácil de operar y adecuado para evaluar la regularidad de la superficie. Permitiendo obtener la rugosidad de un pavimento con un método de clase 1, lo que significa que proporciona mediciones precisas y fiables de la irregularidad en la superficie de la carretera.

Según Del Águila Rodríguez (1999) el dispositivo Merlín presenta un diseño directo, ilustrado en la Figura 12. Contando con marco horizontal y vertical, junto con el brazo móvil que gira sobre un patín móvil. Su funcionamiento es sencillo, desplazándose mediante una rueda delantera, mientras que en la parte trasera para asegurar estabilidad sobre el suelo tiene dos soportes inclinados a sus lados.

Figura 9

Rugosímetro de Merlín



Nota. Diagrama del instrumento Merlín, identificación de componentes y dimensiones del dispositivo. Extraído de: Metodología para medir la rugosidad de los pavimentos utilizando un equipo de alta precisión y bajo costo (1999).

Al iniciar el procedimiento de medición, es crucial identificar y marcar claramente el tramo seleccionado para la evaluación. Este tramo debe estar dentro del área designada para el estudio. Se requiere que tenga una longitud específica de 430 metros, cumpliendo así con el requisito de distancia necesario para la medición con el rugosímetro Merlín.

El proceso de medida usando el rugosímetro “merlín” se lleva a cabo manteniendo una velocidad constante de alrededor de 2 km/h. Se sigue un trayecto previamente demarcado en el pavimento, recolectando datos a medida que se completan vueltas con la rueda. En cada vuelta, se registra una observación según el lugar donde se encuentre ubicado el indicador del dispositivo, repitiendo este procedimiento hasta completar 200 observaciones. En cada medición, el rugosímetro se posiciona sobre tres puntos fijos e invariables para asegurar estabilidad y precisión: la rueda delantera, el soporte posterior inmóvil y el dispositivo de estabilización durante la prueba.

Para registrar los desplazamientos del puntero del rugosímetro MERLIN, se hace uso de la gráfica métrica integrada en el aparato que tiene 50 particiones que se

diferencian por 5 mm de espesor. Esto simplifica la captura de los datos, la recolección de información se lleva a cabo mediante una hoja de cálculo de 20 filas y 10 columnas.

2.2.9. Longevidad del pavimento

Según Murga et. al. (2023), la vida operacional del pavimento es el período en el que puede desempeñar eficazmente su función sin requerir intervenciones extensas de rehabilitación o reconstrucción. Abarcando las fases del ciclo de vida de un pavimento:

- a. Construcción: La ejecución de la etapa anterior, asegurando que las especificaciones sean cumplidas junto con los estándares de calidad.
- b. Diseño: Esta etapa implica elegir los materiales y que método de construcción serán adecuados para donde se realizara la carretera.
- c. Envejecimiento: Con el tiempo, el pavimento se deteriora debido a la fatiga del tráfico, las condiciones climáticas y otros factores.
- d. Rehabilitación: Esta etapa implica la reparación o reemplazo de partes del pavimento para restaurar su funcionalidad.
- e. Uso: Esta etapa es cuando el pavimento está sujeto al tráfico y las condiciones climáticas.

2.2.10. Fallas del pavimento

Según manual del MTC de Conservación y mantenimiento vial (2018), divide los fallos en dos categorías principales: fallos de tipo estructural y fallos de tipo superficial. Los fallos de tipo estructural suelen requerir costosas obras de rehabilitación, mientras que los fallos de tipo superficial generalmente se abordan con mantenimiento periódico, como tratamientos superficiales.

a. Tipos y causas en los daños estructurales

Las cargas en movimiento típicamente conducen a: Al sobrepasar el límite permisible de las imperfecciones elásticas verticales, pueden ocasionarse imperfecciones indelebles en el pavimento, como hundimientos o depresiones extensas.

Las deformaciones elásticas horizontales por tensión de flexión en las capas inferiores del asfalto, si superan el límite permitido, provocan fisuras en la base de estas capas, las cuales prontamente trascienden hacia la superficie, generando grietas longitudinales debido al tráfico.

b. Tipos y causas en los daños superficiales

Los daños superficiales generalmente se deben a defectos de construcción, problemas en la calidad de los materiales o condiciones locales específicas culpa del tráfico. Pueden surgir también como consecuencia del no tratamiento de daños o por tener fallas estructurales.

Para entender las causas del deterioro en la Avenida Collpa, es importante clasificar las fallas del pavimento identificadas durante el análisis. Estas fallas afectan directamente la rugosidad y, por ende, la transitabilidad de la vía. En la Tabla 1 se muestran las principales fallas del pavimento clasificados en estructurales y superficiales.

Tabla 1

Fallas del Pavimento

Clasificación	Falla	Descripción	Causas
Fallas Estructurales	Piel de cocodrilo	Fisuras irregulares por clima y tráfico, causando pérdida de material.	El fenómeno de fatiga en capas asfálticas ocurre por la repetición de cargas que exceden lo permitido.
	Fisuras longitudinales	Fisuras empiezan pequeñas y se ramifican por el tráfico.	El fenómeno de fatiga en capas asfálticas es causado por la repetición de cargas superiores a lo permitido.
	Ahuellamiento	Ahuellamiento causado por inestabilidad viscoelástica bajo tráfico pesado.	<ul style="list-style-type: none"> Desajuste entre tipo de asfalto y temperatura de la carpeta asfáltica. Desajuste en gradación de agregados y temperatura de la carpeta asfáltica.
	Reparaciones o parchados	Reparaciones del pavimento buscan mitigar defectos; frecuencia y extensión clave en diagnóstico de problemas recurrentes.	Las reparaciones indican insuficiencia estructural del pavimento o fallas superficiales y no requieren medidas correctivas adicionales.
Fallas superficiales	Peladura y Desprendimiento	La desintegración superficial del asfalto ocurre por pérdida de ligante o agregado (peladura).	<ul style="list-style-type: none"> Falla de adherencia del asfalto o dosificación. Asfalto y agregados defectuosos.
	Baches (Huecos)	Los baches son resultado del desgaste de la capa de rodadura.	<ul style="list-style-type: none"> Desprendimiento Fisuración de fatiga.
	Fisuras transversales	Son fracturas del pavimento, casi al eje de la vía.	Pérdida de flexibilidad debido al exceso de filler o asfalto maltratado. Grietas y apertura de juntas erradas.

Nota. Obtenido del Manual de Mantenimiento y Conservación Vial (2018).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Abakal Iri

La aplicación móvil simplifica la determinación del IRI mediante el uso de los acelerómetros junto con el sistema GPS de los teléfonos que operan solo con Android. Además de realizar los cálculos, la aplicación genera gráficas e informes detallados. Genera gráficos e informes de la valía del IRI en repeticiones de 100 metros y también permite su calibración. (2023)

2.3.2. Totalpave

Gondim (2019) indica que la aplicación móvil ha sido diseñada para su uso en smartphones inteligentes con el propósito de medir con precisión y de manera económica la rugosidad de un pavimento.

Según Tamrakar et al. (2022) el sistema Totalpave utiliza diferentes modelos de teléfonos inteligentes y vehículos para ajustarse y verificar comparado con un perfilador estándar. La recolección de datos se automatiza completamente, solo necesitando al celular ser colocado correctamente en el vehículo. La aplicación permite alinear el teléfono verticalmente para detectar movimientos con precisión en las direcciones x, y, z. Los datos se recopilan a velocidades superiores a 20 km/h, con información de GPS para ubicación precisa.

2.3.3. Rugosímetro de Merlín

El Manual del Usuario Merliner nos dice que el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) fue el encargado de crear el rugosímetro Merlín, utilizando el principio del perfilómetro estático, con la finalidad de desarrollar un equipo económico, fácil de utilizar para que dé a los usuarios resultados confiables. Aunque ofrece resultados altamente precisos, solo superados por el método topográfico. (1993)

2.3.4. Serviciabilidad

Según el MTC (2019) Es la habilidad del pavimento para soportar el tráfico, tanto de automóviles como de camiones, que se evalúa del 0 al 5 en donde el 0 nos dice que es un pavimento intransitable y el 5 que es un pavimento excelente.

Ashlock et al. (2020) indica que la serviciabilidad de cualquier red de carreteras está directamente influenciada por la presencia de deterioros y la rugosidad de la superficie. Los tipos más comunes de deterioro del pavimento son grietas en diferentes formas, como lo describen Miller y Bellinger.

2.3.5. Índice de serviciabilidad

Según Al-Haddad et al. (2018) la capacidad de servicio del pavimento juega un papel vital en la gestión del mantenimiento sobre el pavimento porque viene siendo una función de su capacidad relativa para atender el tráfico de manera segura y efectiva durante un período de tiempo. Por lo general, es desde el punto de vista de los conductores o pasajeros, o los administradores de infraestructura desde la vista tecnológica de desempeño estructural y funcional.

El Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) es un indicador fundamental para evaluar la condición de una vía y su capacidad para ofrecer una experiencia de conducción segura y cómoda. Este índice permite clasificar el estado del pavimento desde 'intransitable' hasta 'excelente', lo cual es clave para determinar la transitabilidad de la Avenida Collpa. En la Tabla 2 se presenta la escala del PSI según la Norma Técnica CE.010 de pavimentos urbanos.

Tabla 2
Escala de Índice de Serviciabilidad según el ICG

PSI	Calificación
0,0	Intransitable
0,1 – 1,0	Muy Malo
1,1 – 2,0	Malo
2,1 – 3,0	Regular
3,1 – 4,0	Bueno
4,1 – 4,9	Muy bueno
5,0	Excelente

Nota. Obtenido de Norma Técnica CE.010 pavimentos urbanos (2010).

El Manual de Carreteras del MTC proporciona una escala de Índice de Serviciabilidad específica para evaluar la calidad del pavimento en carreteras, permitiendo clasificar el estado del pavimento en categorías que van desde 'pésima' hasta 'muy buena'. Esta clasificación es fundamental para el diagnóstico del estado de la Avenida Collpa y para la planificación de las intervenciones necesarias. En la Tabla 3 se presenta la escala del Índice de Serviciabilidad del MTC, la cual será utilizada como referencia en el análisis del tramo estudiado.

Tabla 3
Escala Índice de Serviciabilidad del
Manual de Carreteras del MTC

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

Nota. Obtenido de Manual de Carreteras sección suelos y pavimentos (2014)

2.3.6. Estado de la transitabilidad

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016) define el estado de la transitabilidad se refiere a las condiciones en las que se encuentra una vía o carretera, lo cual determina si es posible o seguro transitar por ella. Esto implica evaluar una serie de factores, como el estado del pavimento, la presencia de obstáculos, las condiciones climáticas, entre otros.

Para evaluar la transitabilidad de la Avenida Collpa, es necesario clasificar las condiciones de la vía en función de su estado actual. Esta clasificación permite identificar los niveles de deterioro de la carretera y definir las intervenciones necesarias para su mantenimiento. En la Tabla 4 se presentan los estados de transitabilidad, codificados según su nivel de daño, desde 'buena' hasta 'mala', junto con una descripción detallada de las características que presenta cada estado.

Tabla 4
Estados de Transitabilidad

Estado	Código	Descripción
Buena	B	No se detectan daños significativos; en carreteras sin pavimentar, el deterioro no tiene que exceder el 10 %, manifestándose en pequeñas deformaciones superficiales.
Regular	R	Daños leves a moderados, sin interrupción significativa del tráfico, abarcando entre el 10 % y el 30 % de la carretera con desgaste superficial y deformaciones de 5 a 10 cm. Baches pueden repararse con capa adicional; falta señalización.

		Drenaje puede estar limpio o parcialmente obstruido; obras de arte en buen a regular estado.
Mala	M	Camino severamente deteriorado, solo para camiones y vehículos de tracción doble. Daños en pavimento superan el 30 %, con hendiduras, hundimientos y baches profundos. Falta de señalización evidente; cunetas y alcantarillas parcial o completamente obstruidas.

2.3.7. Longevidad del pavimento

Según Thenoux (2020) la longevidad de un pavimento depende de los cuidados y controles durante su construcción y vida útil. Las obras de pavimentación se diseñan con una vida útil específica, influenciada por la calidad del proyecto, construcción, y mantenimiento, así como factores como tráfico, clima y drenaje. El deterioro puede multiplicarse rápidamente una vez que comienzan las fallas, lo que lleva a una reducción rápida y significativa en la funcionalidad del pavimento.

2.3.8. Estado de la capa de rodadura

Según VISE (2023), dice que la condición en la que se encuentra la parte superior de la superficie de una carretera o pavimento es el estado de la capa de rodadura.

Scullion et al. (1990) en su investigación nos dice que la información sobre el estado del pavimento se recopila periódicamente para monitorear el deterioro de la carretera y utilizarla en la programación del mantenimiento y rehabilitación del pavimento. En los términos más generales, una clasificación subjetiva de una condición como buena/regular/mala se entiende fácilmente y, de hecho, se ha utilizado ampliamente ya sea en forma de puntuación cuantitativa o cualitativa.

2.3.9. Rugosidad

MTC (2019) nos dice que se refiere por rugosidad a la discrepancia de una superficie específica con respecto a una superficie idealmente plana, sus extensiones impactan en el vehículo junto con las características de dirección, cargas dinámicas y perfiles tanto longitudinal o transversal.

Schlotjes et al. (2000) dice que la rugosidad se define como la respuesta de un vehículo a desviarse de los perfiles longitudinales en la carretera y que debido a eso va afectando a la conducción. Esto siendo diferente de la macro o micro textura, que se

definen como las ondulaciones resultantes de los huecos entre las virutas y las cavidades de los agregados, respectivamente.

2.3.10. Calzada

El MTC (2019) dice que es una zona destinada a la circulación de vehículos.

Según Scullion et al. (1990) es una carretera con perfiles de ingeniería revestidos con material manufacturado, ligado con aglutinante bituminoso, cementoso o similar, y que posee una durabilidad significativa bajo exposición prolongada al medio ambiente, obstinación a la tracción significativa y obstinación al desgaste y desproporción bajo el uso del tráfico vehicular.

2.3.11. Tránsito

El MTC (2019) nos señala que tránsito viene a ser el conjunto de movimientos y desplazamientos de personas o vehículos a través de vías públicas.

2.3.12. Transitabilidad

El MTC (2016) nos menciona que transitabilidad hace referencia a como un vehículo tiene la capacidad de transitar de forma de ininterrumpida en un lugar o trayecto.

2.3.13. Conservación Vial

Baque et al. (2020) señalan que la conservación vial implica mantener las carreteras para una circulación segura y cómoda, minimizando costos.

2.3.14. Base del Pavimento

El MTC (2019) nos define la base de un pavimento como una capa de material seleccionado que se encuentra por encima de una subbase y bajo la superficie de rodadura en la composición de un pavimento.

Hinostroza (2018) indica que, en un pavimento flexible, la capa intermedia tiene principalmente un propósito económico. Se busca lograr el grosor necesario con el material más económico disponible, a menudo una capa más delgada con un material de subbase de menor calidad.

2.3.15. Muestreo

Kabiru (2017) explica que el muestreo probabilístico, afirma como cada elemento del conjunto conlleva la oportunidad de ser seleccionado para ser parte de la muestra. Por ejemplo, en un sorteo donde se seleccionan unidades del grupo, mediante un proceso

específico fortuito. Los tipos de muestreo probabilístico incluyen el muestreo aleatorio sistemático, estratificado, por conglomerados, multietapa y por área.

2.3.16. Capa De Rodadura

Según Limonchi et al. (2015), menciona que la capa de rodadura es cuando la capa con la mezcla asfáltica entra en contacto directo con los neumáticos y que esta misma busca asegurar la comodidad y seguridad en la conducción. Se utilizan varias mezclas asfálticas para esta capa, dependiendo del entorno ambiental o climático en la que queramos colocarla.

Hinostroza (2018) nos dice que esta capa tiene que ofrecer una superficie adecuada, que tenga adecuados colores y buena textura, para que de esta manera resista los efectos provocados por el tráfico. También actúa como obstáculo impidiendo la infiltración del agua hacia estratos más profundos.

2.3.17. Provias Nacional

Según Plataforma digital única del Estado Peruano (2024), El Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional - PROVÍAS NACIONAL (PVN), una Unidad Ejecutora del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), fue establecido por el Decreto Supremo N° 033-2002-MTC, publicado el 12 de julio de 2002. Se encarga de todos los aspectos relacionados o vinculados a la Red Vial nacional, es decir a las carreteras principales del país.

2.3.18. Asfalto

Hinostroza (2018) destaca desafíos en pavimentos asfálticos: resistencia a fatiga y deformación permanente por dosificación incorrecta de ligante-agregado, interacciones entre ellos, métodos de colocación, mezclado, compactación y temperatura. Además, desempeño, durabilidad y resistencia de mezcla asfáltica dependen de propiedades del ligante y agregado, su interacción, y procesos de producción, colocación y compactación.

2.3.19. Temperatura de exposición

La temperatura de exposición se refiere a la temperatura ambiente a la que se somete un material o producto durante su almacenamiento, transporte o uso. Afecta directamente la rigidez de los pavimentos flexibles debido a las propiedades termoplásticas del asfalto. A mayor temperatura, las capas asfálticas se vuelven menos rígidas; a menor temperatura, más rígidas. Este efecto es más pronunciado en las capas de rodadura, donde las tensiones térmicas se combinan con las del tráfico, afectando la durabilidad del pavimento. (2012)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de Investigación

Se empleó una metodología de investigación "No experimental", el cual se caracteriza por observar fenómenos en un entorno natural seguido de un análisis. Se trata de un estudio de tipo básico, donde se recopilan datos a partir de hechos para obtener resultados posteriormente.

3.2. Acciones y actividades

El trabajo planificado tiene un periodo mínimo de desarrollo de 4 meses desde su presentación, y consiste en:

Recopilación de información:

- a. Determinación del Problema
- b. Identificación de materiales y/o instrumentos
- c. Registro del proyecto y desarrollo del esquema de la tesis.

Investigación in situ:

- a. Uso aplicativo Abakal Iri
 - Instala la aplicación Abakal Iri en tu teléfono móvil y asegúrate de que las funciones de GPS estén activadas.
 - Preparar el sujetador del celular en el vehículo, se coloca el celular y pulsamos "Iniciar".
 - Cuando se encuentre el vehículo listo, se pulsa "Conteo". Lo único que se puede cambiar es el tipo de cálculo que se emplea teniendo cálculo estadístico y cálculo de máximos, como coeficiente de ajuste por defecto 2 y 4, respectivamente.
 - Cuando termina el recorrido, pulsamos en "Parar" y luego "Detener", para luego descargar los datos con "Guardar".
 - La velocidad que se tiene que seguir debe variar entre 60 a 80 km/h, se tiene un velocímetro en la misma aplicación que ayuda visualmente.
 - Los coeficientes de ajustes se cambian automáticamente dependiendo que método se utilice para el ensayo.
- b. Uso aplicativo Totalpave
 - Descargar Totalpave Iri en Play Store.
 - Colocar el dispositivo móvil en la parte delantera del auto con ayuda de un soporte.

- Iniciar sesión ingresando correo institucional.
 - En la pantalla principal presionar "start data collection" para el inicio de recopilación de datos.
 - Asegurarnos de mantener una velocidad operativa de entre 20 y 90 km/h.
 - Después de cargar los registros en la plataforma Total Pave, la aplicación realiza automáticamente el cálculo predeterminado del IRI cada 100 metros.
 - Después de cargar los datos, el sistema es encargado de desplegar todos los datos en el portal web.
- c. Uso del método convencional rugosímetro de merlín
- Se requiere la presencia de dos personas para llevar a cabo los ensayos, donde una persona se encarga de operar el equipo y tomar las lecturas, mientras que la otra persona registra dichas lecturas.
 - Se deben llevar a cabo 200 lecturas en el tramo seleccionado. El patín cambiante del equipo detecta estas anomalías y establece su relación con la ubicación del puntero, dando como resultado las lecturas requeridas.
 - La recopilación de sus datos se da deteniendo el equipo aproximadamente cada 2 metros.
 - En cada dato que se observe, el equipo tiene que ser colocado en sus tres puntos inamovibles.

Trabajo de Gabinete:

- Recolección de datos de los aplicativos para teléfonos inteligentes, haciendo uso de hojas de Excel.
- Recepción de datos del rugosímetro de merlín, haciendo uso de hojas de Excel.
- Redacción de Informe y anotaciones de campo.
- Análisis del IRI en base a los aplicativos y validación de estos mediante los resultados obtenidos del rugosímetro de merlín.

3.3. Materiales y/o instrumentos

3.3.1. Instrumentos

- Teléfono inteligente
Samsung Galaxy A70 (Gama Media), para la recolección de datos en campo, se utilizó el dispositivo Samsung Galaxy A70, el cual cuenta con la capacidad de capturar imágenes y utilizar aplicaciones especializadas en el registro de datos. Este dispositivo fue clave para documentar el estado de la Avenida Collpa y realizar Las mediciones correspondientes de forma precisa. En la Figura 13 se muestra el modelo del dispositivo utilizado durante el estudio.

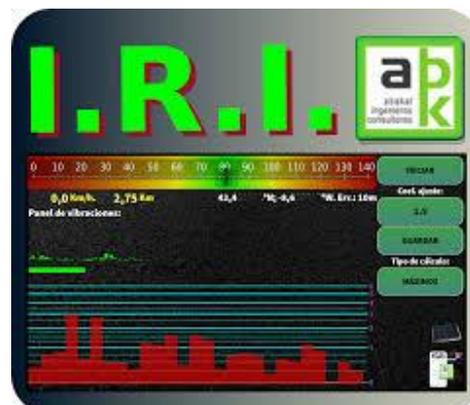
Figura 10*Samsung Galaxy A70*

Fuente: Google Imágenes

Teniendo las siguientes especificaciones técnicas: Pantalla (Super AMOLED 6.7"), Dimensiones (164.3 x 76.7 x 7.9 mm), Cámara de antemano (32 MP), Cámara de retaguardia (Principal de 32 MP, Gran angular de 8MP), Sistema de gestión (Android 9 Pie con One UI), Acumulador eléctrico (4.500 mAh).

- **Aplicativo ABAKAL IRI**

Para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el tramo estudiado de la Avenida Collpa, se utilizó el aplicativo Abakal IRI, que permite obtener datos precisos sobre el estado del pavimento. Este aplicativo facilita el análisis del comportamiento del pavimento bajo diferentes condiciones. de tráfico y desgaste. En la Figura 14 se presenta el logotipo del aplicativo Abakal IRI, utilizado para la recolección de datos durante el estudio.

Figura 11*Logo Aplicativo Abakal Iri*

- **Aplicativo TOTALPAVE**

Además del aplicativo Abakal Iri, también se utilizó la herramienta Totalpave Iri para medir el Índice de Rugosidad Internacional (Iri) en la Avenida Collpa. Esta aplicación proporciona datos confiables sobre la calidad de la superficie del pavimento, permitiendo realizar comparaciones con otras mediciones y optimizar el análisis de la transitabilidad. En la Figura 15 se muestra el logotipo del aplicativo Totalpave Iri, utilizado en el proceso de evaluación del pavimento.

Figura 12

Logo Totalpave IRI



- **Rugosímetro de Merlín**

El equipo rugosímetro de merlín usado para el ensayo tiene las siguientes características: Proporción de la palanca (1:10), Dimensión del brazo en movimiento (1000 mm), Material (Acero), Fabricación (Técnicas CP S.A.C.), Alquilado (Universidad Privada de Tacna).

Para complementar las mediciones de rugosidad en la Avenida Collpa, se utilizó el equipo Merlín, una herramienta manual utilizada en estudios de pavimentos para determinar de manera sencilla y eficiente las irregularidades superficiales del pavimento. Este equipo fue proporcionado por el laboratorio de suelos de la UPT y desempeñó un papel clave en la validación de los resultados obtenidos con los aplicativos digitales. En la Figura 16 se observa el equipo Merlín utilizado durante las inspecciones de campo.

Figura 13*Equipo Merlín*

Nota. Equipo de laboratorio de suelos de la UPT

- Camioneta RAIZE
 Longitud (mm.): 4,030
 Ancho (mm.): 1,710
 Alto (mm.): 1,605
 Peso bruto (Kg.): 1,680
 Peso neto (Kg.): 1,000
 Presión de llantas: 31 PSI

Para realizar las mediciones de rugosidad en el tramo de la Avenida Collpa, se utilizó una camioneta Toyota Raize. Este vehículo permitió llevar a cabo los ensayos en movimiento con los aplicativos Abakal Iri y Totalpave Iri. La camioneta fue seleccionada por su capacidad de transitar de manera eficiente en las condiciones del pavimento estudiado, garantizando la confiabilidad de los datos obtenidos. En la Figura 17 se muestra la camioneta Toyota Raize utilizada para los ensayos de campo.

Figura 14*Camioneta RAIZE usada para el ensayo*

Nota. Camioneta Toyota Raize.

Con el Abakal Iri, se recomienda utilizar vehículos que cumplan con ciertas características para asegurar los resultados. Los vehículos recomendados tienen que tener las siguientes características:

- Vehículos Ligeros o SUV de Tamaño Mediano
- Suspensión Estable
- Peso y Capacidad de Carga
- Distribución de Peso
- Condiciones de Mantenimiento

La Toyota Raize es una SUV compacta y funciona para hacer uso del Abakal Iri.

Con el Totalpave IRI, es importante seleccionar un vehículo que sea compatible y capaz de proporcionar datos precisos y fiables. Generalmente, se recomiendan vehículos que cumplan con las siguientes características:

- Pickup Trucks o SUV de Tamaño Mediano
- Vehículos con Suspensión Estable.
- Vehículos con Adecuada Capacidad de Carga.
- Distribución Uniforme del Peso.
- Bien Mantenidos.

La Toyota Raize es una SUV compacta y podría ser considerada para el uso del Totalpave IRI.

3.3.2. Materiales

- Hoja de registro de datos (Formatos de registro).
- Plano de ubicación.
- chaleco reflectante de seguridad.
- Conos de seguridad vial.
- Hojas de cálculo Excel

3.4. Población y/o muestra de estudio

3.4.1. Población

La población de estudio de la presente investigación es la Av. Collpa del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa en la ciudad de Tacna. La Avenida Collpa forma parte de la Carretera PE-40, que es una vía nacional que conecta diversas localidades en el sur de Perú, incluyendo Tacna. La PE-40 se extiende hacia la frontera con Bolivia y es crucial para el comercio y el transporte.

3.4.2. Muestra

La muestra seleccionada para el presente estudio comprende desde el Óvalo Cusco hasta el Óvalo Tarapacá. Esta vía consta de dos carriles, uno en cada dirección y tiene un ancho total de 7,10 metros, con una longitud total de 2,2 kilómetros por carril lo que resulta en una extensión total a analizar de 4,4 kilómetros. Este tramo no solo es una arteria clave que conecta diversas áreas urbanas y rurales, facilitando el transporte de mercancías y la movilidad de los residentes, sino que también presenta un estado observable con fallas en el pavimento, que pueden comprometer la seguridad y el confort de los usuarios. Las irregularidades en la superficie, afectan la fluidez del tráfico y aumentan el riesgo de accidentes, lo que hace imperativo realizar un análisis para identificar las necesidades de mantenimiento y mejora.

3.5. Operacionalización de variables

3.5.1. Identificación y/o caracterización de las variables

Para medir la variable independiente del estudio, que es el nivel de rugosidad de la Avenida Collpa, se requiere operacionalizar esta variable de forma clara. Esto implica definir su designación, la descripción operativa, sus dimensiones y los indicadores utilizados para cuantificarla. En la Tabla 5 se presenta la operacionalización de la variable independiente, donde se destacan los resultados obtenidos con los aplicativos IRI y otros factores relacionados con el estado de la capa de rodadura.

Tabla 5

Operacionalización de la Variable Independiente

Variable	Designación de la variable	Descripción operativa	Dimensión	Indicadores
Variable independiente	Nivel de rugosidad	Se refiere a la forma específica en que se mide o cuantifica la rugosidad de una superficie.	Estado de la capa de rodadura	Resultados de los aplicativos (IRI) IRI Calculado Longevidad del pavimento Fallas del pavimento Temperatura de exposición

La variable dependiente de este estudio es la transitabilidad de la Avenida Collpa, la cual se mide en función de la capacidad de la vía para ser utilizada de manera segura y efectiva por los usuarios. Esta variable depende de diversos factores, como el estado de la capa de rodadura y las condiciones del tránsito vehicular. En la Tabla 6 se presenta la operacionalización de la variable dependiente, incluyendo sus dimensiones y los indicadores utilizados para su evaluación.

Tabla 6

Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable	Designación de la variable	Descripción operativa	Dimensión	Indicadores
Variable dependiente	Transitabilidad	Indica cómo se evalúa o mide específicamente la capacidad de una carretera o ruta para ser utilizada de manera segura y efectiva.	Estado de la capa de rodadura	Muy Malo, Malo, Regular, Buena, Muy Buena.
				Tránsito (autos y camiones)
				Serviciabilidad

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Con las aplicaciones mencionadas anteriormente, recopilamos los datos que luego juntaremos utilizando hojas de cálculo.

3.6.1. Procedimiento del ensayo ABAKAL IRI

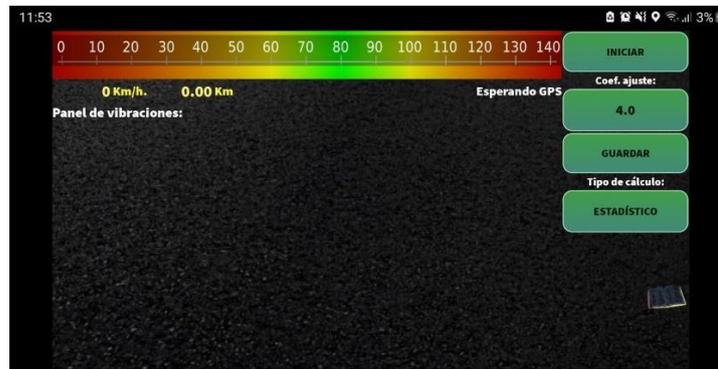
En 2004, Abakal Ingenieros Consultores crearon la aplicación ABAKAL IRI que permite a los usuarios hacer un cálculo del IRI mediante unos sensores de vibración junto con el GPS del celular, además de poder reportar el valor del IRI hasta 100 metros y se puede calibrar. Esta aplicación en comparación con las otras que se utilizan en la investigación, es posible de utilizar de manera gratuita en un celular Android. Los siguientes pasos relatan la manera de hacer uso del aplicativo

A continuación, podemos ver las dos metodologías de trabajo proporcionadas por la aplicación: una consiste en calcular los valores máximos usando un coeficiente de ajuste de 4, y la otra se basa en cálculos estadísticos pero el coeficiente de ajuste es de 2. El aplicativo Abakal IRI fue utilizado para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a lo largo del tramo estudiado en la Avenida Collpa. Este aplicativo permite registrar datos precisos sobre el estado del pavimento mediante el uso de un

panel de vibraciones que se ajusta según las condiciones de la vía. En la Figura 18 se muestra la pantalla de inicio del aplicativo Abakal IRI, donde se visualizan el panel de vibraciones y los botones de 'iniciar' y 'guardar', fundamentales para el registro de datos.

Figura 15

Pantalla de inicio de Abakal IRI



Nota. pantalla de inicio abierto el aplicativo de Abakal Iri, visualizando el panel de vibraciones, y los botones de “iniciar” y “guardar”.

Después de haber comprendido los cálculos necesarios para las pruebas, podemos proceder con el viaje por la vía. Para iniciar, situaremos el teléfono inteligente en la parte frontal del vehículo. Para llevar a cabo las mediciones de rugosidad con los aplicativos Abakal IRI y Totalpave IRI, fue necesario utilizar un soporte para celular adecuado que garantice la estabilidad del dispositivo durante los ensayos en movimiento. En la Figura 19 se muestra la porta celular colocado en el parabrisas del vehículo, permitiendo que el dispositivo permanezca en una posición fija y segura durante el recorrido.

Figura 16

Porta celular colocado en vehículo

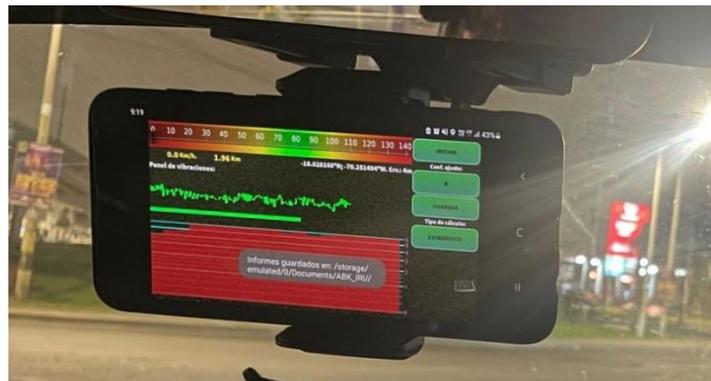


Nota. sujeto al parabrisas del vehículo.

Durante las mediciones de rugosidad en la Avenida Collpa, el aplicativo Abakal IRI permitió visualizar en tiempo real los datos recogidos sobre el estado del pavimento. Este monitoreo constante fue crucial para identificar las zonas con mayores irregularidades en la capa de rodadura. En la Figura 20 se muestra la interfaz del programa Abakal Iri, visualizando el registro de vibraciones y el estado de las mediciones realizadas durante el recorrido.

Figura 17

Inicio del programa Abakal Iri

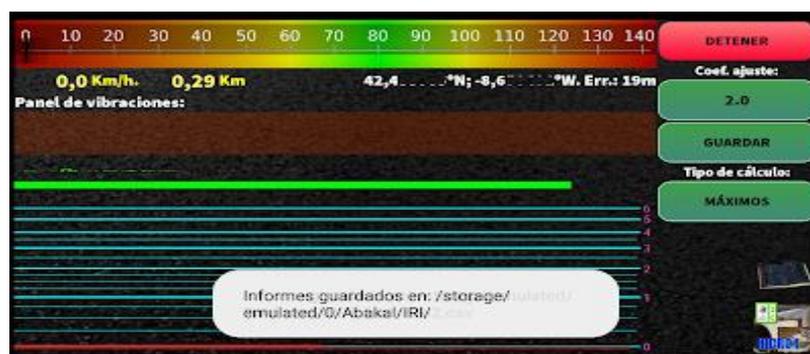


Nota. Visualización del aplicativo Abakal.

Los carriles de subida y bajada son donde aplicaremos las pruebas. La aplicación mostrará en gráficos el estado del pavimento de la vía en función de las señales emitidas. Los datos recopilados se guardan al presionar “Guardar”, de acuerdo a la representación visual continua. Al finalizar cada recorrido de medición de rugosidad, el aplicativo Abakal Iri genera un mensaje de confirmación al momento de guardar los informes. Este proceso es clave para asegurar que los datos registrados durante los ensayos se almacenen correctamente para su posterior análisis. En la Figura 21 se muestra el mensaje de pantalla principal del aplicativo Abakal Iri, confirmando el guardado de los datos recogidos durante la medición.

Figura 18

Mensaje de pantalla principal de Abakal al “Guardar”

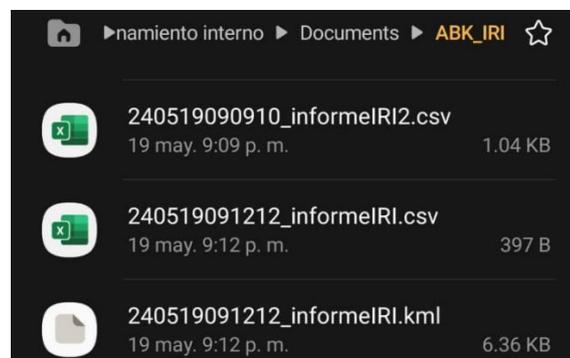


Nota. Obtenido de Abakal (2023).

Con el Abakal Iri, necesitaremos descargar tres archivos que se generan automáticamente en el directorio del teléfono móvil nombrado "/storage/0/Abakal/IRI". Una vez finalizados los ensayos con el aplicativo Abakal Iri, el sistema genera automáticamente varios archivos que contienen los datos recogidos durante la medición de la rugosidad. Estos archivos incluyen informes en formato CSV y KML, que permiten un análisis más detallado y la integración de los datos con otras herramientas. En la Figura 22 se muestra la visualización de los archivos generados por Abakal IRI, listos para ser descargados y procesados.

Figura 19

Archivos generados por Abakal Iri



Nota. Visualización de archivos generados del Abakal.

El formato para guardar los datos son YYMMDDhhmmss lo cual viene siendo años, meses, días, horas, minutos y segundos, respectivamente. Dos archivos csv (InformeRI.csv que es hoja de cálculo e informeRI2.csv que es tabla de control) y uno kml (para abrirlo en Google Earth).

3.6.2. Procedimiento del ensayo con Totalpave

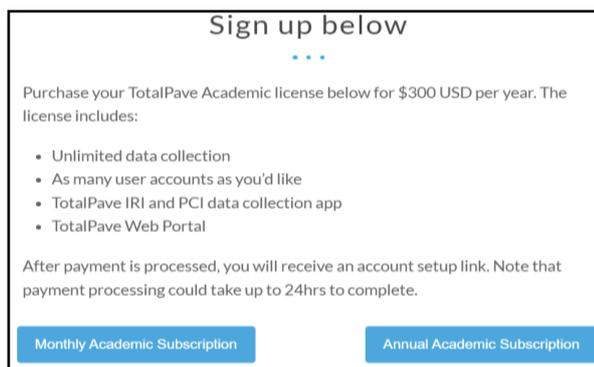
Totalpave es una aplicación creada por una empresa con base en New Brunswick, Canadá. Su objetivo es desarrollar aplicaciones para la ingeniería de pavimentos y maximizar la eficiencia con recursos económicos.

Para poder hacer uso del Totalpave IRI:

- Ingresamos al link <https://Totalpave.com/consulting/> y se pregunta por el precio de la licencia por mes o por año si es de lo que se desea.
- Si es por propósitos académicos, Totalpave tiene una tarifa la cual se explica en un correo con el enlace por el cual se podrá pagar la tarifa de \$30 por mes o \$300 por año.

El aplicativo TotalPave, utilizado para medir el Índice de Rugosidad Internacional (Iri), requiere una licencia académica para su uso, la cual incluye acceso a herramientas de recolección de datos y análisis. Esta suscripción permite a los usuarios acceder a funcionalidades avanzadas para el estudio de pavimentos. En la Figura 23 se presenta la información sobre el costo de la licencia académica de TotalPave, con detalles de las características incluidas en la suscripción anual.

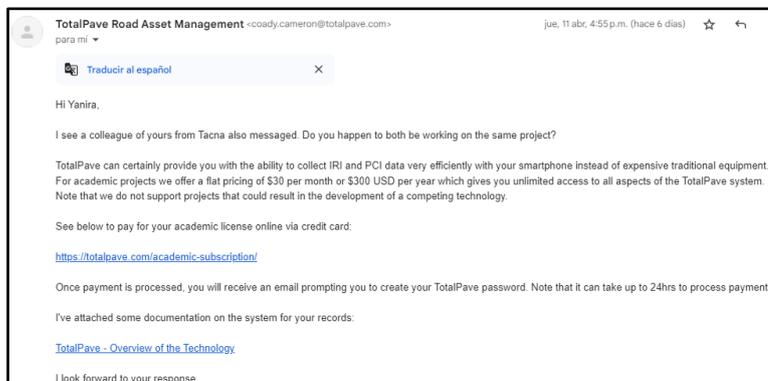
Figura 20
Costo de Totalpave



Nota. información de Costo para obtención de Totalpave. Obtenido de Totalpave (2024).

Como parte del proceso de adquisición de la licencia académica de TotalPave, se realizó una consulta formal para obtener detalles sobre los costos y características del aplicativo. La respuesta proporcionada por el equipo de TotalPave incluyó información detallada sobre la licencia y los procedimientos de pago. En la Figura 24 se muestra el correo de respuesta recibido, aclarando los costos y los pasos para obtener la licencia.

Figura 21
Correo respuesta a solicitud de información de costos



Nota. correo respuesta de Totalpave a raíz de la consulta de precios de la licencia con el correo institucional.

- c) En el caso de nuestra investigación se compró la licencia por un mes para utilizar el aplicativo.
- d) Teniendo la cuenta ya se puede pasar al otro paso del Totalpave IRI.

Descargar la aplicación Totalpave:

- a) Buscamos la "App Store" en IOS, o "Play Store" en Android.
- b) Buscamos "Totalpave" para encontrar la aplicación y se oprime descargar.
- c) Para iniciar sesión por primera vez: Se suministra el seudónimo de usuario y la clave.
- d) Al no tener una cuenta para acceder, se procede a comunicarse con Totalpave para adquirirla.

Para que el aplicativo TotalPave pueda registrar adecuadamente los datos de la vía, es necesario activar el GPS del dispositivo móvil, lo que permite rastrear la ubicación precisa durante las mediciones. Este acceso a la ubicación garantiza que los datos recogidos estén georreferenciados, proporcionando mayor Precisión en el análisis de la rugosidad. En la Figura 25 se muestra la pantalla de activación del GPS en el aplicativo TotalPave.

Figura 22

Activación del GPS para Totalpave

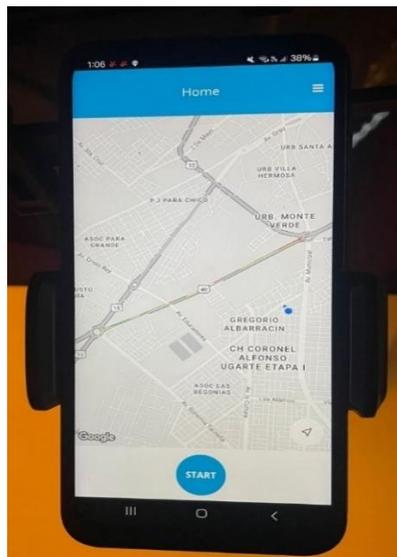


Nota. Permitir acceso a la ubicación GPS del dispositivo.

Una vez activado el GPS, el aplicativo TotalPave está listo para iniciar la recolección de datos sobre la rugosidad del pavimento. La pantalla de inicio permite visualizar el mapa de la zona de estudio y confirmar que el dispositivo está listo para comenzar el recorrido. En La Figura 26 se muestra la pantalla de inicio del aplicativo, con la opción de comenzar la recolección de datos.

Figura 23

Inicio para recopilación de los datos en Totalpave

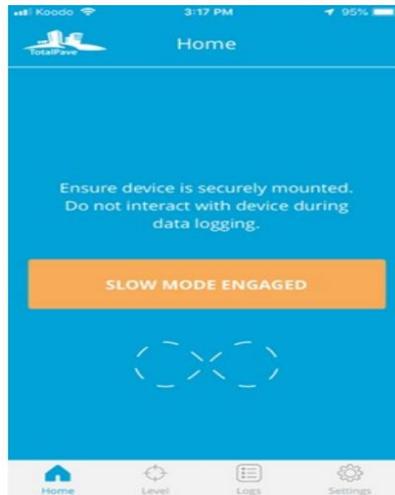


Nota. Pantalla de inicio de recolección de data.

El aplicativo TotalPave opera de manera óptima a velocidades entre 20 km/hy 90 km/h. Si la velocidad es menor, automáticamente se activa el "Modo Lento", diseñado para registrar datos de rugosidad en condiciones de baja velocidad. Los tipos de vehículos que se pueden seleccionar incluyen compactos, automóviles estándar, utilitarios todo terreno y 4x4. En la Figura 27 se muestra la pantalla de activación del "Modo Lento", que garantiza mediciones precisas en tramos donde la velocidad del tránsito es reducida.

Figura 24

Modo Lento GPS Totalpave



Nota. Screen del Totalpave en Modo Lento. Obtenido de Totalpave (2024)

Los datos que se recolecten cuando el "Modo lento" se active, no están incluidos en el cálculo del IRI, esto para asegurar que los cálculos se realizan por encima del umbral de velocidad. Si una porción significativa del trayecto se graba en "Modo lento", el aplicativo no calculará un valor de IRI. Para visualizar los datos seguimos estos pasos:

- a. Mostrar el panel de información en el lado derecho.
- b. Presionar en "Lecturas IRI".
- c. Seleccionamos la estampa de lápiz que está alado del valor de IRI para ver la nota asociada.

Para asegurarse de que Totalpave IRI funcione de la mejor manera, se recomienda usar soportes para parabrisas que conllevan brazos de montaje resistentes. Los datos obtenidos con otros soportes pueden hacer diferir el resultado final debido a su precisión no está garantizada.

Durante las mediciones de rugosidad con los aplicativos Abakal Iri y TotalPave, es esencial que el dispositivo móvil permanezca estable para asegurar la precisión de los datos recogidos. Para ello, se utilizó una porta celular diseñado para automóviles, que se sujeta firmemente al parabrisas. En la Figura 28 se muestra el dispositivo utilizado para sostener el celular durante los ensayos en movimiento.

Figura 25

Dispositivo para los vehículos

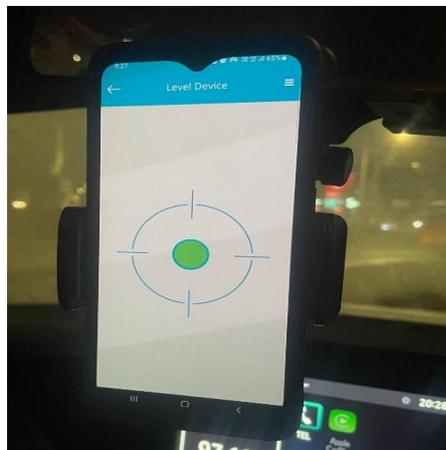


Nota. Porta celular para automóviles, se sujeta al parabrisas.

Para garantizar la precisión en las mediciones de rugosidad, es fundamental que el dispositivo móvil esté correctamente nivelado durante el uso del aplicativo TotalPave. Esta función permite que el dispositivo registre los datos de manera exacta, evitando cualquier sesgo debido a una inclinación inadecuada. En La Figura 29 se muestra la pantalla de nivelación del dispositivo, indicando que está en la posición correcta para iniciar las mediciones.

Figura 26

Aplicativo Totalpave nivelado

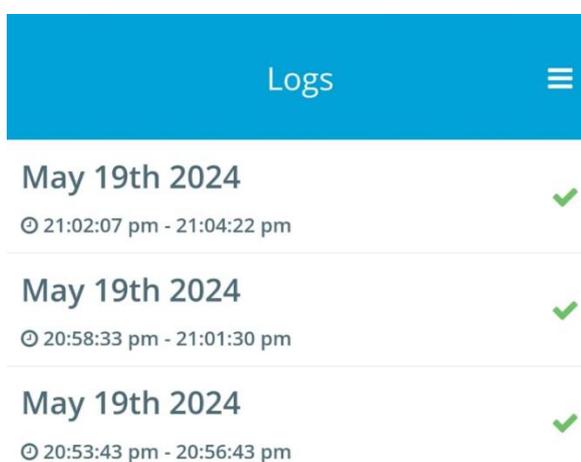


Nota. Dispositivo colocado en posición vertical.

Verifique que el dispositivo esté montado verticalmente utilizando la herramienta "Nivel" y realice ajustes finos si es necesario. Cuando se cargue los datos, el sistema de Totalpave se encarga de calcular los valores de IRI en su portal web. Una vez finalizadas las mediciones de rugosidad con el aplicativo TotalPave, se generan y guardan registros de los datos recolectados, los cuales pueden ser revisados posteriormente para su análisis. Estos registros incluyen la fecha y la hora de cada medición, asegurando una trazabilidad completa de los ensayos realizados. En la Figura 30 se muestran los registros de IRI guardados el 19 de mayo de 2024, listos para ser procesados.

Figura 27

Registros IRI Totalpave



Logs	
May 19th 2024 ⌚ 21:02:07 pm - 21:04:22 pm	✓
May 19th 2024 ⌚ 20:58:33 pm - 21:01:30 pm	✓
May 19th 2024 ⌚ 20:53:43 pm - 20:56:43 pm	✓

Nota. Datos recolectados guardados.

Para determinar las mediciones del IRI en la Av. Collpa, realizamos pruebas en ambas vías, tanto la izquierda como la derecha, a lo largo de la vía. Posteriormente, se realiza un procesamiento de datos ponderado o cálculos en hojas de cálculo.

3.6.3. Procedimiento del ensayo con el instrumento convencional Merlín

Se efectuó una solicitud a la Universidad Privada de Tacna solicitando el manejo del aparato a través del correo electrónico al encargado del Laboratorio de Mecánica de Suelos con motivo de alquiler.

El instrumento Merlín, perteneciente al Laboratorio de Mecánica de Suelos, fue utilizado para realizar los ensayos de medición de rugosidad en el tramo estudiado de la Avenida Collpa. Este equipo permite obtener datos precisos sobre las irregularidades superficiales del pavimento, complementando las mediciones digitales con una herramienta manual de alta precisión. En la Figura 31 se muestra el instrumento Merlín, utilizado para validar los resultados de los aplicativos digitales.

Figura 28*Equipo del Laboratorio de Mecánica de Suelos*

Nota. Instrumento Merlín usado para el ensayo.

Realizamos la división de tramos cada 400 metros en ambos carriles para llevar a cabo la medición con el método convencional. Se realizan mediciones de 200 lecturas en el tramo de estudio, lo que permite calcular el Iri. Posteriormente, estos datos se utilizan en el trabajo de gabinete y se realizan cálculos adicionales en una hoja de Excel.

- Primer paso para desarrollar este ensayo es calibrar el equipo, asegurando de que esté horizontalmente anclado y ajustando sus puntos de apoyo hasta que se marque el número 25 con el puntero.
- Realizamos una lectura inicial (Li) y al final de todo el procedimiento una segunda lectura con la pastilla de calibración en su lugar final (Lf). Esto lo hacemos para después poder calcular el factor de corrección.
- Se considera el mínimo de 2 personas para realizar este ensayo.

Antes de iniciar el ensayo con el equipo Merlín, el técnico del laboratorio proporcionó las indicaciones necesarias para su correcto uso. Estas instrucciones aseguran que las mediciones de rugosidad se realizarán de manera adecuada y conforme a los protocolos establecidos. En la Figura 32 se muestra el momento en que el técnico del laboratorio explica el uso del equipo, preparando al equipo de campo para el desarrollo del ensayo.

Figura 29

Explicación de uso del equipo con el Técnico de laboratorio



Nota. Indicaciones para el desarrollo del ensayo.

- El ensayo comienza ajustando el equipo de forma segura en sus tres puntos inamovibles, momento en el cual se lee la posición en la que apunta el puntero, registrando esta lectura como un número entre 1 y 50. Este procedimiento se repite hasta alcanzar 200 lecturas en todo el tramo a evaluar.

La recopilación de valores de rugosidad se realizó a lo largo del tramo comprendido entre el Óvalo Tarapacá y el Óvalo Cusco en la Avenida Collpa. Durante este proceso, el equipo utilizó el instrumento Merlín para registrar las condiciones del pavimento y obtener datos precisos sobre las irregularidades de la superficie. En la Figura 33 se observa al equipo de trabajo en plena recolección de datos, llevando a cabo el ensayo en campo.

Figura 30

Recopilación de valores Óvalo Tarapacá-Óvalo Cusco, Av. Collpa



El ensayo de recopilación de valores de rugosidad también se llevó a cabo en el sentido inverso, desde el Óvalo Cusco hasta el Óvalo Tarapacá en la Avenida Collpa. Este procedimiento permitió cubrir el tramo completo y registrar datos sobre el estado del pavimento a lo largo de toda la vía. En la Figura 34 se muestra el desarrollo del ensayo en campo, con el equipo trabajando en plena recolección de datos.

Figura 31

Recopilación de valores Óvalo Cusco-Óvalo Tarapacá, Av. Collpa



Nota. Desarrollo del ensayo en campo.

3.6.3.1. Cálculo de la Rugosidad

a. Recolección de Datos

Los datos identificados por el equipo se muestran en el formato de recolección, llevándose a cabo mediciones hasta alcanzar un total de 200 lecturas. Aproximadamente la velocidad de desarrollo es de 2 kilómetros al transcurrir una hora.

Para llevar un control detallado de las mediciones realizadas con el instrumento Merlín, se utilizó una hoja de campo diseñada para capturar los valores de rugosidad en el pavimento. Esta hoja incluye información sobre el tipo de pavimento, las lecturas obtenidas y otros detalles importantes del ensayo. En la Figura 35 se muestra el formato de captura de información utilizado durante el ensayo, donde se registraron los valores obtenidos a lo largo del tramo de la Avenida Collpa

Figura 32

Formato de captura de información

EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN											
PROYECTO:		DIAGNÓSTICO DEL NIVEL DE RUGOSIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD EN LA AVENIDA COLLPA, TACNA-2024									
SECTOR:		0+000 0+400			Nº DE ENSAYO:		1				
CALZADA:		SUBIDA			FECHA:		2/05/2024				
LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											
1	28	34	30	16	22	15	17	37	23	40	TIPO DE PAVIMENTO: AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMIDA <input type="checkbox"/> TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/> CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
2	38	28	28	23	25	34	33	30	21	18	
3	23	16	27	28	19	27	26	37	24	17	
4	27	17	32	15	12	20	34	17	34	22	
5	20	33	18	26	24	27	23	30	32	18	
6	30	25	29	23	21	28	26	30	15	23	
7	31	19	34	24	29	29	28	28	25	29	
8	24	28	30	27	22	27	11	15	20	19	
9	39	13	20	24	22	26	24	26	30	30	
10	29	30	29	29	24	23	31	24	16	15	
11	32	27	27	28	34	27	19	32	21	32	
12	27	24	27	26	30	32	23	21	24	21	
13	32	39	21	48	18	31	24	9	28	22	
14	33	33	32	20	23	31	32	30	21	22	
15	24	37	21	25	28	27	24	30	32	23	
16	31	26	21	31	22	24	28	20	30	23	
17	29	28	23	14	27	35	29	18	24	23	
18	28	36	24	26	28	17	15	27	23	20	
19	22	29	31	18	32	16	27	21	24	30	
20	19	23	25	26	20	30	33	18	23	21	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Nota. Hoja de campo usada para el ensayo.

b. Cálculo del Factor de Corrección

La ecuación del F.C. es:

Ecuación 4. Factor de Corrección

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{[(LI - LF) \times 5]} \quad (4)$$

Donde:

EP (Espesor de la pastilla): 6

LI (Posición inicial del puntero): 25

LF (Posición final del puntero): 11

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{[(25 - 11) \times 5]}$$

$$F.C. = \frac{6 \times 10}{[(25 - 11) \times 5]}$$

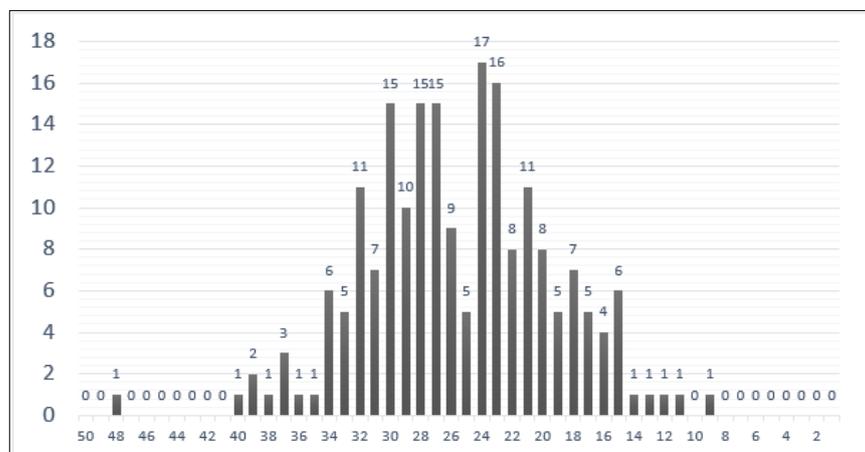
$$F.C. = 0,8571429$$

c. Graficar el histograma de frecuencias

En la Figura 36 se presenta el histograma que ilustra la distribución de los valores de rugosidad medidos en el tramo de estudio.

Figura 33

Histograma de Frecuencias



Nota. Representación gráfica que muestra cómo se distribuyen los datos en un conjunto determinado.

d. Cálculo del Rango "D"

Para esto, quitamos 10 datos de cada extremo del histograma de frecuencias:

Extremo inicial: En la barra 35

$$\frac{1 - 1}{1} = 0$$

Extremo final: En la barra 15

$$\frac{6 - 5}{6} = 0,1666667$$

Entonces el rango "D" = $0 + 0,1666667 + 19 = 19,166667$

Siendo 19 el número de barras que quedan del medio.

e. Cálculo del Rango Corregido "D"

Utilizando la fórmula:

$$D_{\text{corregido}} = D \times 5 \times F.C.$$

$$D_{\text{corregido}} = 19,166667 \times 5 \times 0,8571429$$

$$D_{\text{corregido}} = 82,142857$$

f. Determinación del IRI

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times D_c$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 82,142857$$

$$IRI = 4,4619286 \text{ m/km}$$

3.6.4. Trabajo de Gabinete

- El software facilita la organización y almacenamiento de los datos recopilados de los aplicativos y del método del rugosímetro.
- Se hace una comparación de los resultados con cada herramienta utilizada, destacando las características de su uso.
- El programa Excel permite realizar cálculos estadísticos y generar gráficos que ayuden a visualizar y comprender mejor los datos recopilados.
- Se utilizará la matriz de datos generada por el software como base para el análisis y las conclusiones del estudio.
- La utilización del software contribuirá al procesamiento de la información, lo que permitirá una evaluación más rigurosa y precisa de la regularidad superficial de la Avenida Collpa.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

La evaluación se llevó a cabo en la av. Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá en un tramo de 2,2 km por cada carril, tanto de subida como de bajada; y manteniendo una calidad de velocidad mayor o igual a 60 km/h utilizando el modelo de celular Samsung Galaxy A70.

4.1. Resultados con la aplicación Abakal Iri

Las mediciones de rugosidad obtenidas con el aplicativo Abakal Iri permitieron registrar el Índice de Rugosidad Internacional (Iri) en diferentes tramos de la Avenida Collpa, específicamente en el carril de bajada. Esta tabla muestra las coordenadas de latitud, longitud, altitud, el trayecto correspondiente y las mediciones de Iri para cada sección del trayecto. En la Tabla 7 se presentan los valores recolectados en campo, con un promedio de IRI calculado para el tramo estudiado.

Tabla 7

Mediciones Iri obtenidos del aplicativo Abakal Iri – Carril bajada

Latitud	Longitud	Altitud	Trayecto	Medición Iri
-18,028414	-70,25238	573,07	KM 0+00	2,88
-18,028939	-70,253296	570,59	KM 0+100	1,38
-18,029432	-70,254145	567,27	KM 0+200	0,75
-18,030078	-70,255201	565,97	KM 0+300	3,19
-18,029935	-70,255011	564,65	KM 0+400	1,75
-18,030465	-70,255925	561,83	KM 0+500	2,22
-18,031004	-70,256821	558,65	KM 0+600	4,74
-18,0315	-70,257655	556,4	KM 0+700	1,94
-18,032021	-70,258511	555,39	KM 0+800	3,76
-18,032495	-70,25933	552,83	KM 0+900	2,19
-18,033047	-70,260183	550,7	KM 01+000	4,96
-18,033719	-70,261403	548,35	KM 01+100	5,42
-18,033504	-70,261015	546,39	KM 01+200	2,82
-18,033936	-70,261891	543,21	KM 01+300	4,96
-18,034367	-70,262794	539,81	KM 01+400	4,75
-18,034803	-70,26368	538,56	KM 01+500	4,06
-18,035197	-70,26455	534,64	KM 01+600	6,00
-18,035622	-70,265467	532,13	KM 01+700	1,81
-18,036053	-70,266393	530,31	KM 01+800	2,47
-18,036474	-70,267289	528,11	KM 01+900	6,00
-18,037153	-70,268696	527,94	KM 02+000	6,00
-18,036922	-70,268248	525,75	KM 02+100	4,39
-18,037342	-70,269139	522,93	KM 02+200	3,98
Promedio				3,583

En el carril de subida de la Avenida Collpa, se realizaron mediciones del Índice de Rugosidad Internacional (Iri) utilizando el aplicativo Abakal Iri. La tabla muestra las coordenadas de latitud, longitud, altitud, el trayecto correspondiente y las mediciones de IRI obtenidas en cada sección del recorrido. En la Tabla 8 se presentan los valores registrados en este tramo, con un promedio de Iri calculado que refleja las condiciones de la vía en la subida.

Tabla 8

Mediciones Iri obtenidos del aplicativo Abakal Iri – Carril subida

Latitud	Longitud	Altitud	Trayecto	Medición Iri
-18,037065	-70,268434	523,15	KM 0+000	4,53
-18,037129	-70,268646	523,37	KM 0+100	5,38
-18,036693	-70,267722	526,08	KM 0+200	5,14
-18,036261	-70,266818	528,09	KM 0+300	6,00
-18,035836	-70,265926	530,71	KM 0+400	4,61
-18,035808	-70,265751	531,23	KM 0+500	3,67
-18,035422	-70,265041	533,03	KM 0+600	5,17
-18,035015	-70,264176	536,57	KM 0+700	3,27
-18,034589	-70,263298	539,8	KM 0+800	1,86
-18,034172	-70,262409	542,78	KM 0+900	6,00
-18,033711	-70,261432	545,38	KM 01+000	4,85
-18,033237	-70,260475	548,19	KM 01+100	6,00
-18,032712	-70,259627	550,74	KM 01+200	3,61
-18,03219	-70,258777	552,92	KM 01+300	2,90
-18,031657	-70,257933	554,69	KM 01+400	6,00
-18,031117	-70,25703	557,07	KM 01+500	6,00
-18,030615	-70,256172	559,34	KM 01+600	4,76
-18,030118	-70,255331	562,4	KM 01+700	5,05
-18,029589	-70,254437	565,73	KM 01+800	6,00
-18,02954	-70,254257	568,31	KM 01+900	4,17
-18,029099	-70,25359	569,11	KM 02+000	5,21
-18,02863	-70,252777	571,61	KM 02+100	4,51
-18,028164	-70,251937	573,92	KM 02+200	4,32
Promedio				4,740

El nivel de rugosidad de la Avenida Collpa fue evaluado en ambos carriles utilizando el aplicativo Abakal IRI. La Tabla 9 muestra un resumen comparativo de los promedios de IRI, donde el carril de subida presenta un valor más alto que el de bajada, indicando mayor irregularidad en su superficie.

Tabla 9

*Nivel de Rugosidad por carriles
obtenido con el Aplicativo Abakal Iri*

Abakal Iri	Iri
Carril Subida	4,740
Carril Bajada	3,583

Con el aplicativo Abakal IRI tuvimos 4,74 m/km como valor de rugosidad para el carril de bajada Óvalo Cusco - Óvalo Tarapacá y un valor de Rugosidad de 3,583 m/km para el carril de subida Óvalo Tarapacá – Óvalo Cusco.

4.2. Resultados con el Aplicativo Total Pave

Se realizaron mediciones del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el carril de bajada de la Avenida Collpa utilizando el aplicativo TotalPave. En la Tabla 10 se presentan los valores registrados en este tramo, con un promedio de Iri calculado que refleja las condiciones de la vía en la bajada.

Tabla 10

Valores IRI obtenidos del aplicativo Totalpave – Carril Bajada

Start Latitude	Start Longitude	End Latitude	End Longitude	From	To	IRI	Date
-18,037	-70,269	-18,037	-70,268	KM 0+0	KM 0+100	4,714	19/05/2024
-18,037	-70,268	-18,037	-70,268	KM 0+100	KM 0+200	2,921	19/05/2024
-18,037	-70,268	-18,036	-70,267	KM 0+200	KM 0+300	1,715	19/05/2024
-18,036	-70,267	-18,036	-70,266	KM 0+300	KM 0+400	3,324	19/05/2024
-18,036	-70,266	-18,035	-70,265	KM 0+400	KM 0+500	2,446	19/05/2024
-18,035	-70,265	-18,035	-70,264	KM 0+500	KM 0+600	4,656	19/05/2024
-18,035	-70,264	-18,035	-70,263	KM 0+600	KM 0+700	5,246	19/05/2024
-18,035	-70,263	-18,034	-70,263	KM 0+700	KM 0+800	3,226	19/05/2024
-18,034	-70,263	-18,034	-70,262	KM 0+800	KM 0+900	2,482	19/05/2024
-18,034	-70,262	-18,033	-70,261	KM 0+900	KM 01+000	4,927	19/05/2024
-18,033	-70,261	-18,033	-70,260	KM 01+000	KM 01+100	5,186	19/05/2024
-18,033	-70,260	-18,033	-70,259	KM 01+100	KM 01+200	3,367	19/05/2024
-18,033	-70,259	-18,032	-70,258	KM 01+200	KM 01+300	5,896	19/05/2024
-18,032	-70,258	-18,032	-70,258	KM 01+300	KM 01+400	2,358	19/05/2024
-18,032	-70,258	-18,031	-70,257	KM 01+400	KM 01+500	2,027	19/05/2024
-18,031	-70,257	-18,031	-70,256	KM 01+500	KM 01+600	3,929	19/05/2024
-18,031	-70,256	-18,030	-70,255	KM 01+600	KM 01+700	2,584	19/05/2024
-18,030	-70,255	-18,030	-70,254	KM 01+700	KM 01+800	2,721	19/05/2024
-18,030	-70,254	-18,029	-70,254	KM 01+800	KM 01+900	5,961	19/05/2024
-18,029	-70,254	-18,029	-70,253	KM 01+900	KM 02+000	4,425	19/05/2024
-18,029	-70,253	-18,028	-70,252	KM 02+000	KM 02+100	4,246	19/05/2024
-18,028	-70,252	-18,028	-70,252	KM 02+100	KM 02+200	2,782	19/05/2024
IRI Promedio						3,688	

Se evaluó el Índice de Rugosidad Internacional (Iri) en el carril de subida de la Avenida Collpa con el aplicativo TotalPave. La Tabla 11 presenta las coordenadas, tramos y valores de IRI obtenidos el 19 de mayo de 2024, mostrando un IRI promedio que refleja las condiciones del pavimento en la subida.

Tabla 11

Valores IRI obtenidos del aplicativo Totalpave – Carril subida

Start Latitude	Start Longitude	End Latitude	End Longitude	From	To	IRI	Date
-18,0374	-70,2693	-18,037	-70,2684	KM 0+0	KM 0+100	6,03	19/05/2024
-18,037	-70,2684	-18,0366	-70,2676	KM 0+100	KM 0+200	4,23	19/05/2024
-18,0366	-70,2676	-18,0362	-70,2668	KM 0+200	KM 0+300	3,87	19/05/2024
-18,0362	-70,2668	-18,0358	-70,2659	KM 0+300	KM 0+400	4,84	19/05/2024
-18,0358	-70,2659	-18,0354	-70,2651	KM 0+400	KM 0+500	4,54	19/05/2024
-18,0354	-70,2651	-18,0351	-70,2642	KM 0+500	KM 0+600	3,68	19/05/2024
-18,0351	-70,2642	-18,0347	-70,2634	KM 0+600	KM 0+700	4,75	19/05/2024
-18,0347	-70,2634	-18,0343	-70,2625	KM 0+700	KM 0+800	5,94	19/05/2024
-18,0343	-70,2625	-18,0339	-70,2617	KM 0+800	KM 0+900	3,75	19/05/2024
-18,0339	-70,2617	-18,0334	-70,2608	KM 0+900	KM 01+000	4,25	19/05/2024
-18,0334	-70,2608	-18,033	-70,26	KM 01+000	KM 01+100	4,53	19/05/2024
-18,033	-70,26	-18,0325	-70,2592	KM 01+100	KM 01+200	3,31	19/05/2024
-18,0325	-70,2592	-18,032	-70,2584	KM 01+200	KM 01+300	6,23	19/05/2024
-18,032	-70,2584	-18,0315	-70,2576	KM 01+300	KM 01+400	5,39	19/05/2024
-18,0315	-70,2576	-18,031	-70,2568	KM 01+400	KM 01+500	4,95	19/05/2024
-18,031	-70,2568	-18,0305	-70,256	KM 01+500	KM 01+600	4,37	19/05/2024
-18,0305	-70,256	-18,0301	-70,2552	KM 01+600	KM 01+700	3,43	19/05/2024
-18,0301	-70,2552	-18,0296	-70,2544	KM 01+700	KM 01+800	4,45	19/05/2024
-18,0296	-70,2544	-18,0291	-70,2536	KM 01+800	KM 01+900	4,27	19/05/2024
-18,0291	-70,2536	-18,0287	-70,2528	KM 01+900	KM 02+000	5,43	19/05/2024
-18,0287	-70,2528	-18,0282	-70,252	KM 02+000	KM 02+100	4,33	19/05/2024
-18,0282	-70,252	-18,0278	-70,2516	KM 02+100	KM 02+200	4,14	19/05/2024
IRI Promedio						4,578	

Promediando los IRI de cada carril obtenemos el estado del nivel de Rugosidad promedio de la Avenida Collpa del tramo seleccionado a estudio. La Tabla 12 presenta los niveles de rugosidad promedio en ambos carriles de la Avenida Collpa, obtenidos mediante el aplicativo TotalPave. Los resultados muestran que el carril de subida tiene un valor de IRI más alto que el carril de bajada, indicando una mayor irregularidad en la superficie de la subida.

Tabla 12

*Nivel de Rugosidad por carril
obtenido con el Aplicativo Total
Pave*

Total Pave	IRI
Carril Subida	4,578
Carril Bajada	3,688

Con el aplicativo Totalpave se obtiene un valor de Rugosidad de 3,688 m/km para el carril de bajada Óvalo Cusco - Óvalo Tarapacá y un valor de Rugosidad de 4,578 m/km para el carril de subida Óvalo Tarapacá – Óvalo Cusco.

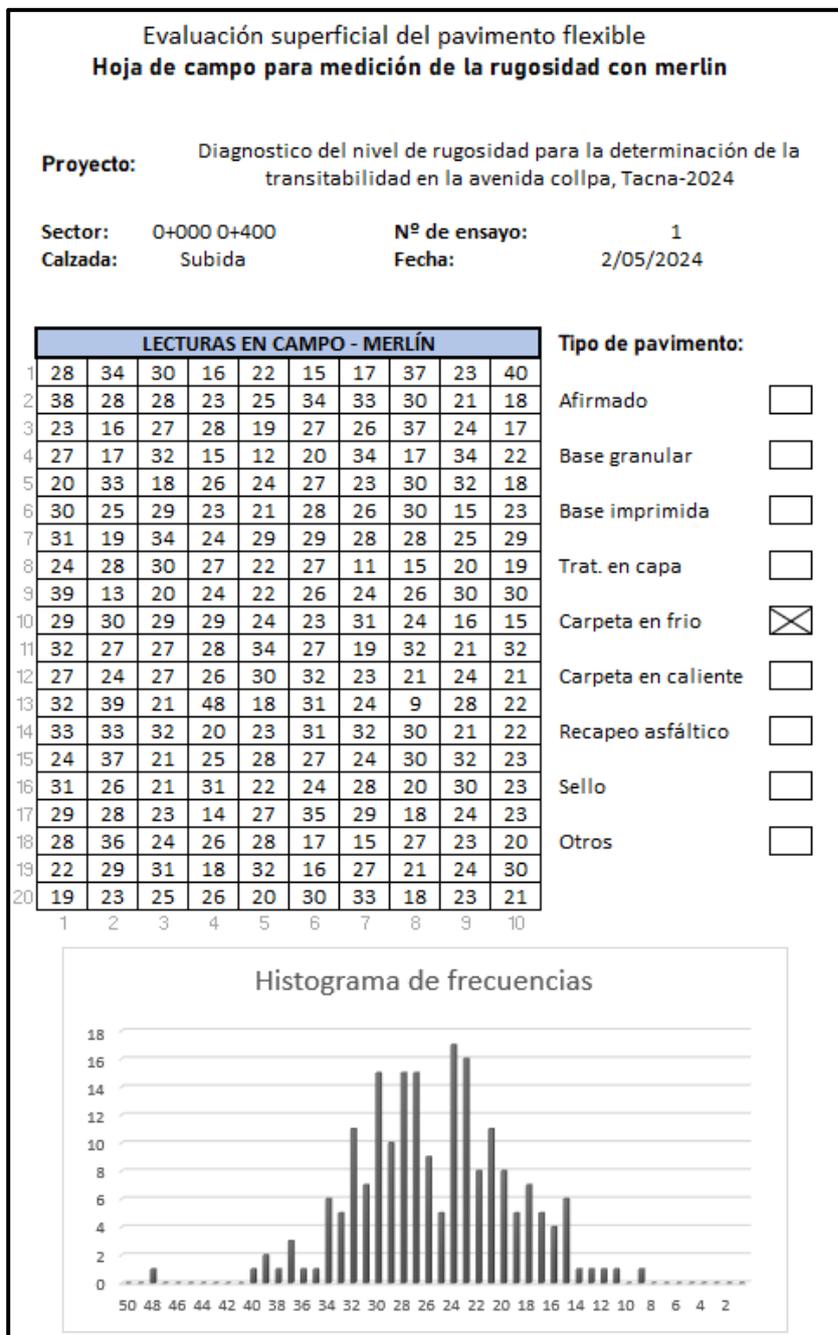
4.3. Resultados con el Rugosímetro de Merlín

Después de realizar el ensayo, los datos obtenidos se registraron en hojas de cálculo, lo que permite elaborar el resumen para el tramo evaluado desde el Óvalo Cusco hasta el Óvalo Tarapacá en la Av. Collpa. En la Figura 34 se muestra el formato de datos utilizado para medir la rugosidad en la calzada de subida con el equipo Merlín. La hoja de campo recopila las lecturas y el tipo de pavimento evaluado, en este caso, una carpeta en frío. Además, se incluye un histograma de frecuencias que refleja la distribución de los datos, lo cual es clave para identificar patrones y variaciones en la calidad de la superficie a lo largo del tramo.

El Merlín, utilizado en este estudio, proporciona información precisa sobre la rugosidad del pavimento, lo que permite identificar áreas con necesidad de mantenimiento. Valores elevados indican una mayor irregularidad en la superficie, asociada a deformaciones o fallas estructurales, mientras que los valores bajos sugieren que el pavimento se encuentra en buenas condiciones. Los resultados obtenidos con este equipo son esenciales para mejorar la transitabilidad, ya que una superficie más lisa contribuye a una mayor seguridad vial y comodidad de los usuarios.

Figura 34

Formato de datos calzada subida hoja 1



En la Figura 35 se presenta el formato de datos correspondiente a la segunda hoja de medición de la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. Se observan las lecturas registradas en campo, el tipo de pavimento evaluado y un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados.

Figura 35

Formato de datos calzada subida hoja 2

Evaluación superficial del pavimento flexible
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlín

Proyecto: Diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024

SECTOR: 0+401 0+800 **Nº DE ENSAYO:** 2
Calzada: Subida **Fecha:** 2/05/2024

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										Tipo de pavimento:
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
26	29	22	25	22	29	9	21	35	29	Afirmado <input type="checkbox"/>
23	20	27	24	25	26	20	37	24	21	Base granular <input type="checkbox"/>
30	30	22	28	30	21	25	38	23	31	Base imprimida <input type="checkbox"/>
20	36	22	29	22	28	36	21	26	18	Trat. en capa <input type="checkbox"/>
29	23	7	33	26	37	21	28	23	30	Carpeta en frio <input checked="" type="checkbox"/>
29	33	46	21	34	32	18	19	22	23	Carpeta en caliente <input type="checkbox"/>
29	22	21	19	30	21	22	26	24	23	Recapeo asfáltico <input type="checkbox"/>
24	29	29	20	33	21	22	35	27	21	Sello <input type="checkbox"/>
11	29	36	24	27	26	14	33	20	32	Otros <input type="checkbox"/>
29	20	25	39	12	32	28	20	14	22	
28	29	28	23	30	32	24	26	26	28	
29	20	30	25	32	23	28	31	27	25	
27	20	22	18	30	34	24	30	22	28	
34	32	16	25	22	29	22	32	37	20	
15	16	21	30	21	33	22	30	25	16	
28	28	45	31	28	23	31	34	25	28	
21	25	30	30	27	23	24	29	28	20	
29	31	35	30	31	27	28	25	23	24	
23	29	25	22	19	30	22	25	27	27	
34	32	26	33	21	26	23	14	36	50	

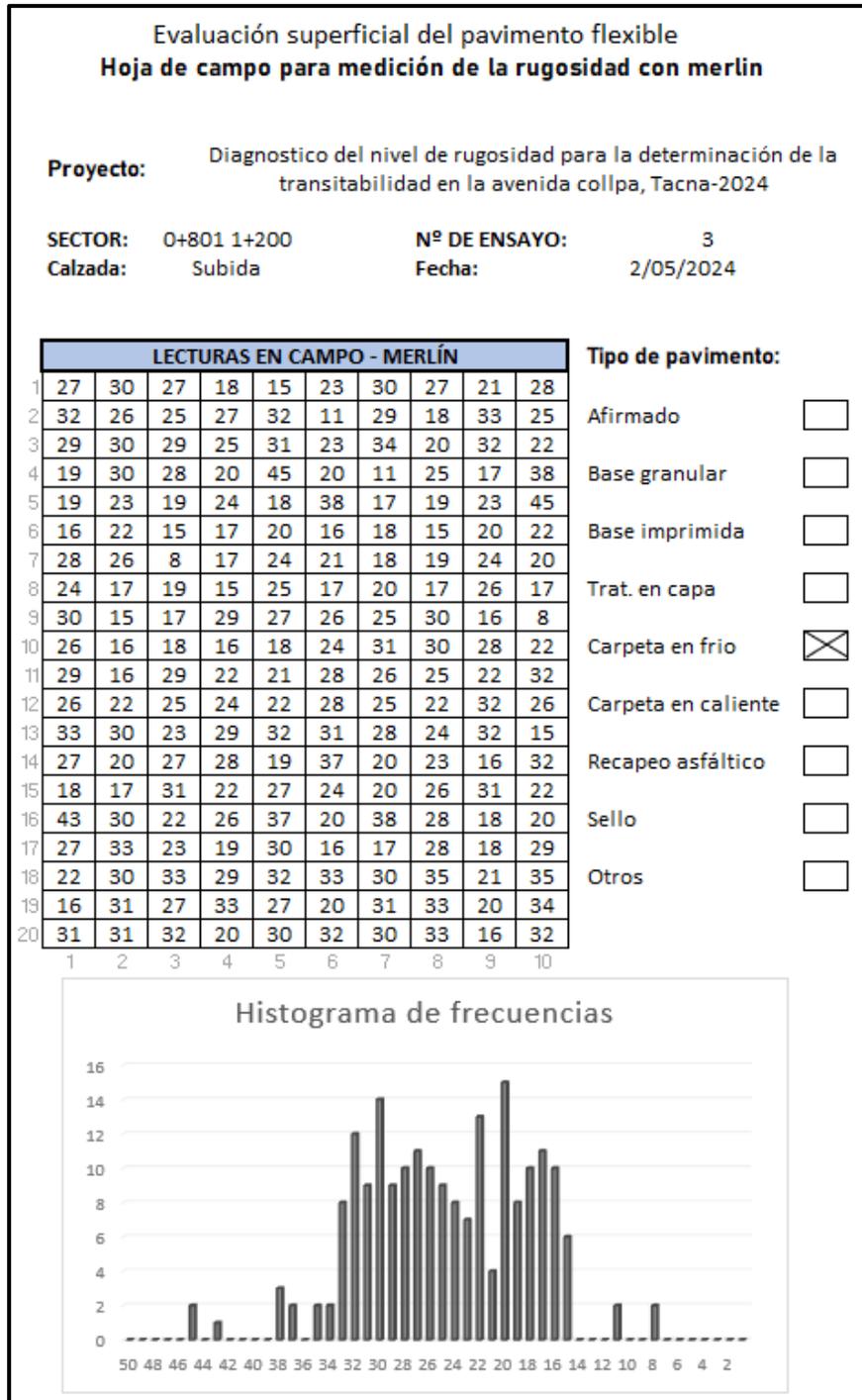
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Histograma de frecuencias

En la Figura 36 se presenta el formato de datos utilizado para medir la rugosidad en la calzada de subida, empleando el equipo Merlín. Este formato registra las lecturas obtenidas en campo, incluyendo el tipo de pavimento evaluado. Asimismo, se visualiza un histograma de frecuencias que ilustran la distribución de los datos recogidos durante el ensayo.

Figura 36

Formato de datos calzada subida hoja 3



En la Figura 37 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 37

Formato de datos calzada subida hoja 4

Evaluación superficial del pavimento flexible
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlín

Proyecto: Diagnostico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024

SECTOR: 1+201 1+600 **Nº DE ENSAYO:** 4
Calzada: Subida **Fecha:** 2/05/2024

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

Tipo de pavimento:

Afirmado

Base granular

Base imprimida

Trat. en capa

Carpeta en frio

Carpeta en caliente

Recapeo asfáltico

Sello

Otros

Histograma de frecuencias

En la Figura 38 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 38

Formato de datos calzada subida hoja 5

Evaluación superficial del pavimento flexible
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlín

Proyecto: Diagnostico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024

SECTOR: 1+601 2+000 **Nº DE ENSAYO:** 5
Calzada: Subida **Fecha:** 2/05/2024

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

Tipo de pavimento:

Afirmado

Base granular

Base imprimida

Trat. en capa

Carpeta en frio

Carpeta en caliente

Recapeo asfáltico

Sello

Otros

Histograma de frecuencias

En la Figura 39 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 39

Formato de datos calzada bajada hoja 6

Evaluación superficial del pavimento flexible
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlín

Proyecto: Diagnostico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024

SECTOR: 0+000 0+400 **Nº DE ENSAYO:** 6
Calzada: Bajada **Fecha:** 2/05/2024

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

Tipo de pavimento:

Afirmado

Base granular

Base imprimida

Trat. en capa

Carpeta en frio

Carpeta en caliente

Recapeo asfáltico

Sello

Otros

Histograma de frecuencias

El histograma muestra la frecuencia de los datos recolectados. El eje horizontal (X) está etiquetado con los valores 50, 48, 46, 44, 42, 40, 38, 36, 34, 32, 30, 28, 26, 24, 22, 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2. El eje vertical (Y) está etiquetado con los valores 0, 5, 10, 15, 20. La distribución de los datos es unimodal y se centra entre los valores 20 y 30, con una frecuencia máxima de aproximadamente 19 para el valor 22.

En la Figura 40 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 40

Formato de datos calzada bajada hoja 7

Evaluación superficial del pavimento flexible
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlín

Proyecto: Diagnostico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024

SECTOR: 0+401 0+800 **Nº DE ENSAYO:** 7
Calzada: Bajada **Fecha:** 2/05/2024

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

Tipo de pavimento:

Afirmado

Base granular

Base imprimida

Trat. en capa

Carpeta en frio

Carpeta en caliente

Recapeo asfáltico

Sello

Otros

Histograma de frecuencias

En la Figura 41 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 41

Formato de datos calzada bajada hoja 8

Evaluación superficial del pavimento flexible
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlín

Proyecto: Diagnostico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024

SECTOR: O+801 1+200 **Nº DE ENSAYO:** 8
Calzada: Bajada **Fecha:** 2/05/2024

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										Tipo de pavimento:
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
24	30	27	18	24	23	30	27	20	28	Afirmado <input type="checkbox"/>
32	26	25	27	32	18	17	18	33	30	Base granular <input type="checkbox"/>
29	30	29	25	31	23	30	20	32	22	Base imprimida <input type="checkbox"/>
19	30	28	20	27	20	21	35	25	21	Trat. en capa <input type="checkbox"/>
19	23	19	35	18	25	29	19	23	25	Carpeta en frio <input checked="" type="checkbox"/>
29	22	22	23	21	21	16	24	23	22	Carpeta en caliente <input type="checkbox"/>
28	26	19	24	21	23	21	19	21	15	Recapeo asfáltico <input type="checkbox"/>
26	15	19	17	25	25	20	25	24	24	Sello <input type="checkbox"/>
30	24	24	29	27	26	25	30	24	24	Otros <input type="checkbox"/>
26	20	17	20	17	21	31	30	28	22	
29	24	29	22	23	28	26	25	22	32	
26	22	24	20	22	28	34	22	32	26	
33	30	23	24	32	31	28	20	32	24	
27	36	27	28	19	37	17	23	29	32	
22	21	31	22	27	34	20	26	31	22	
25	30	22	16	37	29	38	28	17	27	
27	33	23	19	30	24	22	28	18	29	
22	30	16	29	32	33	30	34	20	34	
20	31	27	33	27	20	31	33	20	25	
31	31	32	26	33	32	30	33	20	32	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Histograma de frecuencias

En la Figura 42 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlín. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 42

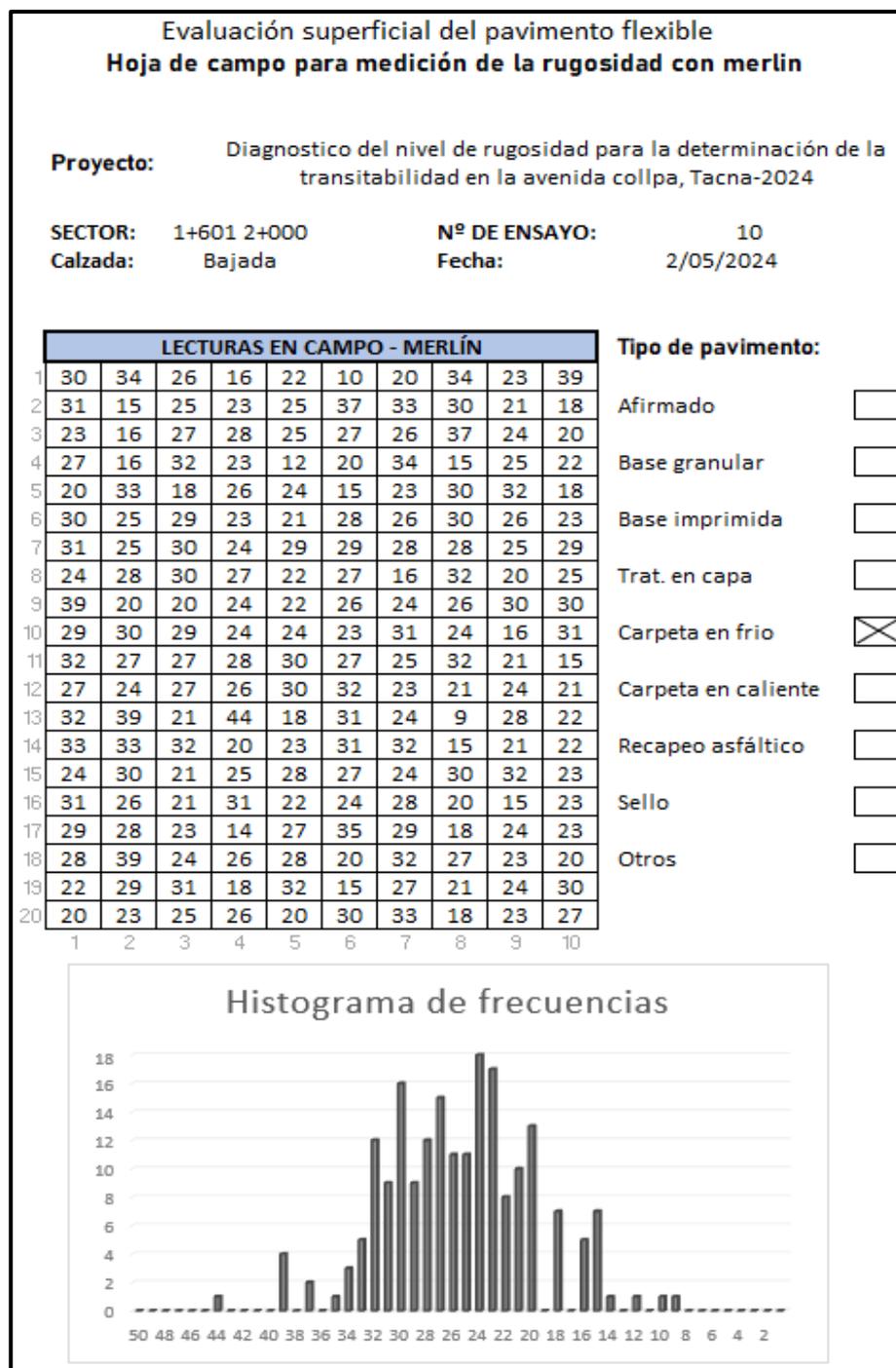
Formato de datos calzada bajada hoja 9

Evaluación superficial del pavimento flexible										
Hoja de campo para medición de la rugosidad con merlin										
Proyecto:	Diagnostico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la avenida collpa, Tacna-2024									
SECTOR:	1+201 1+600	Nº DE ENSAYO:			9					
Calzada:	Bajada	Fecha:			2/05/2024					
LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	23	30	29	20	24	24	27	24	20	21
2	28	27	23	18	24	15	22	38	30	24
3	15	31	24	33	26	26	28	20	27	22
4	22	20	28	17	36	29	19	20	27	20
5	21	26	26	30	27	31	28	27	30	22
6	21	30	25	28	28	29	23	28	24	20
7	30	25	16	30	26	25	15	23	20	19
8	26	25	21	34	27	22	34	25	26	18
9	29	21	19	22	24	29	30	26	25	20
10	21	22	29	19	20	33	32	27	33	17
11	30	23	29	20	25	22	32	23	17	28
12	26	21	23	30	23	25	24	25	28	29
13	28	21	19	42	33	24	19	16	25	28
14	27	23	30	27	21	24	25	28	22	16
15	29	24	24	30	22	25	24	23	25	26
16	20	25	28	20	26	27	24	23	27	15
17	20	18	17	21	26	23	31	31	25	23
18	29	25	15	20	19	19	21	25	24	22
19	30	22	18	28	17	19	23	22	23	30
20	19	26	21	31	37	18	20	18	27	28
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Histograma de frecuencias										

En la Figura 43 se presenta el formato de datos empleado para medir la rugosidad en la calzada de subida, utilizando el equipo Merlin. El formato de hoja de campo contiene las lecturas obtenidas, además del tipo de pavimento evaluado. También se incluye un histograma de frecuencias que muestra la distribución de los datos recolectados durante el ensayo.

Figura 43

Formato de datos calzada bajada hoja 10



En la Tabla 13 se muestran los valores obtenidos del Índice de Rugosidad Internacional (Iri) con el uso del rugosímetro Merlin en el tramo de bajada de la Avenida Collpa. Las mediciones corresponden a distintos tramos progresivos de la calzada de bajada.

Tabla 13

*Resultados IRI obtenidos por
Rugosímetro de Merlín - Bajada*

Progresiva		IRI Merlín
Tramo: Bajada		
0+000	0+400	3,73
0+401	0+800	3,51
0+801	1+200	3,86
1+201	1+600	3,74
1+601	2+000	3,92
IRI Promedio		3,75

En la Tabla 14 se muestran los valores obtenidos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) con el uso del rugosímetro Merlín en el tramo de subida de la Avenida Collpa. Las mediciones corresponden a distintos tramos progresivos de la calzada de subida.

Tabla 14

*Resultados IRI obtenidos por
Rugosímetro de Merlín - Carril Subida*

Progresiva		IRI Merlín
Tramo: Subida		
2+001	2+400	4,46
2+401	2+800	4,39
2+801	3+200	4,43
3+201	3+600	4,57
3+601	4+000	4,50
IRI Promedio		4,47

Promediando los IRI de cada carril obtenemos el estado del nivel de Rugosidad promedio de la Avenida Collpa del tramo seleccionado a estudio.

En la Tabla 15 se presenta el nivel de rugosidad obtenido por el rugosímetro Merlín en ambos carriles de la Avenida Collpa, diferenciando entre el carril de subida y el de bajada.

Tabla 15

*Nivel de Rugosidad por carril
obtenido por Rugosímetro de
Merlín*

Rugosímetro de Merlín	IRI
Carril Subida	4,47
Carril Bajada	3,75

Con el aparato de Merlín obtenemos el valor de Rugosidad para el carril de subida y bajada de 4,47 m/km y de 3,75 m/km, respectivamente.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones con el informe de especificaciones técnicas generales para la conservación de vías nos brinda una tabla base de indicadores de estado vial para el Perú fijados según valores de IRI tal cual se observa en la tabla 16.

Tabla 16
Estado vial según la Rugosidad

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

Nota. Obtenido de Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras (2007)

Teniendo en cuenta el cuadro anteriormente mencionado es que se procede a la calificación de IRI obtenidos a través de Abakal Iri, Total Pave y rugosímetro de Merlín.

5.1. Definición del IRI con aplicación Abakal IRI

Tras tener los resultantes respecto al aplicativo Abakal IRI. La tabla 17 refleja el cálculo de IRI promedio obtenidos en los carriles de la Av. Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá.

Tabla 17
IRI promedio proveniente del aplicativo
Abakal IRI

Abakal IRI	IRI
Carril Subida	4,740
Carril Bajada	3,583
IRI Promedio	4,16

La tabla anteriormente mencionada nos muestra el IRI promedio del aplicativo Abakal IRI de 4,16 m/km lo que el Estado Vial para Vías Pavimentadas califica como “Malo”.

5.2. Definición del IRI con aplicación Total Pave

Tras los resultantes respecto a la aplicación de teléfono inteligente Total Pave se obtuvieron los resultados descritos en el capítulo anterior. La tabla 18 refleja el cálculo de IRI promedio obtenidos en los carriles de la Av. Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá.

Tabla 18

*IRI promedio proveniente del aplicativo
Total Pave*

Total Pave	IRI
Carril Subida	4,578
Carril Bajada	3,688
IRI Promedio	4,13

La tabla anteriormente mencionada nos muestra un IRI promedio para el aplicativo Total Pave de 4,13 m/km lo que según la tabla de Estado Vial para Vías Pavimentadas según Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras (2007) califica como “Malo”.

5.3. Definición de valor IRI con instrumento convencional Merlín

Tras los resultantes respecto a la metodología manual aparato Merlín se obtuvieron los resultados descritos en el capítulo anterior. La tabla 19 refleja el cálculo de IRI promedio obtenidos en los carriles de la Av. Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá.

Tabla 19

*IRI promedio proveniente Rugosímetro
de Merlín*

Rugosímetro de Merlín	IRI
Carril Subida	4,47
Carril Bajada	3,75
IRI promedio	4,11

La tabla anteriormente mencionada nos muestra un IRI promedio para la metodología tradicional de 4,11 m/km lo que según la tabla de Estado Vial para Vías Pavimentadas según Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras (2007) califica como “Malo”.

5.4. Diagnóstico IRI para Av. Collpa según metodologías aplicadas

En la tabla 20 se presenta una síntesis del promedio IRI conseguido mediante cada metodología.

Tabla 20

*IRI obtenido por aplicativos y
Rugosímetro de Merlín*

Metodología	IRI Promedio
Abakal IRI	4,16
Total Pave	4,13
Rugosímetro de Merlín	4,11
IRI Promedio	4.13

Los resultados de las tres metodologías vistas en esta investigación son cercanos con poco margen de variación, obteniendo los promedios IRI de la metodología Abakal Iri un valor de 4,16 m/km, para la metodología Total Pave un valor de 4,13 m/km y para la metodología Merlín un valor de 4,11 m/km; las tres coincidiendo en una calificación de Índice de Rugosidad Internacional de “Malo”. Encontrando una variación de 0,02 y 0,05 entre los resultados de los aplicativos y el método convencional Merlín. Realizando así el diagnostico IRI con un valor de 4.13 m/km para la Av. Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá resultando en una calificación de “Malo”.

5.5. Determinación del estado de transitabilidad de la Av. Collpa en base al valor IRI obtenido.

Tras haber calculado nuestro valor IRI promedio respectivo por cada metodología, se procede a utilizar fórmulas para determinar la transitabilidad del PSI según Williams Paterson (ec.1 y ec. 3) y D. Dujisin y A. Arroyo (ec. 2), con las cuales se calcularon los siguientes valores descritos en la tabla 21.

Tabla 21

Cálculo PSI por metodología

Metodología	PSI (1)	PSI (2)	PSI (3)	PSI Promedio	Clasificación
Abakal IRI	2,42	2,35	2,29	2,35	Regular
Total Pave	2,43	2,36	2,30	2,36	Regular
Rugosímetro de Merlín	2,44	2,37	2,31	2,37	Regular
	PSI Determinado			2,36	Regular

Apreciamos según la tabla previamente descrita que los valores PSI son cercanos y se encuentran en el mismo rango, obteniendo una clasificación del estado de transitabilidad de “Regular” para la Avenida Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá.

Los resultados obtenidos nos muestran que las aplicaciones para teléfonos inteligentes son un elemento esencial para evaluar la transitabilidad de la Av. Collpa y la condición del pavimento. Utilizando aplicaciones de teléfono inteligente como Abakal IRI y Totalpave además de la metodología convencional Merlín con los que pudimos calcular un promedio de IRI general de 4.13 m/km y una determinación PSI de 2,36 y así clasificar la condición de la transitabilidad como “Regular”.

Los resultados obtenidos comparados con los hallazgos de Choque et. al. (2023), quienes analizaron el estado de la superficie vial de la Av. Collpa desde Óvalo Cusco hasta Av. Educadores, dieron resultados de IRI de 6,36 m/km para método convencional y aplicativo de teléfono Roadroid de 6,15 m/km. Para concluir que su aplicación con las metodologías empleadas es eficiente para evaluar la rugosidad del tramo estudiado; en ambos métodos con una clasificación IRI en el Perú de condición “muy malo”. Estos valores reflejaron un estado crítico de la superficie del pavimento, caracterizado por una alta irregularidad.

En comparación a los resultados obtenidos en el presente estudio realizado en un periodo distinto abordando el diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación la transitabilidad partiendo del Óvalo Cusco al Óvalo Tarapacá de la Av. Collpa, se observa una mejora significativa en el nivel IRI, registrando valores de IRI significativamente menores: 4,16 m/km con el aplicativo Abakal IRI, 4,13 m/km con Totalpave y 4,11 m/km con el rugosímetro de Merlín. Esto nos sitúa en la categoría de transitabilidad "Regular". Esta mejora en los indicadores de rugosidad sugiere que las condiciones del pavimento han experimentado una notable mejora en comparación con el estudio anterior.

Previa consulta a la entidad Provias Nacional, se nos compartió la información de haberse realizado un mantenimiento periódico a nivel de berma y un mantenimiento rutinario de parcheo de baches a nivel superficial a lo largo de la Av. Collpa, siendo nuestro tramo de estudio parte de la intervención, realizado a inicios del presente año 2024. Es crucial destacar que, a pesar de la mejora, el IRI de 4,13 m/km aún se considera como un indicador de que se requieren esfuerzos continuos para optimizar las condiciones de la vía. Los estándares internacionales sugieren que un IRI inferior a

3,0 m/km es deseable para carreteras en áreas urbanas, lo que indica que, aunque se ha avanzado, aún queda trabajo por hacer para alcanzar niveles óptimos de calidad.

Adicionalmente, la comparación de estas dos investigaciones resalta la importancia de contar con un programa de monitoreo y mantenimiento regular de las vías. La utilización de metodologías como aplicativos de smartphone Total Pave y Abakal Iri permite una evaluación precisa y continua del estado de la carretera, facilitando la toma de decisiones informadas sobre intervenciones futuras y la planificación de recursos. En conclusión, estas investigaciones aportan datos valiosos para respaldar estrategias de gestión de la infraestructura vial que aseguren un desarrollo sostenible y eficiente de la red de carreteras en la región.

Los resultados obtenidos por Bustinza et al. (2022) respaldan la eficacia del aplicativo Totalpave para obtener el estado de la vía de la avenida Von Humboldt, Tacna. El enfoque encontró que el uso de la aplicación de teléfono móvil puede ayudar a evaluar la condición de la superficie vial y valorar la adaptabilidad del pavimento flexible en la zona examinada. Respaldando la veracidad de uso del aplicativo en mención, conforme a la investigación presente en obtención de resultados certeros y confiables. Además, el uso de Totalpave representa una alternativa eficiente y accesible en comparación con los métodos tradicionales de evaluación vial, que a menudo requieren equipos costosos y personal especializado. Estos resultados sugieren que la implementación de esta tecnología puede optimizar la planificación y el mantenimiento de las infraestructuras viales, permitiendo a las autoridades locales tomar decisiones más informadas sobre la conservación y mejora de las vías.

Los resultados presentados son coherentes con los hallazgos de Lozano et al. (2021) los cuales obtuvieron valores del IRI mediante el uso de aplicativos tales como Roadroid y Abakal Iri. Demostrando que en ambos aplicativos de teléfonos inteligentes se obtienen valores similares en cuestión de calificación de transitabilidad y ofrecen resultados confiables. Esto refuerza la idea de que las tecnologías móviles son herramientas válidas para la evaluación de la infraestructura vial. Además, la utilización de diferentes aplicaciones y la obtención de resultados consistentes subrayan la fiabilidad de estos métodos. La posibilidad de usar dispositivos ampliamente accesibles como los teléfonos inteligentes no solo optimiza los recursos, sino que también permite una mayor frecuencia y cobertura en la evaluación de las carreteras, facilitando un mantenimiento más proactivo.

El diagnóstico del nivel de rugosidad puede determinar favorablemente la transitabilidad en la Av. Collpa según la hipótesis general planteada. Los resultados

obtenidos de diferentes métodos y herramientas, como el aplicativo ABAKAL IRI con promedio IRI de 4,16 m/km, el aplicativo Totalpave IRI con promedio IRI de 4,13 m/km, y el Rugosímetro de Merlín con promedio IRI de 4,11 m/km, indican niveles de rugosidad considerados desfavorables, ya que un IRI por encima de 4 m/km suele ser indicativo de una superficie vial en condiciones regulares a malas. Sin embargo, a pesar de los altos niveles de rugosidad indicados por los IRI's, la transitabilidad de la Av. Collpa se valida favorablemente según las tres formulas aplicadas obteniendo un valor en el rango de 2.1 – 3.0, considerado como transitabilidad regular. Por lo tanto, aunque los resultados específicos de los IRI's son desfavorables, la hipótesis general se mantiene cierta en el sentido de que el diagnóstico del nivel de rugosidad determina favorablemente la transitabilidad de la Av. Collpa tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en la Av. Collpa, utilizando diversas metodologías de medición del nivel de rugosidad, ha proporcionado una determinación de la transitabilidad de esta vía. Los datos obtenidos revelaron que el IRI promedio por aplicativo son 4,16 m/km para Abakal Iri, de 4,13 m/km para Totalpave y de 4,11 m/km para el método convencional Merlín, concluyendo que el diagnóstico del nivel de rugosidad de la Av. Collpa, tramo Óvalo Cusco – Óvalo Tarapacá, posee un valor de 4,13 m/km, siendo este valor el promedio IRI de las metodologías usadas, obteniendo como resultado un estado desfavorable; tras ello, tenemos la determinación de la transitabilidad obteniendo valores de 2,35 para Abakal Iri, 2,36 para Totalpave y 2,37 para el método convencional Merlín resultando en una transitabilidad promedio de 2,36 clasificada como “Regular”.

Los datos derivados del IRI mediante el uso de la aplicación Abakal IRI mostraron mediciones de 3,583 m/km en la vía de bajada y de 4,740 m/km en la vía de subida, corroborando la eficacia de esta herramienta para evaluar el estado de la superficie vial. Los datos recopilados con Abakal Iri contribuyeron significativamente al diagnóstico global.

Los resultados IRI derivados del aplicativo Totalpave indicaron 3,688 m/km en el carril de bajada y 4,578 m/km en el de subida, lo cual confirmaron la efectividad de esta herramienta para evaluar el estado de la superficie vial. Esta consistencia en los resultados entre diferentes aplicaciones refuerza la confiabilidad de las mediciones y la veracidad del diagnóstico.

La aplicación del método convencional con método del rugosímetro proporcionó evaluar el nivel de la rugosidad en la avenida collpa. Las mediciones IRI resultantes del instrumento convencional Merlín fueron de 4,47m/km en el carril de subida y 3,75 m/km para el de bajada. Este método, aunque más tradicional, sigue siendo relevante y útil para la verificación y validación de resultados. Este nivel de rugosidad sugiere que la superficie de la avenida presenta una calidad aceptable pero que podría beneficiarse de mejoras.

RECOMENDACIONES

Se sugiere al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, tomar en consideración los resultados de la presente tesis para proveer un mantenimiento adecuado de las vías nacionales como es el caso de la vía de estudio.

Se sugiere al Ministerio de Transportes y Comunicaciones que proporcione formación y capacitación a su personal en el uso de herramientas modernas para la medición de rugosidad y gestión de proyectos viales, como Totalpave IRI y Abakal IRI, para asegurar una evaluación eficiente, de menor costo y en menor tiempo.

Se sugiere a los contratistas de proyectos de infraestructura y mantenimiento vial que involucren la adopción de tecnologías de vanguardia no convencionales que pueden ofrecer soluciones duraderas y más eficientes en términos de costos, tales como los aplicativos de smartphone.

Se recomienda a futuros tesisistas de la Universidad Privada de Tacna el considerar el uso de los equipos Merlín tradicionales para medir el IRI, ya que al ser un método normado y estandarizado con manual propio puede contribuir a la investigación de la condición de una carretera con una superficie de pavimento flexible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abakal IRI. (26 de Agosto de 2023). *Google Play*.
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.luisnieto.iri_calc_free&hl=es
- Al-Haddad, A. H.-H. (2018). *Modeling of Flexible Pavement Serviceability Based on the Fuzzy Logic Theory*. Virginia: Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements.
- Bustinza, A. y Calderon, J. (2022). *Uso del aplicativo Totalpave en la determinación de la rugosidad de la Av. Von Humbolt, tramo: Av. Tarapacá-Av. Municipal, Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna-2022*. TACNA: Universidad Privada de Tacna. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12969/2373>
- Cabello, S. y Limonchi, D. (2015). *Análisis e implementación del "CCVNS" para el proyecto: corredor vial Huancavelica - Lircay - emp. PE-3S (Huallapampa) y emp PE-3S (La mejorada) -Acobamba - emp. PE 3S (Puente alcomachay)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Cedeño Cevallos, J. (2014). *Propuesta de metodología complementaria a los diseños de pavimentos según AASHTO 93*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
<https://doi.org/http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3131/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-100.pdf>
- Celeita, H. (2023). *Análisis de la medición del IRI utilizando la aplicación para smartphone roadroid*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Choque, K. y Pilco, A. (2023). *Análisis comparativos 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.

Tacna: Universidad Privada de Tacna.

<https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12969/3146>

Comunicaciones, M. d. (2014). *Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Servicios Gráficos Squadrito EIRL.

Comunicaciones, M. d. (14 de Junio de 2024). *Plataforma digital única del Estado Peruano*. Plataforma digital única del Estado Peruano: <https://www.gob.pe/institucion/pvn/institucional>

Del Aguila Rodríguez, P. (1999). *Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión*. Sevilla: Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto.

Gondim, V. (2019). *Influencia de la calidad del recubrimiento asfalto en la emisión de contaminantes de un vehículo ligero en Fortaleza*. Universidad Federal de Ceará.

GSMA. (2018). *The mobile Economy*. GSM Association.

Hinostroza, H. (2018). *Diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para la reducción de la estructura del pavimento*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Huamán Contreras, A., Murga Tirado, C., Massa Palacios, L. y Olivera Chura, A. (2023). *Ciclo de vida del pavimento orientado a su agrietamiento y mantenimiento*. Huancavelica: Revista de Investigación Científica y Tecnológica Llamkasun. <https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i1.117>

Instituto de la Construcción y Gerencia. (2010). *Norma Técnica CE. 010*. Lima: Pavimentos Urbanos.

- Jimenez, J. y Cutipa, G. (2022). *Evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022*. Tacna: Universidad Privada de Tacna. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12969/2392>
- Kabiru, I. (2017). *Sampling and sampling methods*. Nicosia: Biometrics & Biostatistics International Journal.
- Mamani, D. E. y Lozano, J. L. (2021). *Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la av. Antúnez de Mayolo, Distrito Gregorio Albaracín Lanchipa, Tacna-2021*. TACNA: Universidad Privada de Tacna.
- Maps, G. (2022). *Google Maps*. Google Maps: <https://www.google.com/maps/@-18.0335543,-70.2527378,15z?entry=ttu>
- 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.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). *Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras*. Lima.
- Montalvo, I. (2023). *Índice de rugosidad internacional de la carretera Huaraz-Carhuaz para mejorar la serviciabilidad empleando Roadroid, año 2022*. Ancash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <https://doi.org/https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5504>
- Montoya, J. (2013). *Análisis del iri para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*. Lima. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11042/1967>

- Moreno, L., Parrales, G., Cobos, D., Cordero, M., Peralta, J., Ponce., F., y Baque, B. (2020). *Mantenimiento y Conservación de Carreteras*. Manabí: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos*. Dirección general de caminos y ferrocarriles.
- MTC. (Abril de 2016). *Determinación del Estado de Transitabilidad y Nivel de Intervención de los Caminos Rurales*. Perú: Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal.
- MTC. (2018). *Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
https://doi.org/https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf
- MTC. (2019). *"Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de Infraestructura Vial"*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Paterson, W. y Scullion, T. (1990). *Information Systems for Road Management: Draft Guidelines on System Design and Data Issues*. INFRASTRUCTURE AND URBAN DEVELOPMENT DEPARTMENT.
- PEREYRA, Y. (2018). *Informe de rugosidad en pavimentos*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Pinedo, J. y Díaz, J. (2023). *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/11458/5057>
- Ríos, J. E. y Torres, L. J. (2022). *Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura*. LIMA:

Universidad

Ricardo

Palma.

<https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14138/6112>

Rodríguez, P. d. (1993). *Manual del Usuario*.

Saltos , E. (2023). *Determinación del Índice de rugosidad internacional de la vía Los Ángeles-Andil*. Manamí-Ecuador: Universidad Estatal del sur de Manabí.

Satvati, S., Nahvi, A., Cetin, B., Ashlock, J., Jahren, C. y Ceylan, H. (2020). *Performance-based economic analysis to find the sustainable aggregate option for a granular roadway*. Ames: Iowa State University.

Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/2027.42/21605>

Schlotjes, M. R., Visser, A. y Bennett, C. (2000). *Evaluation of a smartphone roughness meter*. Pretoria-South Africa: Department of Civil Engineering, University of Pretoria.

Tamrakar, P., Wayne, M., Fountain, G., Schlessinger, A. y Cameron, C. (2022). *Rapid Pavement Roughness Measurement of GeogridStabilized Roads*. Alpharetta: Advances in Transportation Geotechnics IV (pp.599-610).

Telefonica. (2019). *Teléfonos inteligentes, abriendo las puertas al mundo digital*. Fundación Telefónica.

Thenoux, G. (2020). *Criterios para la administración de pavimentos urbanos de hormigón y asfalto*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

TotalPave. (2024). <https://totalpave.com/>

Valdés, G., Pérez-Jiménez y Martínez, A. (2012). Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles. *Revista de la construcción*, 11(1), 87-100.

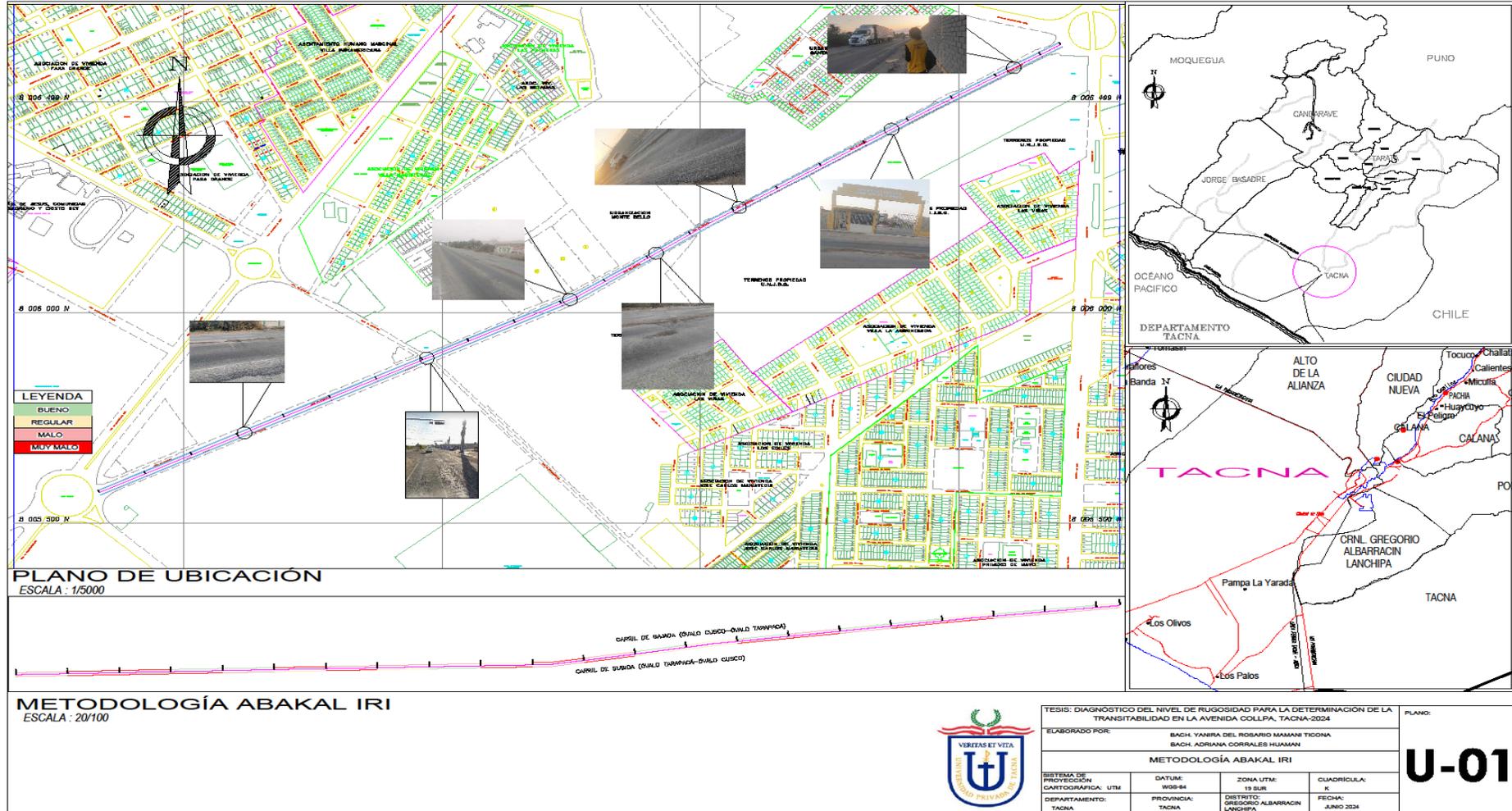
VISE. (2023). *¿Qué es una capa de rodadura?* Blog Vise: <https://blog.vise.com.mx/que-es-una-capade-rodadura>

ANEXOS

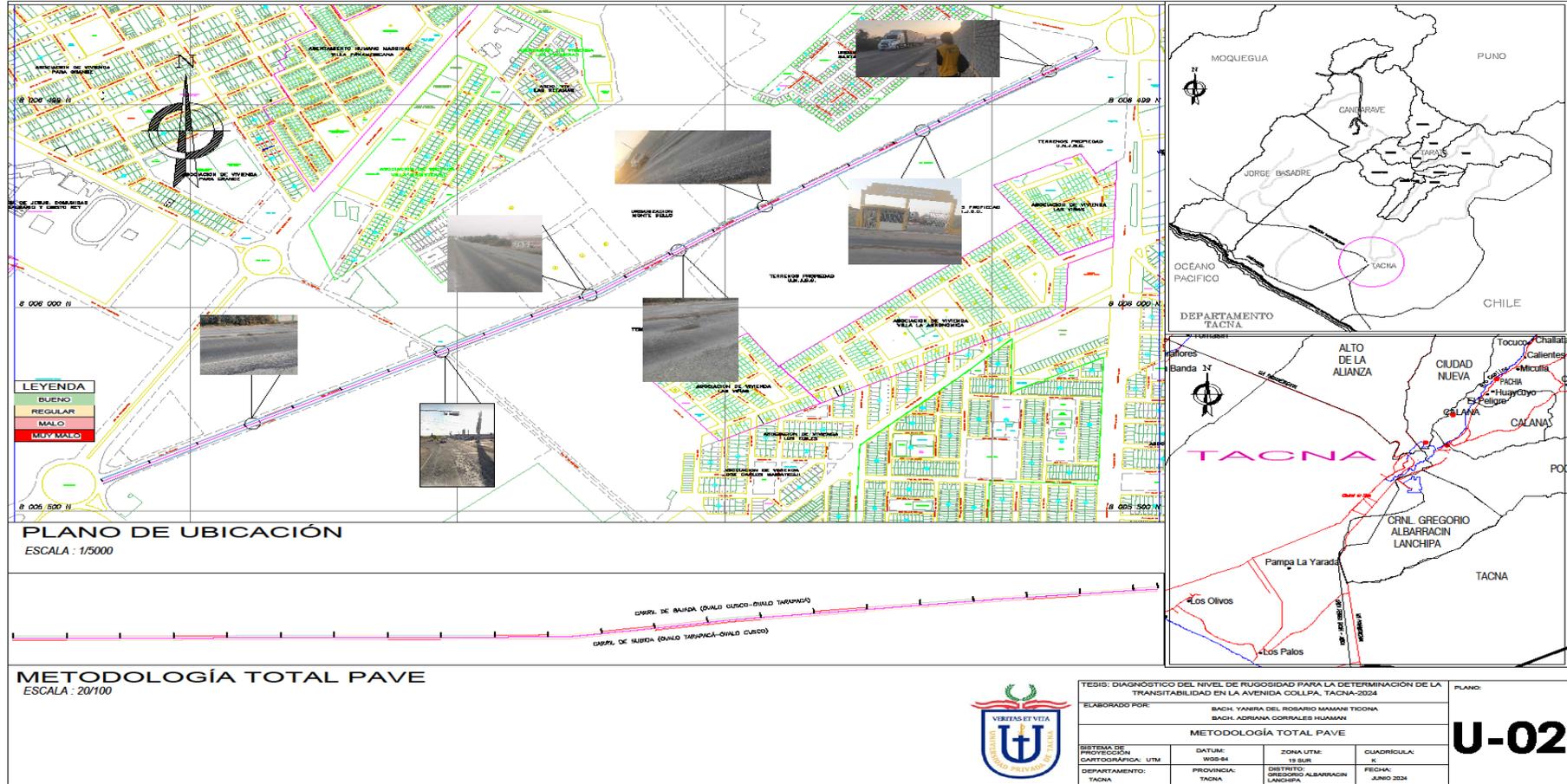
Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente:	Resultados de los aplicativos (Iri) IRI Calculado Longevidad del pavimento Fallas del pavimento Temperatura de exposición	Tipo de investigación: Investigación de tipo básico.
¿Cuál el diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la Av. Collpa?	Realizar el diagnóstico del nivel de rugosidad para la determinación de la transitabilidad en la Av. Collpa.	El diagnóstico del nivel de rugosidad puede determinar favorablemente la transitabilidad en la Av. Collpa, Tacna 2024.	Nivel de Rugosidad		Diseño de investigación: No experimental.
Problemas específicos	Objetivo Específico	Hipótesis Específico	Variable Dependiente:	Muy Malo, Malo, Regular, Buena, Muy Buena. Tránsito (autos y camiones) Serviciabilidad	Población: Av. Collpa
¿Cuál es el resultado de la rugosidad de la calzada obtenida con la aplicación Abakal Iri en la Av. Collpa?	Definir los resultados del aplicativo Abakal Iri en la Av. Collpa, Tacna 2024.	Los resultados del aplicativo Abakal Iri en el tramo de estudio de la Av. Collpa son desfavorables.	Transitabilidad		Muestra: Tramo comprendido entre Óvalo Cusco y Óvalo Tarapacá
¿Cuál es el resultado de la rugosidad de la calzada obtenida con la aplicación Total Pave Iri en la Av. Collpa?	Definir los resultados del aplicativo Total Pave en la Av. Collpa, Tacna 2024.	Los resultados del aplicativo Total Pave en el tramo de estudio de la Av. Collpa son desfavorables.			Materiales: Hoja de registro de datos. Plano de ubicación. Chaleco reflectante de seguridad. Conos de seguridad vial. Hojas de cálculo Excel.
¿Cuál es el resultado de la rugosidad de la calzada obtenida con el instrumento Rugosímetro de Merlín en la Av. Collpa?	Definir los resultados del método convencional Rugosímetro de Merlín en la Av. Collpa, Tacna 2024.	Los resultados del instrumento Rugosímetro de Merlín en el tramo de estudio de la Av. Collpa son desfavorables.			Instrumentos: Teléfono inteligente (Samsung Galaxy A70) Aplicativo Abakal Iri Aplicativo Totalpave Iri Camioneta Raize Formatos de campo y guías de observación.

Anexo 2. Plano de ubicación – Abakal Iri



Anexo 3. Plano de ubicación – Total Pave



Anexo 4. Plano de ubicación – Rugosímetro de Merlin

