



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3,
smartphone para determinar el IRI del tratamiento otta seal,
Chapapampa Jonsani 2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Zavaleta Larico, Jean Carlos (orcid.org/0009-0002-6986-4715)

ASESOR:

Dr. Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique (orcid.org/0000-0002-0684-5114)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE ACCIÓN DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

Dedicada a mi amada madre, Adelaida Inés Larico Huanca, por ser mi inspiración y brindarme su amor incondicional y apoyo en cada paso de mi vida. A mi querida pareja, Sonia Calsin Aza, quien es mi compañera de vida y fuente de constante fortaleza. A mis adorados hijos, Jace Fabricio y Emily Zoe, quienes son mi razón de ser, llenando mis días de alegría y motivándome constantemente para seguir adelante. A mis apreciados abuelitos, que con su sabiduría y cariño han dejado una huella imborrable en mi vida, iluminando mi camino con sus valiosos consejos y amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido esenciales en mi trayectoria. Agradezco a mi familia, en particular a mi madre, cuya fortaleza, amor incondicional y sabiduría han sido mi guía constante en cada paso de este camino. Además, deseo expresar mi profunda gratitud a mis docentes y mentores, cuya orientación invaluable y sabios consejos han sido pilares fundamentales en mi desarrollo académico y personal. Agradezco a Dios por permitirme contar con personas tan maravillosas en mi vida.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CANCHO ZUÑIGA GERARDO ENRIQUE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento otta seal, Chapapampa Jonsani 2023", cuyo autor es ZAVALETA LARICO JEAN CARLOS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 15 de Marzo del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CANCHO ZUÑIGA GERARDO ENRIQUE DNI: 07239759 ORCID: 0000-0002-0684-5114	Firmado electrónicamente por: CANCHOZUNIGA el 19-03-2024 13:23:04

Código documento Trilce: TRI - 0740204



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, ZVALETA LARICO JEAN CARLOS estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento otta seal, Chapapampa Jonsani 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JEAN CARLOS ZVALETA LARICO DNI: 75521780 ORCID: 0009-0002-6986-4715	Firmado electrónicamente por: JCZVALETA el 15-03- 2024 15:31:12

Código documento Trilce: TRI - 0740203

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	ii
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor.....	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor.....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Tipo y Diseño de Investigación.....	20
3.2 Variables y operacionalización.....	21
3.3 Población, muestra y muestreo.....	24
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	26
3.5 Procedimiento:.....	28
3.6 Método de análisis de datos:.....	30
3.7 Aspectos éticos.....	31
IV. RESULTADOS.....	32
V. DISCUSIÓN.....	53
VI. CONCLUSIONES.....	61
VII. RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rugosidad Inicial IRI según Tipo de carretera con Carpeta Asfáltica en Caliente.....	16
Tabla 2. Escala de rugosidad IRI (m/km).....	17
Tabla 3. Escala de rugosidad IRI (m/km).....	17
Tabla 4. Resumen de Criterios de evaluación de la Rugosidad.....	18
Tabla 5. Resumen de datos del rugosímetro MERLIN.....	34
Tabla 6. Parámetros de los datos recolectados por Rugosímetro MERLIN.	34
Tabla 7. Interpretación de resultados del Rugosímetro MERLIN según normativa peruana.	35
Tabla 8. Resumen de datos del rugosímetro ARRB-R3.....	37
Tabla 9. Parámetros de los datos recolectados por Rugosímetro ARRB-R3.	38
Tabla 10. Interpretación de resultados del Rugosímetro ARRB-R3 según normativa peruana.	39
Tabla 11. Valores IRI obtenidos por el Aplicativo Abakal para prueba piloto.	40
Tabla 12. Coeficientes de correlación entre las 5 pruebas de la prueba piloto del aplicativo Abakal.....	40
Tabla 13. Resultado de prueba piloto con análisis de Alfa de Crombach por correlaciones.....	41
Tabla 14. Valoración de la fiabilidad según el coeficiente de alfa de Cronbach.....	41
Tabla 15. Resumen de datos de aplicativo Abakal para Smartphone.	42
Tabla 16. Parámetros de los datos recolectados por el aplicativo Abakal.	43
Tabla 17. Interpretación de resultados del aplicativo Abakal para Smartphone según normativa peruana.....	44
Tabla 18. Normalización de Datos Recopilados.	46
Tabla 19. Comparación de valores IRI con los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3.	48
Tabla 20. Promedios de errores absoluto y relativo.	48
Tabla 21. Análisis de regresión de valores IRI de Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3.	49
Tabla 22. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson.....	49
Tabla 23. Comparación de valores IRI con los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Aplicativo Abakal para Smartphone.	50
Tabla 24. Promedios de errores absoluto y relativo.	51

Tabla 25. Análisis de regresión de valores IRI de Rugosímetro MERLIN y aplicativo Abakal para Smartphone.	52
Tabla 26. Síntesis de Resultados obtenidos del Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal para Smartphone según normativa peruana.	53
Tabla 27. Síntesis de la Comparación de los valores IRI obtenidos del Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal para Smartphone.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Otta Seal.....	12
Figura 2. Otta Seal Simple.	13
Figura 3. Otta Seal Doble.....	13
Figura 4. Escala de Rugosidad	15
Figura 5: Niveles de Investigación.....	21
Figura 6: Diagrama de Rugosímetro MERLIN.....	26
Figura 7: Diagrama de Rugosímetro ARRB-R3.....	27
Figura 8: Aplicación Abakal IRI.....	27
Figura 9. Formato de recolección de datos del rugosímetro MERLIN.	32
Figura 10. Formato de procesamiento de datos del rugosímetro MERLIN.	33
Figura 11. Valores IRI obtenidos por el Rugosímetro MERLIN.	35
Figura 12. Valores IRI obtenidos por el Rugosímetro ARRB-R3.....	38
Figura 13: Valores IRI obtenidos por el aplicativo Abakal para Smartphone.....	43
Figura 14. Comparación grafica de valores IRI con los instrumentos Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y Aplicativo Abakal para Smartphone.....	47
Figura 15. Comparación gráfica de dispersión de valores IRI entre los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3.....	49
Figura 16. Comparación gráfica de dispersión de valores IRI entre los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Aplicativo Abakal para Smartphone.....	51
Figura 17. Valores IRIp y IRIc en carretera Chapapampa – Jonsani con tratamiento Otta Seal según normativa peruana.....	54
Figura 18. Comparación gráfica de regresión de valores IRI entre Rugosímetro MERLIN vs Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal en carretera Chapapampa – Jonsani con tratamiento Otta Seal.	55

RESUMEN

El objetivo de este estudio consiste en analizar y correlacionar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en carreteras con tratamiento Otta Seal, empleando tres instrumentos de medición con clasificaciones diferenciadas según el Banco Mundial. Se aplicó una metodología de Diseño no experimental, transversal de nivel relacional. En primer lugar, se determinaron los valores IRI siguiendo la normativa peruana, donde el Rugosímetro MERLIN arrojó un promedio de 3.4 m/km, el Rugosímetro ARRB-R3 mostró un promedio de 4.1 m/km y Abakal para smartphone obtuvo un promedio de 2.6 m/km. Posterior a ello, se calcularon varios parámetros, incluyendo el coeficiente de correlación de Pearson, coeficiente de determinación, ecuación de regresión, error relativo y absoluto. Donde los resultados revelaron que la correlación entre MERLIN y ARRB-R3 resultó ser fuerte ($R=0.8388$), validando la confiabilidad y eficacia del ARRB-R3. Sin embargo, la relación entre MERLIN y Abakal para Smartphone mostró una correlación débil ($R=0.1565$). En conclusión, se verificó un vacío normativo para la evaluación de tratamientos Otta Seal, además los hallazgos sugieren que Abakal podría no ser la opción óptima para evaluar la rugosidad en tratamientos Otta Seal, mientras que el Rugosímetro ARRB-R3 se perfila como una alternativa confiable para la evaluación en tratamientos Otta Seal.

Palabras clave: Rugosidad, otta, rugosímetro, smartphone.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze and correlate the International Roughness Index (IRI) in roads with Otta Seal treatment, using three measurement instruments with differentiated classifications according to the World Bank. A non-experimental, cross-sectional, relational design methodology was applied. First, IRI values were determined according to Peruvian standards, where the MERLIN Roughness Meter yielded an average of 3.4 m/km, the ARRB-R3 Roughness Meter showed an average of 4.1 m/km and Abakal for smartphone obtained an average of 2.6 m/km. After that, several parameters were calculated, including Pearson's correlation coefficient, coefficient of determination, regression equation, relative and absolute error. The results revealed that the correlation between MERLIN and ARRB-R3 was strong ($R=0.8388$), validating the reliability and effectiveness of ARRB-R3. However, the relationship between MERLIN and Abakal for Smartphone showed a weak correlation ($R=0.1565$). In conclusion, a normative gap for the evaluation of Otta Seal treatments was verified, and the findings suggest that Abakal may not be the optimal choice for evaluating roughness in Otta Seal treatments, while the ARRB-R3 Roughness Meter is emerging as a reliable alternative for the evaluation of Otta Seal treatments.

Keywords: Roughness, otta, roughometer, smartphone.

I. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática, La progresiva transformación tecnológica, los avances en ingeniería vial, demandan la disponibilidad de instrumentos precisos, eficientes, de mayor rendimiento y menor costo, para evaluar el estado de las carreteras. Uno de los indicadores fundamentales en este contexto es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que cuantifica la rugosidad de la superficie de las vías y tiene un impacto en la comodidad y protección de las personas que usan las vías. La infraestructura vial juega un papel esencial en el progreso socioeconómico, facilitando el crecimiento económico, por ello la calidad de las carreteras es un factor determinante para garantizar un desplazamiento seguro, eficiente y cómodo y entre los diversos indicadores utilizados para evaluar la calidad de los pavimentos, el IRI se consolidó como una medida estándar para cuantificar la irregularidad del perfil longitudinal de la superficie de la carretera. En estos últimos años el tratamiento asfáltico superficial Otta Seal ha ganado relevancia en la región Puno debido a su capacidad para proporcionar una superficie flexible, impermeable y duradera, con un costo menor en comparación a otro tipo de tratamientos, es usado especialmente en vías con un bajo volumen de tráfico. Sin embargo, para la evaluación del IRI en este tipo de tratamiento Otta Seal, carece de parámetros de admisibilidad en la normativa peruana. A **nivel internacional (Piryonesi y El-Diraby, 2021, p. 2)** señala que el Índice de Rugosidad (IRI) es ampliamente utilizado en América del Norte como un indicador popular para evaluar el rendimiento de los pavimentos, y por lo general, los valores del IRI se expresan en metros por kilómetro o pulgadas por milla. En situaciones de pavimento de reciente creación, los índices de IRI pueden oscilar entre 0.810 y 1.030 m/km, y esto puede estar influenciado por la tipología del pavimento, la calidad en su construcción, y los diferentes porcentajes de inclinación del terreno. Es por ello que la necesidad de calcular valores IRI, en otra tipología de pavimento y tipo de terreno, como lo es la carretera Chapapampa – Jonsani, el cual es una carretera con tratamiento Otta Seal de tercera clase con una geometría vial sinuoso. A **nivel nacional** el Rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), es un instrumento muy usado en las diferentes regiones del Perú es un dispositivo que ha mostrado resultados prometedores en el cálculo del IRI de las superficies de las carreteras, no obstante,

es catalogado como de bajo rendimiento debido a su lenta recopilación de datos y la necesidad de usar más horas en campo. A diferencia del rugosímetro ARRB-R3 (The Australian Road Research Board), conocido también como Rugosímetro III, que es un equipo para hallar el valor del IRI con un mayor rendimiento. Para **(Gonzales y Beingolea, 2022, p. xiv)**, el aplicativo Abakal para Smartphone es un instrumento para medir el IRI y que es comparable o tienen una similitud considerable con los resultados obtenidos por el Rugosímetro MERLIN. Esta similitud indica que los datos generados por el aplicativo Abakal pueden considerarse fiables o confiables para evaluar la rugosidad de la carretera en cuestión en relación con las mediciones realizadas por el Rugosímetro MERLIN. A **nivel regional** de Puno se ejecutaron obras con el tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, este innovador método de pavimentación ha llegado a revolucionar las vías de esta región, ofreciendo alternativas apropiadas, económicas y sostenibles, que puede proporcionar una superficie flexible, impermeable y duradera para carreteras de menor tránsito. Según el estudio realizado por **(Chipana y Sanca, 2022, p. 32)**, se encontró que el uso del tratamiento Otta Seal tuvo un impacto positivo en la calidad de la carretera Arapa - Chupa, donde obtuvieron valores de IRI utilizando un Rugosímetro de tipo III (ARRB), donde clasificaron la serviciabilidad como regular y buena. Debido a ello esta investigación tiene como **PROBLEMA GENERAL (PG)** ¿De qué manera el rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y la aplicación para Smartphone Abakal, permitirán el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, en la carretera Chapapampa Jonsani, 2023?, Asimismo la **JUSTIFICACIÓN TÉCNICA** de este estudio fue la necesidad de analizar y correlacionar el valor del IRI utilizando un equipo de alta precisión como es el rugosímetro MERLIN, versus los equipos de menor precisión como son el rugosímetro ARRB-R3 y la aplicación para Smartphone Abakal. De este sentido, el rugosímetro ARRB-R3 representa una opción de mayor rendimiento y eficacia, y la aplicación para Smartphone Abakal representa una opción innovadora y prometedora todo ello para medir la rugosidad en un contexto de tratamiento asfáltico superficial Otta Seal. Además, la **JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA** de esta investigación se basó en la necesidad de establecer una metodología confiable y estandarizada para utilizar el rugosímetro MERLIN, el rugosímetro ARRB-R3 y la aplicación para Smartphone

Abakal en la obtención del IRI, lo que permitió una evaluación más precisa y comparativa de los pavimentos básicos Otta Seal, siguiendo un enfoque metodológico secuencial, los resultados obtenidos en esta investigación servirán como base y fuente de referencia para investigaciones futuras. Se tiene una **JUSTIFICACIÓN SOCIAL**, el rugosímetro MERLIN es una alternativa más confiable para hallar el valor del IRI con más precisión. La aplicación para Smartphone Abakal es una alternativa más accesible y económica para medir el IRI, ya que hoy en día todos contamos con un smartphone. El rugosímetro ARRB-R3 como una alternativa con mayor rendimiento al momento de recolectar datos, lo que puede ser beneficioso tanto para las autoridades viales como para los profesionales en ingeniería civil, asimismo esta investigación determinara mediante tres métodos, el valor del índice de rugosidad en un tratamiento superficial Otta Seal en el cual se contribuirá a mejorar la gestión de la superficie de la carretera Chapapampa - Jonsani y promoverá un mantenimiento vial más eficiente y oportuno, lo que beneficiará directamente a toda las comunidades que se encuentren en dicha carretera. Por lo tanto la **JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL** de este estudio se basó en la contribución potencial del cálculo del valor IRI utilizando el rugosímetro MERLIN, el rugosímetro ARRB-R3 y la aplicación para Smartphone Abakal, para prevenir y predecir mantenimientos rutinarios y/o periódicos que requiera la carretera y evitar la contaminación ambiental producida por el consumo adicional de combustible, desgaste de neumáticos, ruido y molestias debido a las irregularidades del pavimento, por lo tanto, El motivo ambiental de este estudio se fundamenta en su contribución para promover la sostenibilidad y la preservación del entorno mediante la optimización de la gestión de los pavimentos, buscando una mayor eficiencia. Así mismo en esta investigación se evaluó el valor del IRI en un tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, el cual es una alternativa económica y sostenible frente a los pavimentos tradicionales. Por lo antes mencionado se tiene como **OBJETIVO GENERAL (OG)**, Analizar y correlacionar el índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, mediante el rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani, 2023 y los **OBJETIVOS ESPECÍFICOS, OE1:** Determinar el IRI del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal mediante el rugosímetro MERLIN en la carretera Chapapampa – Jonsani.

OE2: Determinar el IRI del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal mediante el rugosímetro ARRB-R3 en la carretera Chapapampa – Jonsani. **OE3:** Determinar el IRI del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal mediante el aplicativo para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa – Jonsani. **OE4:** Correlacionar los valores IRI obtenidos con el rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa – Jonsani.

HIPÓTESIS GENERAL (HG), Con la aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Abakal, en el cálculo de la medición del índice de rugosidad internacional (IRI) en la carretera Chapapampa - Jonsani, se obtiene valores excelentes del estado del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal y una relación fuerte entre la comparación de valores IRI de los diferentes instrumentos; asimismo las **HIPÓTESIS ESPECIFICAS, HE1:** El valor del IRI del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, obtenido con el rugosímetro MERLIN, se encuentra en condición bueno en la carretera Chapapampa - Jonsani. **HE2:** El valor del IRI del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, obtenido con el rugosímetro ARRB-R3, se encuentra en condición bueno en la carretera Chapapampa - Jonsani. **HE3:** El valor del IRI del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, obtenido con la aplicación para Smartphone Abakal, se encuentra en condición bueno en la carretera Chapapampa – Jonsani. **HE4:** La comparación de los valores IRI determinados mediante el rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y la aplicación para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani, son similares.

II. MARCO TEÓRICO

En este marco teórico, se investigó los conceptos fundamentales del Índice internacional de rugosidad, el tratamiento asfáltico superficial Otta Seal y las siguientes herramientas: rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y aplicativos para Smartphone para determinar su aplicabilidad y eficacia en la medición del IRI en la carretera Chapapampa – Jonsani. **ANTECEDENTES INTERNACIONALES.** En el informe técnico realizado por varios ingenieros en la Universidad del estado de Iowa, EE.UU. (Ceylan, et al., 2018) tuvo como **objetivo** evaluar la viabilidad del Doble Otta Seal como tratamiento alternativo en carreteras de bajo tráfico utilizando agregados locales, incluyendo aquellos de menor calidad. Asimismo, comparar la relación costo-efectividad y el rendimiento del Otta Seal cuya **Metodología** fue de diseño experimental y nivel de investigación aplicada en los cuales obtuvieron **resultados** de rugosidad antes y después de aplicar el tratamiento Doble Otta Seal (dos capas) en dos sentidos, en el sentido Sur 4.32 m/km (antes), 4.02 m/km (primera capa), 2.89 m/km (segunda capa) y sentido Norte 3.79 m/km (antes), 3.98 m/km (primera capa), 2.78 m/km (segunda capa) por ello **concluyó** que resultados a corto plazo indicaron que el Doble Otta Seal puede cumplir con los requisitos de rugosidad de una carretera de asfalto caliente, asimismo se realizó un análisis económico que demostró que el Otta Seal sea más rentable que los tratamientos tradicionales, dependiendo mucho de la disponibilidad de los materiales en la zona. El artículo de (Vaitkus, et al., 2016) tuvo como **objetivo** evaluar el rendimiento del asfalto blando y del doble otta Seal (pavimento económico) en las condiciones climáticas de Lituania, mediante el cálculo del índice de rugosidad internacional y evaluaciones visuales de defectos en tramos de carretera seleccionados, para mejorar las carreteras en Lituania. La **metodología** usada en este artículo es la investigación experimental, se realizaron mediciones de rugosidad en carreteras con asfalto blando y doble sello Otta Seal, así como una evaluación visual de los defectos en estas secciones. Además, se seleccionaron y analizaron 19 tramos (5 tramos de carretera con asfalto blando y 14 tramos de carretera con doble Otta Seal) de carretera de acuerdo con varios criterios, como el tráfico medio diario anual, el número de equivalentes de carga de eje (ESAL), el número de ciclos de congelación-descongelación y la profundidad de las heladas. Los **resultados** de la investigación indican que tanto el asfalto blando como el doble sello Otta Seal son

tecnologías efectivas de rehabilitación para carreteras de bajo volumen de tráfico, cumpliendo con los requisitos de rugosidad y mostrando una capacidad de autorreparación, pero para ello es necesario que la temperatura de la superficie del Otta Seal supere los 30 °C., asimismo se **concluyó** que el doble sello Otta Seal son adecuadas para carreteras con un tráfico promedio diario anual de ≤ 500 vehículos y con un número de ejes equivalentes estándar (ESAL) $< 0,1$ millones. Además, todas las secciones de carretera con doble sello Otta Seal cumplieron con el requisito, con un IRI inferior a 3,5 m/km después de la construcción y tras un año de funcionamiento. En el estudio de (Yu, et al., 2022) tenía como **objetivo** revisar minuciosamente el conocimiento existente en la evaluación de la rugosidad de pavimentos basada en smartphones. Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura académica relevante, encontrando 192 publicaciones. La **metodología** adoptada fue de diseño no experimental, de nivel descriptivo, de un enfoque de revisión sistemática, empleando pasos que incluyeron el alcance, búsqueda y análisis bibliográfico, revisión de contenido y discusión. La revisión examinó métodos para la estimación de índices de aspereza y detección de anomalías, categorizándolos en métodos estadísticos, basados en modelos vehiculares y de reconstrucción de perfiles, así como métodos de aprendizaje automático. También evaluó el impacto de factores prácticos como la velocidad, tipo de vehículo, modelo de teléfono y configuración de montaje en la precisión de los métodos basados en smartphones en los cuales tuvo como **resultado** que, a pesar de su menor precisión en comparación con los instrumentos convencionales, los métodos basados en smartphones ofrecen un gran potencial para complementar la estimación de índices de rugosidad. Asimismo, **concluyó** que hace una falta de revisiones exhaustivas de metodologías en estos métodos, así como una comprensión insuficiente de cómo factores prácticos, como la velocidad, el tipo de vehículo, el modelo del teléfono y la configuración de montaje, afectan la precisión de estos métodos, es por ello que señalo la necesidad de más pruebas de campo. Según el artículo de investigación (Surbakti y Ginting, 2020), tuvo como **objetivo** comparar los valores IRI, utilizando la herramienta rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Roadroid, asimismo analizar la correlación entre los valores de IRI obtenidos de ambas herramientas y utilizo una **metodología** cuantitativa de tipo comparativo y correlacional, se llevó un análisis comparativo de

valores de rugosidad para cada uno de los carriles (carretera de 4 carriles), utilizando las lecturas obtenidas con el rugosímetro ARRB-R3 y el Roadroid y posteriormente, se analizaron los datos obtenidos y se calcularon los valores promedios del IRI utilizando ambas herramientas. Se estableció una equivalencia de correlación entre los valores de IRI obtenidos con el rugosímetro ARRB-R3 y el Roadroid. Los **resultados** obtenidos mostraron que los valores IRI de las carreteras obtenidos mediante los instrumentos: rugosímetro ARRB-R3 y la App Roadroid fueron ligeramente distintos. Sin embargo, se encontró una correlación lineal entre los valores de IRI obtenidos con ambas herramientas, con una equivalencia de correlación de $IRI = 0,8999eIRI + 0,5786$ y un nivel de correlación de 0,8391 y se **concluyó** que los valores IRI obtenidos con el rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Roadroid no difieren significativamente y existe una correlación de moderada a muy buena. Para (**Álvarez y Rivero, 2012**) el **objetivo** o propósito de la investigación consistió en crear una herramienta electrónica que permitiera calcular el IRI para carreteras, con el fin de disminuir tanto los gastos involucrados como el tiempo requerido para el procesamiento de datos. En este estudio, se empleó una **metodología** cuantitativa que involucró la creación de una herramienta electrónica basada en el rugosímetro MERLIN para estimar IRI. Se llevaron a cabo pruebas de verificación, comparando los resultados obtenidos con la herramienta electrónica y los resultados del rugosímetro MERLIN. Además, se utilizó una hoja de cálculo para determinar las variaciones entre las diferentes mediciones, en el cual los índices de rugosidad se presentan en tablas cada 100 metros o 50 datos, cuyos **resultados** obtenidos de la investigación mostraron que el instrumento electrónico desarrollado para estimar la rugosidad de carreteras presentó una desviación promedio del 3,42% en comparación con el MERLIN mecánico y del 3,56% en comparación con el software SICallRI, por consiguiente se **concluyó** que el desarrollo del instrumento electrónico para estimar el IRI de carreteras sobresalió ser viable y eficaz. **ANTECEDENTES NACIONALES.** Para (**Huamán y Oscco, 2021**) el **objetivo** fue evaluar el tratamiento en la capa de rodadura utilizando la tecnología Otta Seal con el fin de mejorar el flujo vehicular en la carretera de Andahuaylas a Negromayo, abarcando un tramo de las progresivas km 70+000 al km 75+000; asimismo realizar un análisis de factibilidad en comparación con otras tecnologías, se usó una **metodología** cuantitativa mixta, y corresponde al tipo de

investigación aplicada con un nivel de investigación descriptivo, y un diseño no experimental. En el cual el investigador inició con la identificación del estado situacional de la carretera respecto al estado de la plataforma, obras de drenaje y alternativas de solución. Asimismo, analizó la información del expediente técnico de la carretera y por consiguiente verificó la ejecución de los trabajos, en un contexto de tratamiento asfáltico Otta Seal. Los **resultados** se presentaron tres alternativas de solución, la primera como base se propuso una capa granular estabilizado con emulsión asfáltica de espesor 15 centímetros y con 1 centímetro de superficie de rodadura con mortero asfáltico, la segunda alternativa fue con una capa de material granular estabilizado con cemento portland tipo I con un espesor de 30 centímetros, la superficie de rodadura con un mortero asfáltico de 1 centímetro de espesor y por último la tercera alternativa una base de 15 centímetros de material granular estabilizado con emulsión asfáltica, y con una superficie de rodadura con tratamiento superficial simple. Como también evaluó el presupuesto para cada alternativa y de otros tratamientos superficiales, y **concluyó** que la tecnología del Otta Seal, es una alternativa viable y de menor costo en comparación a otros tipos de tratamiento. Para la carretera Andahuaylas – Negromayo se empleó tamaño máximo de agregado igual a 5/8" (16 milímetros). La tesis de (**Flores, 2021**) tuvo como **objetivo** analizar el nivel de servicio calculando el valor el valor IRI en tratamiento Otta Seal en la carretera Arcopunco - Cabana - Puno mediante dos métodos convencionales: el rugosímetro tipo III (ARRB-R3) y el rugosímetro MERLIN; como también evaluar las fallas superficiales presentes en la superficie de rodadura. Se usó **metodología** cuantitativa, tipo de investigación aplicada con un nivel explicativo y diseño experimental. Se calcularon los valores promedio del IRI cada 100 metros mediante el uso de un rugosímetro tipo III, manteniendo velocidades entre 40 y 60 km/h. Asimismo, se obtuvieron valores cada 400 metros utilizando el rugosímetro MERLIN. Además, se realizó una evaluación de las fallas superficiales cada 50 metros. Los **resultados** obtenidos, al realizar la medición del IRI con los equipos seleccionados en la investigación, mostraron una variación notable entre ambos. Se obtuvieron valores de rugosidad más altos al medir con el rugosímetro III en comparación con el rugosímetro MERLIN; asimismo se demostró que el nivel de servicio en la carretera Arcopunco, Cabana es de 72% excelente para su transitabilidad. Se **concluyó** que el uso de herramientas como el

Rugosímetro Tipo III para el análisis de la rugosidad es una alternativa para evaluar la calidad del servicio de un pavimento y tomar decisiones de mantenimiento; no obstante, ofrecen menor confianza en cuanto a resultados, por el mismo motivo que pertenece en la clase III (menor precisión). La carretera tratada con Otta Seal en Arcapunco se encuentra en buenas condiciones y ofrece un nivel de servicio aceptable. En la investigación de **(Quispe, 2021)** el **objetivo** fue establecer una correlación entre los resultados obtenidos mediante el uso del Rugosímetro Merlín y el Rugosímetro III (ARRB-R3) en la evaluación de la evolución superficial de la carretera pavimentada tramo Juliaca - DV. Ayabacas km 2+940 al km 7+000 en 2019, con una **metodología** tipo correlacional, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, abarcando una longitud total de 04+040 km, obteniendo **resultados** de 1.64 m/km para el Rugosímetro ARRB-R3 y de 1.32 m/km para el Rugosímetro Merlín, y se compararon los resultados proporcionados por ambos equipos in situ para el carril derecho e izquierdo. El coeficiente de correlación de Pearson fue $R^2=0.843$, Además indicaron ventajas del Rugosímetro ARRB-R3 en términos de rendimiento y velocidad de medición, aunque con menor precisión en comparación con el Rugosímetro Merlín. Se encontró una diferencia del 30% en los resultados de medición de rugosidad entre ambos equipos, debido a las diferencias en la metodología de toma de datos. Además, se compararon los valores obtenidos para ambos carriles, concluyendo un desgaste prematuro en el lado derecho de la carretera, cuya **conclusión** fue que la correlación entre los resultados de los rugosímetros indicó una relación positiva fuerte, respaldada por el coeficiente de correlación. En el estudio de **(Gonzalo y Beingolea, 2021)** cuyo **objetivo** fue determinar la rugosidad del pavimento flexible en la Avenida Internacional, abarcando una extensión de 3.20 km desde el distrito Alto de la Alianza hasta el distrito de Ciudad Nueva. Para ello, se emplearon aplicativos para Smartphone y el método convencional del Rugosímetro de MERLIN, para ello se realizó con una **metodología** de diseño descriptivo-exploratorio y una investigación de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo. El trabajo de campo involucró la toma de 16 muestras de 400 metros cada una en ambos carriles, tanto ascendente como descendente, utilizando el Rugosímetro de MERLIN en una longitud total de 3.2 km, en el cual se obtuvieron **resultados**: El Rugosímetro de MERLIN arrojó valores de rugosidad de 4.07 m/km para el carril derecho y 5.14 m/km para el carril izquierdo,

con un IRI promedio de 4.61 m/km. Por otro lado, el uso del aplicativo ABAKAL IRI en el Samsung Galaxy Note 10 proporcionó valores de IRI de 4.59 m/km para el carril derecho y 4.43 m/km para el carril izquierdo, con un IRI promedio de 4.51 m/km. Por consiguiente, **concluyó** que los valores obtenidos sugieren un estado de pavimento flexible considerado como MALO para toda la extensión de la Avenida Internacional. Además, la comparación entre los resultados del aplicativo ABAKAL IRI y el Rugosímetro de MERLIN indica que los datos proporcionados por el aplicativo son aproximados y confiables en relación con los obtenidos por el método tradicional del Rugosímetro. Según **(Rios y Torres, 2022)** tuvo como **objetivo** hallar el IRI de la carretera PE-18 que conecta Huánuco y Tingo María (tramo km 30+000 – 60+000), empleando los aplicativos móviles Abakal y TotalPave. El objetivo fue evaluar la superficie de la carretera para determinar su nivel de servicio, considerando las limitaciones presupuestales para adquirir equipos de Clase 1 para estas mediciones, la **metodología** fue descriptivo-explicativo, buscando comprender el alcance de los aplicativos móviles al calcular el IRI. Se llevaron a cabo dos fases principales: la primera involucró la preparación de los aplicativos y la planificación de los trabajos de campo, utilizando los aplicativos Abakal y TotalPave en smartphones Samsung Galaxy A51 y A21, junto con un automóvil Kia Cerato modelo 2013. Se recolectaron muestras a velocidades de 35 a 70 km/h cada 100 m a lo largo de una extensión de 30 km. La segunda fase comprendió el análisis exhaustivo de los datos recopilados, comparando los resultados obtenidos por los aplicativos con los del perfilómetro láser. Donde los **resultados** fueron 3.53 m/km con TotalPave y 3.62 m/km con Abakal, con referencia al 2.35 m/km por el perfilómetro láser. Por ello, demostró la confiabilidad de los aplicativos comparándolos con el perfilómetro, resultando en un 75.52% para TotalPave y 67.35% para Abakal. **Concluyendo** que los valores IRI obtenidos muestran variaciones significativas entre los datos generados por los aplicativos móviles y el perfilómetro láser, demostrando discrepancias considerables en los valores obtenidos. Sin embargo, se determinó que TotalPave posee un mayor grado de confiabilidad en comparación con Abakal, aunque ambos difieren considerablemente de los resultados del perfilómetro láser. Para **(Apaza, 2023)** el **objetivo** fue evaluar la uniformidad superficial del pavimento en el tramo de Ilo a Moquegua, para calcular el valor del IRI utilizando y analizando los datos obtenidos

de la aplicación para teléfonos inteligentes Roadroid además, se busca comprobar a través de una evaluación subjetiva mediante la sensación de comodidad al transitar por dicha carretera para lo cual se realizó una **metodología** de investigación cualitativa de tipo descriptivo, con un nivel relacional y correlacional. Se realizó la recolección de datos de la carretera Interoceánica Sur entre Ilo y Moquegua de 76.10 kilómetros de distancia entre ambos puntos, para lo cual se llevó 3 muestras cada 100 metros, utilizando un automóvil marca Toyota Fielder y un smartphone Galaxy A50 de la marca Samsung en el cual se descargó la aplicación Roadroid. Se obtuvieron **resultados** en el cual se hallaron IRI estimado (eIRI) y el IRI calculado (cIRI) en el cual el investigador muestra en 6 tablas, En términos generales, el carril derecho de la carretera de Ilo a Moquegua muestra un 72.14% de su estado en buenas condiciones, mientras que el carril izquierdo presenta un 48.27% en buen estado y un 40.21% en estado satisfactorio. Estos resultados se obtuvieron a una velocidad promedio de 73.35 km/h en el carril derecho y 75.23 km/h en el izquierdo, con respecto al IRI estimado (eIRI) promedio se registró, en el carril derecho se registró un promedio de 2.12 m/km, mientras que en el carril izquierdo se registró un promedio de 2.56 m/k y finalmente, con respecto al IRI calculado (cIRI) promedio, en el carril derecho se registró 3.49 m/km, mientras que en el carril izquierdo se registró 3.96 m/km, en resumen, se llegó a la **conclusión** de que el app Roadroid para celulares inteligentes es de uso sencillo y cuenta con un diseño óptimo. Además, el estudio realizado sugiere que el valor del eIRI concuerda mejor con el IRI real del pavimento evaluado, ya que la velocidad prescrita para derivar el cIRI computado no permanece uniforme.

Como bases teóricas de la presente investigación tenemos

Según el manual de carreteras del Perú, Especificaciones técnicas generales para construcción (**EG, 2013**), el **tratamiento superficial** involucra la aplicación de una o múltiples capas de materiales como asfalto, áridos y, en algunas instancias, aditivos sobre la superficie de una base imprimada u otro. Asimismo, indica que la superficie del pavimento nuevo (tratamiento superficial) será considerada como aceptable en términos de rugosidad si el IRI promedio por kilómetro o por fracción no supera los 2,5 m/km, salvo que una especificación concreta indique un umbral diferente.

El **Otta Seal** es una innovadora técnica de tratamiento superficial bituminoso utilizada en construcción, conservación y mantenimiento de vías de tráfico de baja intensidad. Se ha ganado interés por ser más económica que otras opciones convencionales. Esta tecnología, aunque aún no está suficientemente investigada en los Estados Unidos, ha demostrado éxito en Noruega (**Jibón et al., 2023**).

El informe "**A Guide to the Use of Otta Seals**" de Noruega documenta experimentos realizados entre 1963 y 1965 en el Valle de Otta, siendo este su origen denominativo. Inicialmente concebido como un sellador bituminoso temporal para tareas de mantenimiento, su excepcional rendimiento llevó a su aplicación en carreteras recién construidas y previamente existentes con tráfico de intensidad media o baja. A lo largo del tiempo, este enfoque ha experimentado una extensa aplicación, transformándose desde ser un sello de bajo costo para el mantenimiento de caminos de grava hasta convertirse en una pavimentación bituminosa completa. (**Overby, 1999, p. 11**).

El tratamiento asfáltico superficial Otta Seal es un pavimento bituminoso con un espesor de 16 a 32 mm que consisten en una mezcla de agregados graduados que varían desde grava natural hasta roca triturada, junto con aglutinantes relativamente suaves (de baja viscosidad), y pueden o no incluir una capa de sello de arena. (**Overby, 1999, p. 11**).

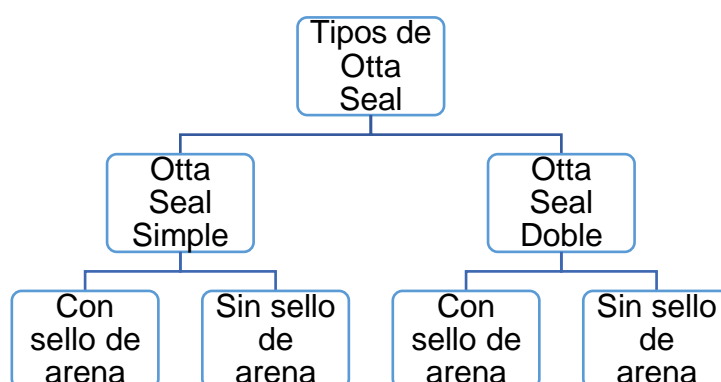


Figura 1. Tipos de Otta Seal.

Fuente: propia según la Guía para el uso del Otta Seal de Noruega.

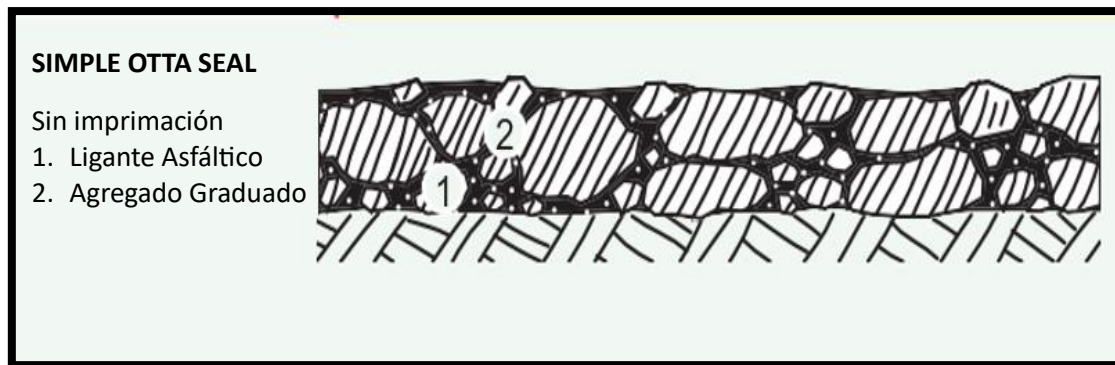


Figura 2. Otta Seal Simple.

Fuente: Propia según la Guía para el uso del Otta Seal de Noruega.

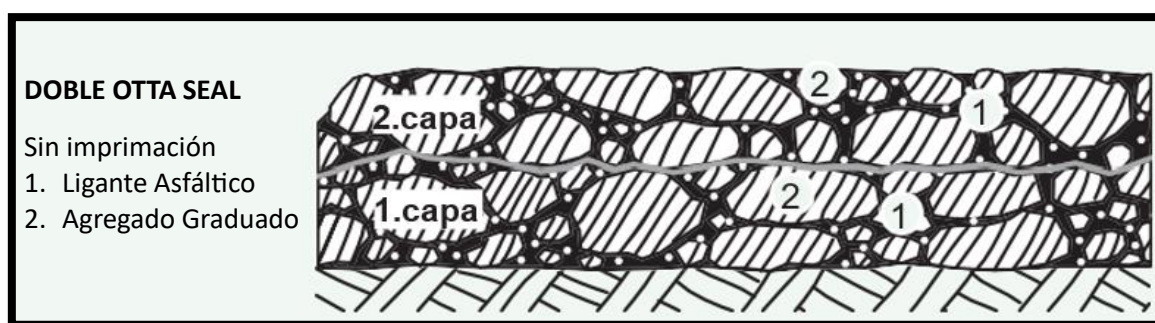


Figura 3. Otta Seal Doble.

Fuente: Propia según la Guía para el uso del Otta Seal de Noruega.

(Sayers, et al., 1986, p. 3), el **Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**, creado por el Banco Mundial durante los años ochenta, consiste en una métrica estandarizada utilizada para evaluar la rugosidad en carreteras, expresada en unidades como m/km o mm/m. Su cálculo se fundamenta en la información proporcionada por dispositivos de medición de rugosidad vial y se determina a una velocidad de 80 km/h.

Según (Oblitas, et al., 2021, p. 174), el **Índice de Rugosidad Internacional** es crucial para determinar el nivel de servicio de carreteras. Su enfoque sencillo y rápido posibilita la toma estratégica de decisiones para una intervención adecuada. Su alta confiabilidad en comparación con otros índices es respaldada por su confianza en la calidad de la información. El IRI, con valores que oscilan entre 0 y 12 m/km en pavimentos flexibles según las pautas del Banco Mundial, refleja condiciones: valores bajos indican buen estado del pavimento, mientras que valores

elevados señalan un estado intransitable. Además, se recomienda un valor inicial mínimo del IRI de 1.5 m/km para prevenir accidentes de derrape.

Para **(Román, 2020, p. 15)** el **Índice de Rugosidad Internacional** es una medida que evalúa la rugosidad de una carretera a lo largo de su perfil longitudinal. Su objetivo es reflejar la calidad del viaje para los usuarios al transitar por las vías, proporcionando información sobre la aspereza de la superficie de la carretera.

En la normativa **ASTM E 867-06**, se describe la Roughness o rugosidad como la desviación de una superficie particular con respecto a una superficie teórica plana, que influye en aspectos como la dinámica del vehículo, la calidad de conducción, las cargas dinámicas y el drenaje. **(Badilla, 2010, P. 157)**.

Según el manual de carreteras del Perú, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimento **(MTC, 2014)**, indica que la satisfacción de los usuarios se basa en la calidad de la superficie de rodadura y la seguridad vial. La AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) estableció el PSI (Present Serviceability Index) para medir el deterioro de los pavimentos, relacionando funcionalidad y estructura. Luego, surgió el **Índice de Rugosidad Internacional (IRI)** como un indicador basado en la condición superficial del pavimento. Este índice, producto de investigaciones realizadas en Brasil, representa la regularidad superficial de un pavimento e influye en la operación vehicular en términos de seguridad, comodidad, velocidad y desgaste del vehículo.

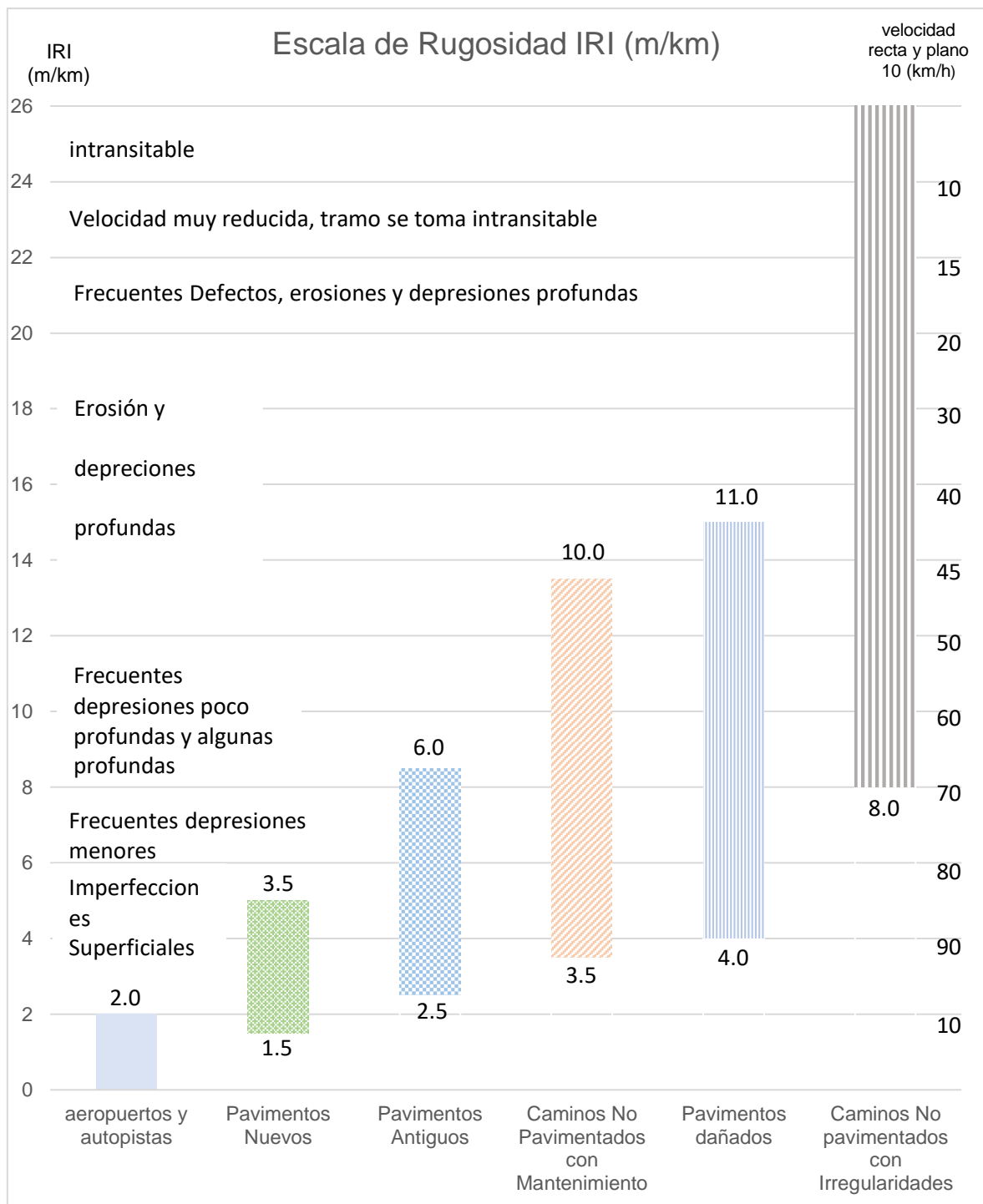


Figura 4. Escala de Rugosidad

Fuente: Suelos y Pavimento (MTC, 2014, p. 158).

El apartado sobre Suelos y Pavimento (MTC, 2014, p. 159) propone ciertos criterios para el comienzo de la vida útil de un pavimento recién construido o uno preexistente sometido a refuerzo, así como para evaluar la rugosidad a lo largo de su periodo operativo.

Tabla 1. Rugosidad Inicial IRI según Tipo de carretera con Carpeta Asfáltica en Caliente.

Tipo de Carretera	Pavimento Nuevo IRIC en metros por Kilometro	Pavimento Reforzado IRIC en metros por Kilometro	Durante el periodo de servicio IRIC en metros por Kilometro
Autopistas: IMDA > 6000 veh/día	2.00 IRIC para una Confiabilidad de 95%)	2.50 IRIC para una Confiabilidad de 95%	3.50 IRIC para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: 4001 < IMDA < 6000	2.00 IRIC para una Confiabilidad de 95%	2.50 IRIC para una Confiabilidad de 95%	3.50 IRIC para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: 2001 < IMDA < 4000	2.50 IRIC para una Confiabilidad de 95%	3.00 IRIC para una Confiabilidad de 95%	4.00 IRIC para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: 401 < IMDA < 2000	2.50 IRIC para una Confiabilidad de 90%	3.00 IRIC para una Confiabilidad de 90%	4.00 IRIC para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: 201 < IMDA < 400	3.00 IRIC para una Confiabilidad de 90%	3.50 IRIC para una Confiabilidad de 90%	4.50 IRIC para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Transito: IMDA ≤ 200 veh/día	3.00 IRIC para una Confiabilidad de 85%	3.50 IRIC para una Confiabilidad de 85%	4.50 IRIC para una Confiabilidad de 85%

Fuente: Suelos y Pavimento (MTC, 2014, p. 159).

*IMDA: Índice Medio Diario Anual.

Con Resolución Directoral N°051-2007- MTC/14. Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras (MTC, 2007, p. 19) indica lo siguiente:

Tabla 2. Escala de rugosidad IRI (m/km).

Estado	Pavimentado	No pavimentado
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6.0$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6.0 < IRI \leq 8.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8.0 < IRI \leq 10.0$
Muy malo	$5.0 < IRI$	$10.0 < IRI$

Fuente: (MTC, 2007, p. 19).

Según el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial”, en el Capítulo 3: Niveles de Servicio, en el apéndice 3.a Niveles de servicio para calzada de tratamiento superficial (MTC, 2018, p. 41).

Tabla 3. Escala de rugosidad IRI (m/km).

Tratamientos Superficial		Nivel de Servicio				
		Autopista Primera Clase	Autopista Segunda Clase	Carretera Primera Clase	Carretera Segunda Clase	Carretera Tercera Clase
Parámetro	Medida	$IMD > 6000$	$4000 \leq IMD \leq 6000$	$4000 \leq IMD \leq 6000$	$4000 \leq IMD \leq 6000$	$IMD < 400$
Obra Nueva	IRIc (TSB nuevo)	-	-	-	-	3.0 IRIc (confiabilidad al 70%)
Obra con Recapa Asfáltica	IRIc (TSB con Recapa Asfáltica)	-	-	-	-	3.5 IRIc (confiabilidad al 70%)
En Periodo de Servicio	IRIc (TSB Periodo de Servicio)	-	-	-	-	4.3 IRIc (confiabilidad al 70%)

Fuente: Mantenimiento o Conservación Vial (MTC, 2018, p. 41)

A continuación, se presenta una tabla 4. resumen que detalla la normativa peruana relacionada con los tratamientos asfálticos. Es importante señalar que esta normativa no ofrece especificaciones particulares para el tratamiento Otta Seal.

Tabla 4. Resumen de Criterios de evaluación de la Rugosidad.

NORMA / MANUAL	NIVEL DE SERVICIO			
Banco Mundial 1986	Aeropuertos y Autopista	IRI \leq 2.0 m/km		
	Pavimentos Nuevos	1.5 m/km \leq IRI \leq 3.5 m/km		
	Pavimentos Antiguos	2.5 m/km \leq IRI \leq 6.0 m/km		
	Caminos No Pavimentados con mantenimiento	3.5 m/km \leq IRI \leq 10 m/km		
	Pavimentados Dañados	4 m/km \leq IRI \leq 11 m/km		
	Caminos No Pavimentados con Irregularidades	IRI \geq 8 m/km		
Especificaciones Técnicas generales para la conservación de carreteras (MTC, 2007, p. 19).	Pavimentado		No Pavimentado	
	Bueno	0 < IRI \leq 2.8	Bueno	IRI \leq 6.0
	Regular	2.8 < IRI \leq 4.0	Regular	6.0 < IRI \leq 8.0
	Malo	4.0 < IRI \leq 5.0	Malo	8.0 < IRI \leq 10.0
	Muy Malo	5.0 < IRI	Muy Malo	10.0 < IRI
Especificaciones Técnicas generales para construcción (MTC, 2013, p. 519)	La superficie del tratamiento asfáltico se considera aceptable si el IRI promedio por kilómetro o por fracción es igual o inferior a 2.5 metros por kilómetro.			
Suelos y Pavimentos (MTC, 2014, p. 159)	Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Pavimento Nuevo	Rugosidad Característica Pavimento Reforzado	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio
	Autopista	2.00 IRI _c (confiabilidad de 95%)	2.50 IRI _c (confiabilidad de 95%)	3.50 IRI _c (confiabilidad de 95%)
	Carreteras Duales o Multicarril	2.00 IRI _c (confiabilidad de 95%)	2.50 IRI _c (confiabilidad de 95%)	3.50 IRI _c (confiabilidad de 95%)
	Carreteras de Primera Clase	2.50 IRI _c (confiabilidad de 95%)	3.00 IRI _c (confiabilidad de 95%)	2.00 IRI _c (confiabilidad de 95%)
	Carreteras de Segunda Clase	2.50 IRI _c (confiabilidad de 90%)	3.00 IRI _c (confiabilidad de 90%)	4.00 IRI _c (confiabilidad de 90%)
	Carreteras de Tercera Clase	3.00 IRI _c (confiabilidad de 90%)	3.50 IRI _c (confiabilidad de 90%)	4.50 IRI _c (confiabilidad de 90%)
	Carreteras de Bajo Volumen de tránsito	3.00 IRI _c (confiabilidad de 85%)	3.50 IRI _c (confiabilidad de 85%)	4.50 IRI _c (confiabilidad de 85%)
Mantenimiento o Conservación Vial (MTC, 2018, p. 41).	Tipo de Carretera	Rugosidad Obra nueva	Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica	Rugosidad Periodo de Servicio
	Tratamiento Superficial	3.0 IRI _c (confiabilidad de 70%)	3.5 IRI _c (confiabilidad de 70%)	4.3 IRI _c (confiabilidad de 70%)

Fuente: Propia según normativa peruana Ministerio Transporte y Comunicaciones.

Según (**Vargas y Ulate, 2014, p. 2**), en 1982, el Banco Mundial respaldó el ensayo global sobre la rugosidad de carreteras conocido como Experiencias Internacionales de Rugosidad de Caminos (IRRE), con el objetivo de establecer relaciones y ajustes entre diversos dispositivos para medir el perfil de la superficie de rodadura. En este proceso, se categorizaron los enfoques de medición en cuatro grupos distintos:

Clase I: Esta categoría incluye equipos de alta precisión capaces de medir el perfil del pavimento cada 250 mm con una elevada exactitud de 0.5 mm en pavimentos muy lisos. Ejemplos de equipos de esta clase son el Rugosímetro MERLIN, Viga TRRL y el Perfilómetro Láser de Alta Velocidad

Clase II: En esta clase, se calcula directamente el IRI, pero los equipos no cumplen con los estándares de precisión de la Clase I.

Clase III: Los equipos en esta clase son menos precisos y obtienen el IRI a través de correlaciones. Incluyen sistemas de medición de irregularidades de respuesta, como el Response Type Road Roughness Measuring System (RTRRMS), que dependen de las características dinámicas del vehículo y deben calibrarse respecto a equipos de Clase I o II. Son herramientas pequeñas, económicas y fáciles de usar, utilizadas para medir el perfil de carreteras rurales pavimentadas o no pavimentadas con relieves ondulados y montañosos. Ejemplos son el Rugosímetros Tipo III (ARRB), Bump Integrador y Automatic Road Unevenness Recorder.

Clase IV: Este grupo incluye inspecciones visuales subjetivas y mediciones de uniformidad que no se realizan con un equipo calibrado en particular.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación:

Según (Castro, et al., 2023, p. 152) la investigación aplicada se realiza con el propósito específico de resolver problemas prácticos. Se basa en los conocimientos obtenidos a través de la investigación básica y busca su aplicación en situaciones reales. La investigación aplicada tiene un impacto más directo y visible en la sociedad, ya que se centran en la resolución de problemas particulares. A diferencia de la investigación básica, la investigación aplicada busca resultados tangibles en un período más corto, lo que la hace más relevante para abordar desafíos actuales.

La actual investigación es de **tipo aplicativa**, ya que implica el uso práctico y la aplicación de herramientas (rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y smartphone) para determinar la rugosidad en un tratamiento específico (Otta Seal) en una ubicación y período concreto (Chapapampa Jonsani 2023).

3.1.2 Diseño de investigación:

Esta investigación es de **Diseño no experimental, transversal de nivel relacional**. Para (Arias y Covinos, 2021, p. 78) el diseño no experimental de tipo transversal implica la recopilación de datos en un único momento y una sola vez, es decir, permiten obtener información puntual sobre el estado o comportamiento de las variables en un momento específico, Aborda alcances exploratorios, descriptivos y correlacionales en el análisis de las variables.

La actual investigación es de **Diseño no experimental**, este diseño de investigación no utiliza estímulos, ni condiciones experimentales; ya que el cálculo de la rugosidad en tratamiento asfáltico superficial Otta Seal son evaluados en su entorno natural sin alteraciones (No se manipulan las variables), **transversal** porque se realiza una sola medición por cada equipo utilizado (Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal para Smartphone) en un momento específico y es **nivel relacional** por que se busca entender la relación entre las variables y que tan fuerte es esa relación.

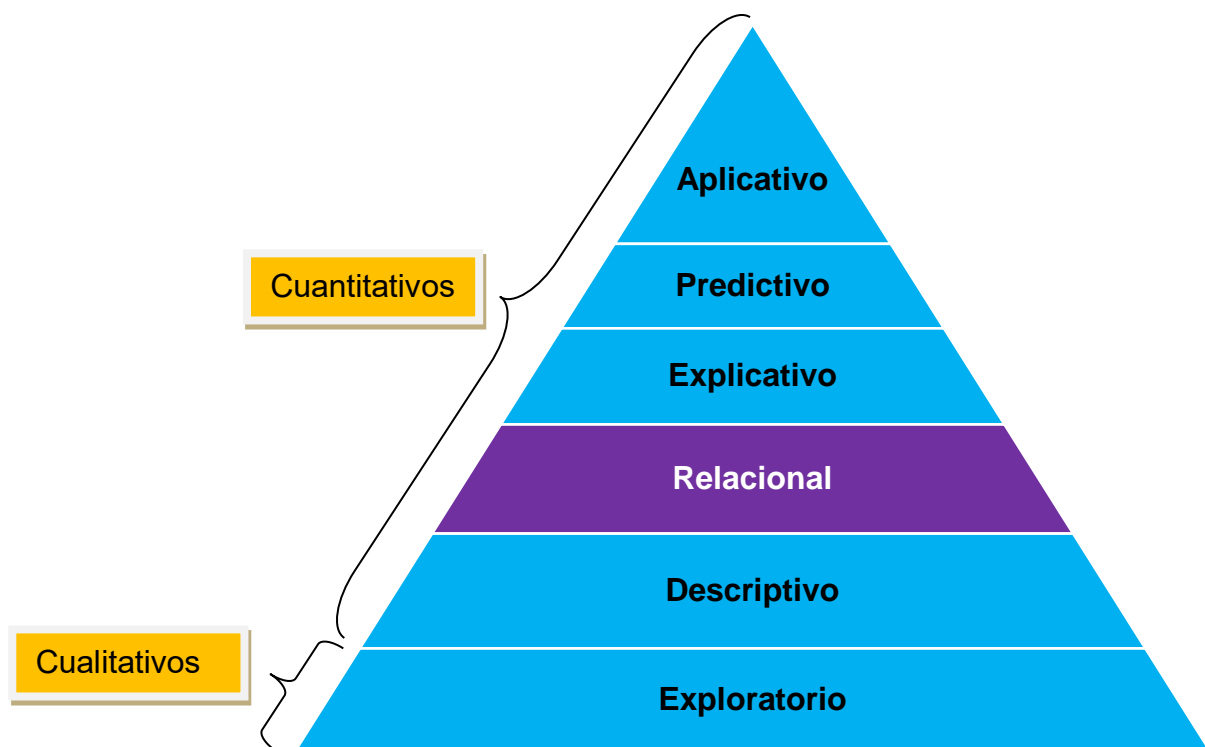


Figura 5: Niveles de Investigación.

Fuente: Propia en base a (Espinoza y Ochoa, 2021, p. 97).

Según **(Hinojosa, 2023)** La relación en la investigación relacional implica asociar variables categóricas y correlacionar variables numéricas. "Relacional" es un nivel de investigación, mientras que "correlación" es una técnica estadística, pero la relación engloba múltiples procedimientos estadísticos, incluyendo la correlación.

La presente investigación se tiene variables numéricas, por lo tanto, se busca una **correlación** entre ellas para comprender su relación.

3.2 Variables y operacionalización

Según **(Arias, 2021, p. 46)** las variables se familiarizan mediante dos formas: la definición conceptual, tratándolas como términos en un glosario, y la definición operacional, que establece cómo medir su valor. Este proceso se conoce como operacionalización de variables, siendo esencial en investigación.

La siguiente tesis de investigación es de nivel relacional por ende se tiene dos tipos de variables: variables asociadas y variables de supervisión. Para **(Espinoza y**

Ochoa, 2021, p. 93) los estudios relacionales son predominantemente bivariados, empleando dos variables: la supervisora (de interés) y la asociada, vinculada a la primera. No existe variable dependiente o independiente; se busca relación y vínculo entre ambas.

Variable de Supervisión: Índice de Rugosidad Internacional

- **Definición Conceptual:**
El Índice de Rugosidad Internacional es un valor de la rugosidad vial, fundamentada en la respuesta del vehículo ante las imperfecciones superficiales de la carretera. (Prashant, et al., 2018, p. 11742).
- **Definición Operacional:**
Para el cálculo del valor del IRI se emplea tres instrumentos: rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal en un Smartphone, esto se aplica en el tratamiento asfáltico superficial Otta Seal en la carretera Chapapampa Jonsani.
- **Dimensiones:**
Estado de la superficie de la carretera con tratamiento Otta Seal.
- **Indicadores:**
IRI (m/Km).
- **Escala de medición:**
Se tiene intervalos medibles con un origen real por ello es la escala de tipo razón.

Variable Asociada: rugosímetro MERLIN

- **Definición Conceptual:**
El MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation) para la medición de la rugosidad en carreteras, siendo una variación del perfilómetro estático. (Hernández, 2018, p. 23).
- **Definición Operacional:**
El rugosímetro MERLIN mide la rugosidad de la carretera realizando lecturas en secciones de alrededor de 400 metros de distancia a lo largo de un carril específico de la vía.

- **Dimensiones:**
Rugosidad de la Superficie de la carretera.
- **Indicadores:**
IRI (m/Km).
- **Escala de medición:**
Se tiene intervalos medibles con un origen real por ello es la escala de tipo razón.

Variable Asociada: rugosímetro ARRB-R3

- **Definición Conceptual:**
El Rugosímetro ARRB-R3 desarrollado por ARRB (The Australian Road Research Board) en Australia, de Clase III, Su propósito reside en la evaluación de la rugosidad del pavimento mediante la reacción que produce la suspensión de un vehículo a velocidades de 40 - 60 km/h. **(Vargas y Ulate, 2014, p. 2).**
- **Definición Operacional:**
El rugosímetro ARRB-R3 mide la rugosidad de la carretera a través de sensores que registran las vibraciones y reacciones del vehículo al transitar por la superficie.
- **Dimensiones:**
Rugosidad de la Superficie de la carretera.
- **Indicadores:**
IRI (m/Km)
- **Escala de medición:**
Se tiene intervalos medibles con un origen real por ello es la escala de tipo razón.

Variable Asociada: Aplicativo Abakal Smartphone

- **Definición Conceptual:**
Abakal IRI es una aplicación móvil desarrollada por Abakal Ingenieros Consultores que permite calcular el IRI utilizando sensores de vibración y GPS de dispositivos Android que permite visualizar, analizar y extraer los datos acumulados. **(Osco y Atencio, 2022, p. 42)**

- **Definición Operacional:**

La aplicación Abakal utiliza el acelerómetro y el GPS del teléfono inteligente para recopilar datos de rugosidad y coordenadas GPS. Esta aplicación genera gráficos e informes sobre los valores del IRI en intervalos de 100 metros a velocidades de 80 km/h.

- **Dimensiones:**

Rugosidad de la Superficie de la carretera.

- **Indicadores:**

IRI (m/Km)

- **Escala de medición:**

Se tiene intervalos medibles con un origen real por ello es la escala de tipo razón.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población:

Según (**Pastor, 2019, p. 245**) la población en cuestión dentro de una investigación hace referencia al conjunto total de elementos que son relevantes o de interés para el estudio.

Para el desarrollo de la investigación la población constituye el tramo desvío Chapapampa hasta Jonsani, del distrito de Huancané, Provincia de Huancané, Departamento de Puno, que comprende una longitud de 12.54 kilómetros.

- **Criterios de inclusión:** Tramo de carretera desde Chapapampa hasta Jonsani en el distrito de Huancané, Provincia de Huancané, Departamento de Puno, con una longitud de 12.54 kilómetros.
- **Criterios de exclusión:** Los diferentes desvíos que se encuentran entre la carretera Chapapampa – Jonsani.

3.3.2 Muestra:

Para **(López, 2004, p. 69)** La muestra consiste en una porción o subgrupo representativo de la población o conjunto total bajo estudio, se obtiene mediante métodos lógicos y fórmulas.

Es así, que para la investigación de los 12.54 kilómetros de longitud de la población, se tomara una muestra de la progresiva 0+000 al 5+000 con una longitud de 5 kilómetros de la carretera Chapapampa – Jonsani.

3.3.3 Muestreo:

La muestra puede clasificarse en dos categorías: probabilística y no probabilística. En muestreo probabilístico, cada individuo tiene probabilidad conocida de ser elegido al azar. En muestreo no probabilístico, la selección se basa en características específicas y criterios. **(Otzen y Manterola, 2017, p. 228).**

La investigación se basa en una técnica de muestreo **no probabilístico**. Ello se atribuye a la elección de una muestra de 5.00 kilómetros de longitud de la carretera Chapapampa Jonsani, lo que significa que no se utilizará métodos estadísticos para elegir la muestra, por lo que se dará por conveniencia del investigador.

3.3.4 Unidad de análisis:

De acuerdo con **(Arias y Covinos, 2021, p. 118)**, la unidad de análisis hace referencia al elemento investigado del cual se recolectan datos con el propósito de análisis. Por otro lado, la unidad de muestreo constituye el medio a través del cual se adquiere la información para la investigación.

Por ende, la unidad de análisis se refiere a cada medición específica del IRI realizada a lo largo de los 5 kilómetros de extensión de la vía "Chapapampa Jonsani" que se ha seleccionado como muestra, utilizando los instrumentos (rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y smartphone) y la unidad de muestreo serían las secciones específicas del tramo de carretera "Chapapampa Jonsani" donde se aplican los instrumentos (rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y smartphone) para medir el IRI del tratamiento Otta Seal de dicha carretera.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para (Mendoza y Duana, 2020, p. 51) las técnicas e instrumentos garantizan la base empírica de la investigación. El método es la guía de la indagación, las técnicas son herramientas que aplican el método y los instrumentos son recursos o medios para llevar a cabo la investigación.

3.4.1 Técnica de recolección de datos

Los métodos empleados en esta investigación para obtener datos sobre los valores IRI en la carretera Chapapampa Jonsani comprenderán la Observación Directa mediante la utilización de dispositivos como el rugosímetro MERLIN, ARRB-R3 y la aplicación Abakal, que se encargarán de medir la rugosidad en la vía.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Cada instrumento empleado en este estudio sigue las pautas del manual propio para recopilar la rugosidad en la capa del tratamiento asfáltico Otta Seal en la carretera Chapapampa Jonsani. Los instrumentos utilizados son:

- Rugosímetro MERLIN:
Del acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation) para la medición de la rugosidad en carreteras, siendo una variación del perfilómetro estático. (Hernández, 2018, p. 23).

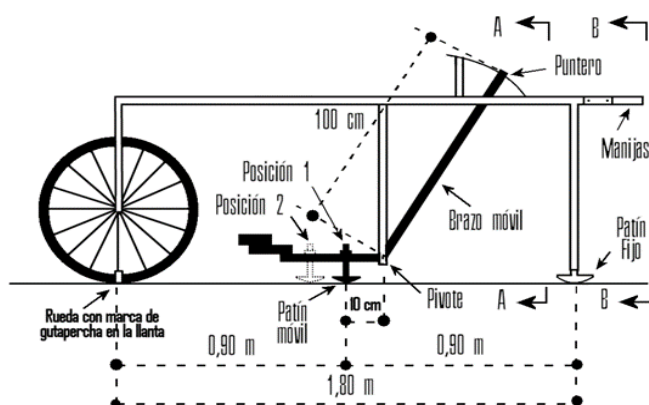


Figura 6: Diagrama de Rugosímetro MERLIN.

Fuente: (Álvarez y Rivero, 2012, p. 50).

- Rugosímetro ARRB-R3:

El Rugosímetro ARRB-R3 desarrollado por ARRB (The Australian Road Research Board) en Australia, de Clase III, Su propósito reside en la evaluación de la rugosidad del pavimento mediante la reacción que produce la suspensión de un vehículo a velocidades de 40 - 60 km/h. **(Vargas y Ulate, 2014, p. 2).**

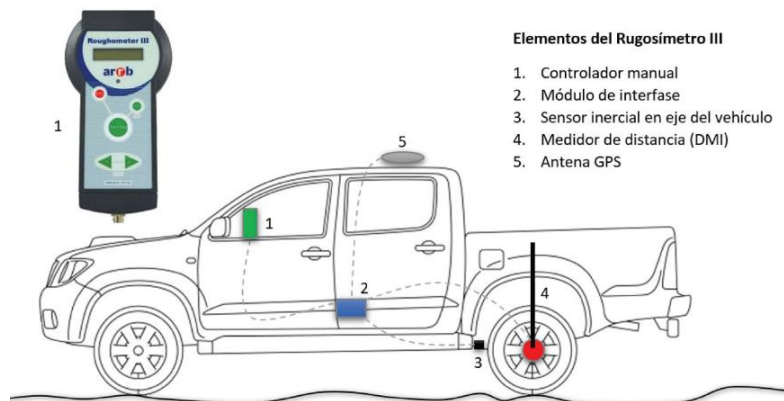


Figura 7: Diagrama de Rugosímetro ARRB-R3.

Fuente: Lanamme-UCR.

- Aplicativo Abakal para Smartphone:

Abakal IRI es una aplicación móvil desarrollada por Abakal Ingenieros Consultores que permite calcular el IRI utilizando sensores de vibración y GPS de dispositivos Android que permite visualizar, analizar y extraer los datos acumulados. **(Osco y Atencio, 2022, p. 42)**



Figura 8: Aplicación Abakal IRI.

Fuente: Google play.

3.5 Procedimiento:

El método de adquisición de datos para este estudio se realizará con el objetivo de obtener mediciones del IRI en la carretera con tratamiento Otta Seal en el tramo de Chapapampa Jonsani durante el año 2023. A continuación, se explica minuciosamente el procedimiento:

3.5.1 Procedimiento de recolección de datos del rugosímetro MERLIN según el manual.

- **Planificación:** Se realizó una cuidadosa planificación para asegurar una correcta obtención de datos del rugosímetro MERLIN. Se llevó a cabo una señalización y regulación de las vías con el propósito de evitar posibles interferencias durante la toma de datos
- **Calibración:** Previo al inicio de las mediciones, se realizó la calibración del equipo. Se posicionó el rugosímetro en una posición horizontal y se ajustó hasta que marque 25 como parte del proceso de calibración. Se verificó la precisión del dispositivo mediante una pastilla de calibración antes de cada prueba.
- **Preparación y Ejecución de la Prueba:** La recopilación de datos requirió la colaboración de un equipo de tres personas. Un operador manejó el dispositivo, otro se encargó de registrar las mediciones, mientras que el último restante brindó asistencia para garantizar la seguridad del entorno durante la prueba. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.
- **Registro de Datos:** Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se utilizaron tres puntos fijos de referencia: la rueda de medición, un soporte trasero fijo y un brazo oscilante. Las lecturas del indicador se tomaron en cada uno de estos puntos y se anotaron detalladamente en una hoja de campo. Cada prueba generó un conjunto de 200 puntos de medición, cubriendo aproximadamente 400 metros de distancia.

- **Carga y Análisis de Datos:** Tras finalizar la recolección de datos en el terreno, se procedió a calcular el IRI mediante una plantilla Excel.

3.5.2 Procedimiento de recolección de datos del rugosímetro ABBR-R3 según el manual.

- **Instalación de sensores:** Se colocó el controlador en el automóvil y se ajustaron todas las funciones requeridas para llevar a cabo la medición. Esto incluye la adquisición de datos como la distancia, coordenadas y rugosidad, que se almacenaron en la memoria del controlador. Se utilizaron los botones funcionales del controlador para realizar diferentes acciones durante el proceso.
- **Montaje del Sensor de Rugosidad:** El sensor de rugosidad se montó en el amortiguador del vehículo. Se aseguró su orientación vertical utilizando un nivel de burbuja y se fijó con tornillos para evitar movimientos. se ajustó según el tipo de suspensión del vehículo.
- **Montaje del Sensor de Distancia (DMI):** Se llevó a cabo la fijación del sensor de distancia en la llanta del vehículo mediante una placa adaptada para este propósito. La ubicación fue en la rueda trasera del lado del conductor. El DMI contó con una varilla de soporte que se conectó al cuerpo del vehículo a través de un cojinete.
- **Instalación del Receptor GPS:** Se conectó el receptor GPS al módulo de interfaz del Rugosímetro ARRB.
- **Toma de Datos:** Se verificó que la presión de las llantas del vehículo esté en el rango de 30 psi a 35 psi. Por consiguiente, se inició la toma de datos a velocidades de 40 km/h.
- **Procesamiento de la Información:** Finalmente se instaló el software Roughometer.exe, conectando el Rugosímetro ARRB a una computadora mediante el cable USB suministrado. Utilizando el software, se seleccionó el archivo que contenía los datos de la medición.

3.5.3 Procedimiento de recolección de datos del aplicativo Abakal para smartphone según el manual.

Antes de la recolección de datos en la carretera de Chapapampa – Jonsani, se realizó una prueba piloto de la aplicación para su validez y confiabilidad. En anexos se puede ver dicho análisis.

- **Montaje y Preparación del Smartphone:** El smartphone se sujetó adecuadamente en la ventana delantera del vehículo para obtener datos de vibración y aceleración.
- **Inicio de la Aplicación Abakal:** Se abrió la aplicación Abakal desde el smartphone, luego se accedió a la configuración y se ajustaron las preferencias de dispositivo.
- **Inicio de la Recopilación de Datos:** Se seleccionó la opción "INICIAR", el cual cambio a "CONTEO", el cual se seleccionó nuevamente para comenzar la toma de datos a una velocidad promedio de 80 km/h.
- **Detención y Carga de Datos:** Se detuvo la toma de datos presionando "PARAR" en la aplicación. Luego se presionó la opción "GUARDAR".
- **Descarga y Análisis de Datos:** Los datos recopilados se cargaron en el mismo dispositivo para su posterior análisis. Los datos se descargaron desde en directorio "/storage/0/Abakal/IRI" de los cuales se obtuvieron 3 archivos.
- **Generación de Resultados:** Se obtuvieron 3 archivos, de los cuales dos archivos estuvieron en formato csv y uno en formato kml. El primer archivo abría una hoja de cálculo, el segundo una tabla de control y el tercero se abría en Google Earth.

3.6 Método de análisis de datos:

Se llevó a cabo mediante un enfoque que busca identificar las relaciones entre las variables. Primeramente, se determinó los valores IRI con los 3 instrumentos: Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo para smartphone Abakal. Posteriormente se halló el coeficiente de correlación de Pearson (R), el coeficiente de determinación (R^2), ecuación de regresión, error relativo y absoluto. Este proceso permitió obtener una comprensión más profunda de los resultados obtenidos y extraer conclusiones significativas para responder a los objetivos de la investigación. El análisis se realizó utilizando herramientas estadísticas en una plantilla Excel.

3.7 Aspectos éticos

Este estudio se rige por los principios de integridad y legalidad. Se ha respetado la normativa ISO 690 para la atribución de fuentes. Además, se garantiza la confidencialidad de los datos recopilados y se han seguido los procedimientos éticos de investigación al evaluar el IRI del tratamiento Otta Seal en Chapapampa-Jonsani.

IV. RESULTADOS

4.1 Determinación del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal mediante el Rugosímetro MERLIN en la carretera Chapapampa - Jonsani.

4.1.1 Datos del Rugosímetro MERLIN

Los días 28 y 29 de septiembre de 2023, se llevaron a cabo los ensayos del rugosímetro MERLIN en el tramo Chapapampa - Josani, con una muestra de 5 kilómetros, registrando 13 valores de IRI tanto en la huella derecha como en la huella izquierda, cada 400 metros. La recopilación de datos se efectuó siguiendo el formato que se detalla a continuación:


 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO																																																																																																																																																																																																																																								
Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023	Tesista: Ing. Resp. : Fecha:																																																																																																																																																																																																																																							
Tramo: Huella:																																																																																																																																																																																																																																								
Ensayo N°: <input type="text"/>	Inicio Km: <input type="text"/> Fin km: <input type="text"/>																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"><thead><tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th></tr></thead><tbody><tr><th>1</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>2</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>3</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>4</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>5</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>6</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>7</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>8</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>9</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>10</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>11</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>12</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>13</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>14</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>15</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>16</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>17</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>18</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>19</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><th>20</th><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1											2											3											4											5											6											7											8											9											10											11											12											13											14											15											16											17											18											19											20										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1																																																																																																																																																																																																																																								
2																																																																																																																																																																																																																																								
3																																																																																																																																																																																																																																								
4																																																																																																																																																																																																																																								
5																																																																																																																																																																																																																																								
6																																																																																																																																																																																																																																								
7																																																																																																																																																																																																																																								
8																																																																																																																																																																																																																																								
9																																																																																																																																																																																																																																								
10																																																																																																																																																																																																																																								
11																																																																																																																																																																																																																																								
12																																																																																																																																																																																																																																								
13																																																																																																																																																																																																																																								
14																																																																																																																																																																																																																																								
15																																																																																																																																																																																																																																								
16																																																																																																																																																																																																																																								
17																																																																																																																																																																																																																																								
18																																																																																																																																																																																																																																								
19																																																																																																																																																																																																																																								
20																																																																																																																																																																																																																																								
observaciones:																																																																																																																																																																																																																																								
Tipo de pavimento: Afirmado <input type="checkbox"/> Base Granular <input type="checkbox"/> Base Imprimada <input type="checkbox"/> Trat. Bicapa <input type="checkbox"/> Carpeta en Frio <input type="checkbox"/> Carpeta en Caliente <input type="checkbox"/> Recapeo Asfáltico <input type="checkbox"/> Sello <input type="checkbox"/> Tratamiento Otta Seal <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																								

Figura 9. Formato de recolección de datos del rugosímetro MERLIN.

Fuente: propia en base al manual de Rugosímetro MERLIN.

Tabla 5. Resumen de datos del rugosímetro MERLIN.

RESUMEN DE DATOS DE ENSAYO DE RUGOSÍMETRO MERLIN										
Nº ENSAYO	PROGRESIVA		DISTANCIA	Huella Derecha	Nº ENSAYO	PROGRESIVA		DISTANCIA	Huella Izquierda	IRI promedio
	DESDE	HASTA				DESDE	HASTA			
H.D. 01	0+000	0+400	400	3.14	H.I. 01	0+000	0+400	400	2.86	3.00
H.D. 02	0+400	0+800	400	3.51	H.I. 02	0+400	0+800	400	3.19	3.35
H.D. 03	0+800	1+200	400	3.45	H.I. 03	0+800	1+200	400	3.15	3.30
H.D. 04	1+200	1+600	400	3.19	H.I. 04	1+200	1+600	400	2.87	3.03
H.D. 05	1+600	2+000	400	3.53	H.I. 05	1+600	2+000	400	3.24	3.39
H.D. 06	2+000	2+400	400	3.49	H.I. 06	2+000	2+400	400	3.20	3.35
H.D. 07	2+400	2+800	400	3.87	H.I. 07	2+400	2+800	400	3.43	3.65
H.D. 08	2+800	3+200	400	3.88	H.I. 08	2+800	3+200	400	3.47	3.68
H.D. 09	3+200	3+600	400	3.53	H.I. 09	3+200	3+600	400	3.24	3.39
H.D. 10	3+600	4+000	400	3.54	H.I. 10	3+600	4+000	400	3.18	3.36
H.D. 11	4+000	4+400	400	3.62	H.I. 11	4+000	4+400	400	3.32	3.47
H.D. 12	4+400	4+800	400	4.29	H.I. 12	4+400	4+800	400	3.77	4.03
H.D. 13	4+800	5+200	400	3.87	H.I. 13	4+800	5+200	400	3.43	3.65

Fuente: Propia.

4.1.2 Análisis de Datos del Rugosímetro MERLIN

El análisis de datos se realizó en una plantilla de Excel:

Tabla 6. Parámetros de los datos recolectados por Rugosímetro MERLIN.

Parámetros	Huella Derecha (m/km)	Huella Izquierda (m/km)	PROMEDIO (m/km)
Mínimo	3.14	2.86	3.00
Máximo	4.29	3.77	4.03
Promedio	3.61	3.26	3.43
Desviación standard	0.31	0.24	0.27

Fuente: Propia.

En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos del ensayo del Rugosímetro MERLIN. Se observan valores mínimos de 3.14 m/km y 2.86 m/km para las huellas derecha e izquierda, respectivamente, indicando áreas menos rugosas. Por otro lado, los valores máximos, de 4.29 m/km y 3.77 m/km para las mismas huellas, señalaron secciones más irregulares. En promedio, las mediciones resultaron en 3.61 m/km para la huella derecha y 3.26 m/km para la izquierda, con una diferencia promedio de 0.35 m/km entre ambas. El IRI promedio de la carretera Chapapampa – Jonsani es de 3.43 m/km.

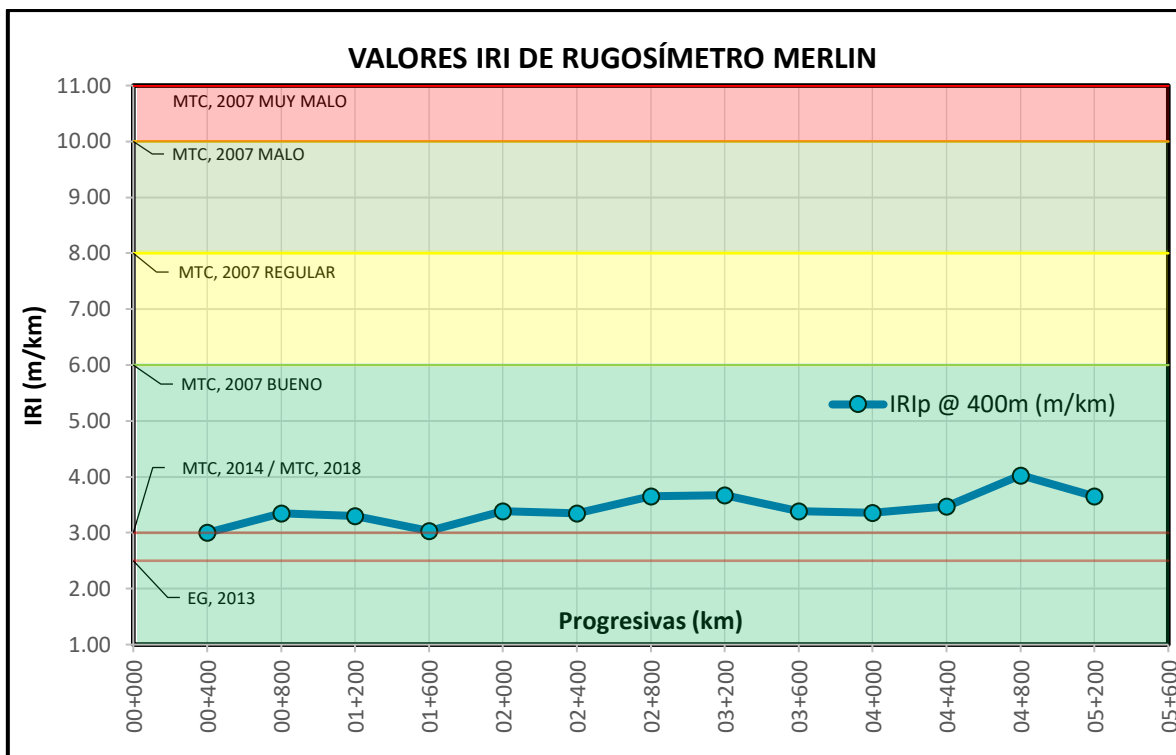


Figura 11. Valores IRI obtenidos por el Rugosímetro MERLIN.

Fuente: Propia.

4.1.3 Resultados del Rugosímetro MERLIN

Tabla 7. Interpretación de resultados del Rugosímetro MERLIN según normativa peruana.

NORMATIVA	PARÁMETRO	IRI _p promedio (m/km)	IRI _c característico (m/km)	CONDICIÓN
MTC, 2007.	Bueno (IRI ≤ 6.0) Regular (6.0 < IRI ≤ 8.0) Malo (8.0 < IRI ≤ 10.0) Muy Malo (10.0 < IRI)	3.4	-	Bueno
EG, 2013.	Tratamientos Superficiales: IRI _p ≤ 2.5 m/Km	3.4	-	No Cumple
MTC, 2014.	Carretera Nueva de Tercera Clase: IRI _c ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 90%)	-	3.8	No Cumple
MTC, 2018.	Carretera Nueva de Tercera Clase con tratamiento superficial: IRI _c ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 70%)	-	3.6	No Cumple

Fuente: Propia

En la tabla 7 se muestran los resultados del ensayo del rugosímetro MERLIN en la carretera Chapapampa - Jonsani, se observa que los valores de IRI obtenidos se compararon con diferentes normativas de manuales de carreteras del Perú. Según las especificaciones de estos manuales, se establecen rangos de IRI para definir las condiciones de la carretera. En este caso, se puede observar que los valores: el IRI promedio (IRIp) igual a 3.4 m/km, el IRI característico (IRIc) con una confiabilidad de 90% igual a 3.8 m/km y el IRI característico (IRIc) con una confiabilidad de 70% igual a 3.6 m/km, siendo estos valores superiores a los límites establecidos en la normativa peruana.

Según el Manual de Carreteras (MTC, 2007), un IRI promedio de 3.4 m/km se considera en la categoría "Bueno". Sin embargo, no se proporciona un valor para el IRI en tratamientos Otta Seal. Según (EG, 2013), un tratamiento superficial debería tener un IRIp de ≤ 2.5 m/km, por lo que el valor de 3.4 m/km no cumple con esta especificación. Respecto Suelos y pavimentos (MTC, 2014), el IRI característico (IRIc) establecido es de ≤ 3.00 m/km con una confiabilidad del 90%. se alcanzó un IRIc de 3.8 m/km, lo que indica que no cumple con esta especificación. Finalmente, Mantenimiento o Conservación Vial (MTC, 2018), el IRIc también debería ser de ≤ 3.00 m/km, aunque con una confiabilidad del 70%. En esta normativa, el valor registrado fue de 3.6 m/km, incumpliendo con esta especificación también. Como se muestra en la tabla 7 la normativa peruana no aborda específicamente la evaluación de tratamientos Otta Seal, una tecnología nueva en el país.

4.2 Determinación del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal mediante el Rugosímetro ARRB-R3 en la carretera Chapapampa - Jonsani.

4.2.1 Datos del Rugosímetro ARRB-R3

El día 29 de setiembre del 2023 se realizó el ensayo de Rugosímetro ARRB-R3 en el tramo Chapapampa - Josani, con una muestra de 5 kilómetros. Dicho ensayo se realizó en una camioneta Toyota Hilux a velocidades de 40 km/h, Durante estos ensayos, se registraron 50 valores de IRI por cada sentido (ida y vuelta).

Tabla 8. Resumen de datos del rugosímetro ARRB-R3.

RESUMEN DE DATOS DE ENSAYO RUGOSÍMETRO ARRB-R3					
PROGRESIVA		DISTANCIA (m)	SENTIDO		IRI promedio (m/km)
DESDE	HASTA		IDA (m/km)	VUELTA (m/km)	
0+000	0+100	100	3.20	4.40	3.80
0+100	0+200	100	3.15	2.65	2.90
0+200	0+300	100	3.25	3.10	3.18
0+300	0+400	100	2.65	2.40	2.53
0+400	0+500	100	4.10	3.35	3.73
0+500	0+600	100	3.50	3.80	3.65
0+600	0+700	100	3.95	3.05	3.50
0+700	0+800	100	4.20	4.05	4.13
0+800	0+900	100	3.70	4.15	3.93
0+900	1+000	100	4.25	4.10	4.18
1+000	1+100	100	3.05	3.35	3.20
1+100	1+200	100	2.85	3.40	3.13
1+200	1+300	100	3.05	3.10	3.08
1+300	1+400	100	3.00	4.10	3.55
1+400	1+500	100	3.20	4.55	3.88
1+500	1+600	100	5.85	4.50	5.18
1+600	1+700	100	4.20	4.80	4.50
1+700	1+800	100	5.15	4.45	4.80
1+800	1+900	100	3.45	4.00	3.73
1+900	2+000	100	3.70	3.20	3.45
2+000	2+100	100	3.35	3.55	3.45
2+100	2+200	100	3.50	3.55	3.53
2+200	2+300	100	3.55	3.65	3.60
2+300	2+400	100	3.55	3.65	3.60
2+400	2+500	100	4.50	4.05	4.28
2+500	2+600	100	3.55	3.40	3.48
2+600	2+700	100	4.70	4.20	4.45
2+700	2+800	100	Giba	Giba	Giba
2+800	2+900	100	Giba	Giba	Giba
2+900	3+000	100	4.95	4.40	4.68
3+000	3+100	100	6.20	3.60	4.90
3+100	3+200	100	Badén	Badén	Badén
3+200	3+300	100	3.55	3.10	3.33
3+300	3+400	100	5.50	4.05	4.78
3+400	3+500	100	4.10	3.85	3.98
3+500	3+600	100	4.40	3.25	3.83
3+600	3+700	100	3.30	4.40	3.85
3+700	3+800	100	4.20	4.45	4.33
3+800	3+900	100	3.45	3.70	3.58
3+900	4+000	100	3.45	3.00	3.23
4+000	4+100	100	3.65	2.90	3.28
4+100	4+200	100	7.30	7.75	7.53
4+200	4+300	100	3.95	4.60	4.28
4+300	4+400	100	3.65	3.10	3.38
4+400	4+500	100	3.95	4.25	4.10
4+500	4+600	100	3.50	3.70	3.60
4+600	4+700	100	6.75	6.05	6.40
4+700	4+800	100	8.30	5.85	7.08
4+800	4+900	100	4.25	4.00	4.13
4+900	5+000	100	7.25	5.00	6.13

Fuente: Propia.

4.2.2 Análisis de Datos del Rugosímetro ARRB-R3

El análisis de datos se realizó en una plantilla de Excel:

Tabla 9. Parámetros de los datos recolectados por Rugosímetro ARRB-R3.

Parámetros	IDA (m/km)	VUELTA (m/km)	PROMEDIO (m/km)
Mínimo	2.65	2.40	2.53
Máximo	8.30	7.75	7.53
Promedio	4.17	3.95	4.06
Desviación standard	1.25	0.93	1.02

Fuente: Propia.

La tabla 9 presenta los resultados obtenidos de la evaluación utilizando el Rugosímetro ARRB-R3. Se observan valores mínimos de 2.65 m/km y 2.40 m/km en ida y vuelta, respectivamente, señalando áreas con menor rugosidad en la superficie. En contraste, se observan valores máximos más elevados, alcanzando 8.30 m/km y 7.75 m/km para los mismos sentidos, lo que indica secciones con mayor irregularidad. En promedio, las mediciones arrojaron 4.17 m/km en ida y 3.95 m/km en vuelta, presentando una diferencia de 0.22 m/km entre ambos sentidos. El valor promedio general obtenido fue de 4.06 m/km.

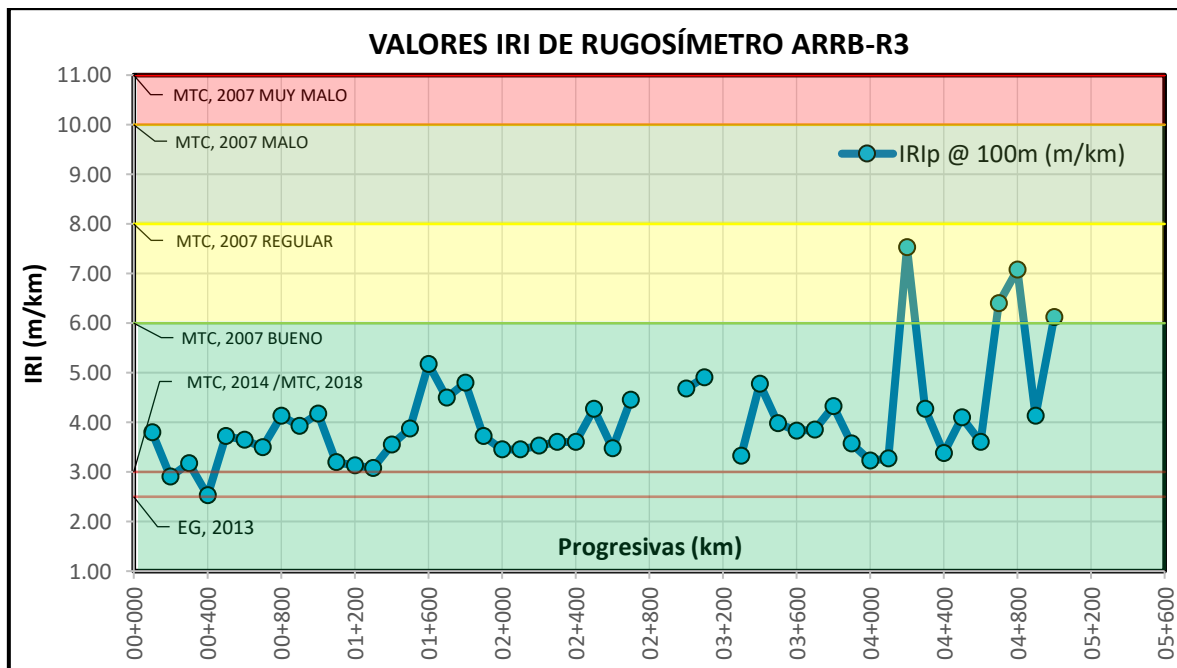


Figura 12. Valores IRI obtenidos por el Rugosímetro ARRB-R3.

Fuente: Propia.

4.2.3 Resultados del Rugosímetro ARRB-R3

Tabla 10. Interpretación de resultados del Rugosímetro ARRB-R3 según normativa peruana.

NORMATIVA	PARÁMETRO	IRI _p promedio (m/km)	IRI _c característico (m/km)	CONDICIÓN
(MTC, 2007).	Bueno (IRI ≤ 6.0) Regular (6.0 < IRI ≤ 8.0) Malo (8.0 < IRI ≤ 10.0) Muy Malo (10.0 < IRI)	4.1	-	Bueno
(EG, 2013)	Tratamientos Superficiales: IRI ≤ 2.5 m/Km	4.1	-	No Cumple
(MTC, 2014)	Carretera Nueva de Tercera Clase: IRI _c ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 90%)	-	5.4	No Cumple
(MTC, 2018).	Carretera Nueva de Tercera Clase con tratamiento superficial: IRI _c ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 70%)	-	4.6	No Cumple

Fuente: Propia.

La tabla 10 presenta los resultados del ensayo del rugosímetro ARRB en la carretera Chapapampa - Jonsani y su análisis con diferentes normativas de manuales de carreteras en Perú. Estos manuales definen los rangos o parámetros del IRI para calificar las condiciones de la carretera. Los valores registrados muestran: IRI promedio (IRI_p) en 4.1 m/km, IRI característico (IRI_c) con una confiabilidad de 90% en 5.4 m/km y IRI característico (IRI_c) con una confiabilidad de 70% en 4.6 m/km respectivamente, siendo estos valores superiores a los límites establecidos en la normativa peruana.

Los resultados según el (MTC, 2007), se clasifica como "Bueno" un IRI promedio de 4.1 m/km, cabe mencionar que, no establece un valor específico para el IRI en tratamientos Otta Seal. En contraste, (EG, 2013) establece un límite de ≤ 2.5 m/km para tratamientos superficiales, donde el valor IRI es de 4.1 m/km superando este límite. Respecto (MTC, 2014), el IRI_c definido es de ≤ 3.00 m/km con una confiabilidad del 90%, donde se registró un IRI_c de 5.4 m/km, indicando un incumplimiento con esta especificación. Similarmente, según el (MTC, 2018), se

espera un IRIc de ≤ 3.00 m/km con un nivel de confiabilidad del 70%. El valor registrado fue de 4.6 m/km, también incumpliendo con este criterio.

4.3 Determinación del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal mediante la aplicación Abakal para Smartphone en la carretera Chapapampa - Jonsani.

4.3.1 Datos del aplicativo Abakal para Smartphone

Antes de usar el Aplicativo Abakal para evaluar la carretera Chapapampa- Jonsani, se realizó una prueba piloto con el análisis estadístico del alfa de Cronbach por correlaciones en una carretera ubicada en el Distrito de Huancané, Departamento de Puno. Cuya carretera con un tipo de pavimento Rígido, de topografía plana y recta, en intervalos de 100 metros a velocidades de 80 km/h aproximadamente, donde se obtuvo una buena confiabilidad según las siguientes tablas:

Tabla 11. Valores IRI obtenidos por el Aplicativo Abakal para prueba piloto.

PRUEBA PILOTO DE APLICATIVO ABAKAL SMARTPHONE						
Desplazamiento		VALORES IRI (m/km)				
		PRUEBA 01	PRUEBA 02	PRUEBA 03	PRUEBA 04	PRUEBA 05
0+000	0+100	1.95	1.83	1.94	1.15	0.57
0+100	0+200	3.24	3.04	2.92	2.81	2.98
0+200	0+300	2.71	1.38	2.85	2.12	2.85
0+300	0+400	2.81	2.83	2.9	2.76	2.8

Fuente: Propia.

Tabla 12. Coeficientes de correlación entre las 5 pruebas de la prueba piloto del aplicativo Abakal.

	PRUEBA 01	PRUEBA 02	PRUEBA 03	PRUEBA 04	PRUEBA 05
PRUEBA 01	1	0.62	0.92	0.95	0.93
PRUEBA 02	0.62	1	0.43	0.71	0.39
PRUEBA 03	0.92	0.43	1	0.94	1.00
PRUEBA 04	0.95	0.71	0.94	1	0.92
PRUEBA 05	0.93	0.39	1.00	0.92	1

Fuente: Propia.

Tabla 13. Resultado de prueba piloto con análisis de Alfa de Cronbach por correlaciones.

n	5
p	0.78
α	0.95

Fuente: Propia.

Tabla 14. Valoración de la fiabilidad según el coeficiente de alfa de Cronbach.

coeficiente alfa de Cronbach	Valores de la fiabilidad
$0 \leq \alpha < 0.5$	Inaceptable
$0.5 \leq \alpha < 0.6$	Pobre
$0.6 \leq \alpha < 0.7$	Débil
$0.7 \leq \alpha < 0.8$	Aceptable
$0.8 \leq \alpha < 0.9$	Bueno
$0.9 \leq \alpha \leq 1$	Excelente

Fuente: Propia según (Chaves y Rodríguez, 2019, p. 81).

La tabla 13 se observa que el alfa de Cronbach es de 0.95 por lo que nos da una confiabilidad “EXCELENTE” de la prueba piloto, lo que indica que los elementos analizados están correlacionados entre sí de manera consistente y fiable.

Por consiguiente, El 1 de octubre del 2023 se llevó a cabo la evaluación de la carretera Chapapampa-Jonsani utilizando el aplicativo Abakal, en el cual se realizó en ambos sentidos en una muestra de 5 kilómetros. Para la evaluación de la carretera Chapapampa – Jonsani se usó un smartphone A54 de la marca Samsung. Durante esta evaluación, se registraron 46 valores de IRI a intervalos de 100 metros por cada sentido.

Tabla 15. Resumen de datos de aplicativo Abakal para Smartphone.

RESUMEN DE DATOS DE APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE					
PROGRESIVA		DISTANCIA	SENTIDO		IRI promedio (m/km)
DESDE	HASTA		IDA (m/km)	VUELTA (m/km)	
0+000	0+100	100	2.17	2.80	2.49
0+100	0+200	100	1.92	2.13	2.03
0+200	0+300	100	2.13	2.39	2.26
0+300	0+400	100	1.80	1.74	1.77
0+400	0+500	100	2.67	2.49	2.58
0+500	0+600	100	2.91	2.79	2.85
0+600	0+700	100	2.90	2.39	2.65
0+700	0+800	100	2.87	2.67	2.77
0+800	0+900	100	2.90	2.77	2.84
0+900	1+000	100	2.83	2.13	2.48
1+000	1+100	100	2.85	2.33	2.59
1+100	1+200	100	2.83	2.28	2.56
1+200	1+300	100	3.13	2.37	2.75
1+300	1+400	100	2.89	3.20	3.05
1+400	1+500	100	2.52	3.44	2.98
1+500	1+600	100	3.33	3.15	3.24
1+600	1+700	100	2.67	3.38	3.03
1+700	1+800	100	2.47	2.90	2.69
1+800	1+900	100	3.02	2.94	2.98
1+900	2+000	100	2.09	3.13	2.61
2+000	2+100	100	2.85	2.87	2.86
2+100	2+200	100	2.66	2.36	2.51
2+200	2+300	100	2.99	2.52	2.76
2+300	2+400	100	2.56	2.62	2.59
2+400	2+500	100	2.46	2.47	2.47
2+500	2+600	100	2.23	2.85	2.54
2+600	2+700	100	2.18	2.98	2.58
2+700	2+800	100	2.79	3.05	2.92
2+800	2+900	100	2.87	2.10	2.49
2+900	3+000	100	2.91	2.98	2.95
3+000	3+100	100	2.52	2.69	2.61
3+100	3+200	100	2.58	3.55	3.07
3+200	3+300	100	2.47	2.89	2.68
3+300	3+400	100	2.19	2.91	2.55
3+400	3+500	100	2.22	2.28	2.25
3+500	3+600	100	2.26	2.50	2.38
3+600	3+700	100	2.17	2.16	2.17
3+700	3+800	100	1.74	1.62	1.68
3+800	3+900	100	2.04	2.58	2.31
3+900	4+000	100	1.84	2.11	1.98
4+000	4+100	100	1.74	2.07	1.91
4+100	4+200	100	1.97	2.07	2.02
4+200	4+300	100	2.46	3.00	2.73
4+300	4+400	100	2.91	3.14	3.03
4+400	4+500	100	3.07	3.19	3.13
4+500	4+600	100	2.60	1.76	2.18

Fuente: Propia.

4.3.2 Análisis de Datos aplicativo Abakal para Smartphone

El análisis de datos se realizó en una plantilla de Excel:

Tabla 16. Parámetros de los datos recolectados por el aplicativo Abakal.

Parámetros	IDA (m/km)	VUELTA (m/km)	PROMEDIO (m/km)
Mínimo	1.74	1.62	1.68
Máximo	3.33	3.55	3.24
Promedio	2.53	2.62	2.58
Desviación standard	0.41	0.46	0.37

Fuente: Propia.

La tabla 16 muestra los resultados del Aplicativo Abakal se registraron valores mínimos de 1.74 m/km en la ida y 1.62 m/km en la vuelta, lo que indica áreas con una menor rugosidad en la superficie. Por otro lado, se observaron valores máximos más altos, alcanzando 3.33 m/km en la ida y 3.55 m/km en la vuelta, señalando secciones con mayor irregularidad. En promedio, las mediciones para la ida son de 2.53 m/km y para la vuelta de 2.62 m/km, con un promedio general de 2.58 m/km, presentando una diferencia de 0.09 m/km entre ambas direcciones.

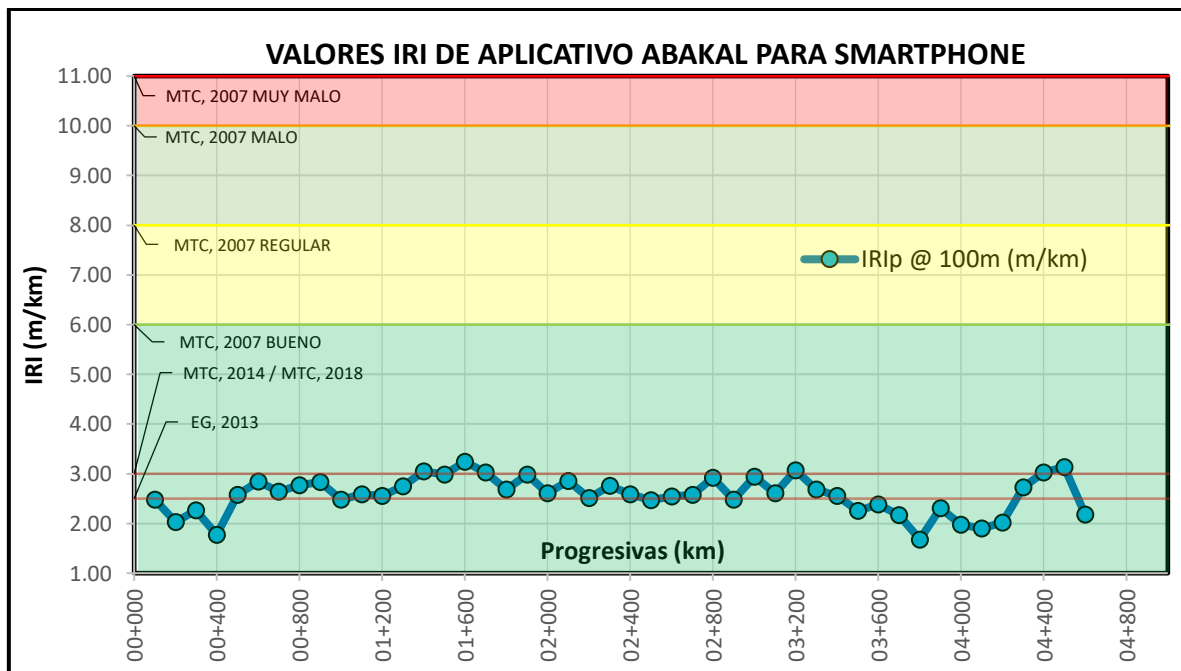


Figura 13: Valores IRI obtenidos por el aplicativo Abakal para Smartphone.

Fuente: Propia.

4.3.3 Resultados del aplicativo Abakal para Smartphone

Tabla 17. Interpretación de resultados del aplicativo Abakal para Smartphone según normativa peruana.

NORMATIVA	PARÁMETRO	IRI _p promedio (m/km)	IRI _c característico (m/km)	CONDICIÓN
(MTC, 2007).	Bueno (IRI ≤ 6.0) Regular (6.0 < IRI ≤ 8.0) Malo (8.0 < IRI ≤ 10.0) Muy Malo (10.0 < IRI)	2.6	-	Bueno
(MTC, 2013)	Tratamientos Superficiales: IRI ≤ 2.5 m/Km	2.6	-	No Cumple
(EG, 2014)	Carretera Nueva de Tercera Clase: IRI _c ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 90%)	-	3.0	Cumple
(MTC, 2018).	Carretera Nueva de Tercera Clase con tratamiento superficial: IRI _c ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 70%)	-	2.8	Cumple

Fuente: Propia.

La tabla 17 presenta los resultados del aplicativo Abakal para Smartphone en la carretera Chapapampa - Jonsani y su análisis con diferentes normativas de manuales de carreteras en Perú. Estos manuales definen los rangos IRI para calificar las condiciones de la carretera. Los valores registrados muestran: IRI promedio igual a 2.6 m/km, IRI característico con una confiabilidad de 90% igual a 3.0 m/km y IRI característico con una confiabilidad de 70% igual a 2.8 m/km respectivamente.

Los resultados de la tabla 17 muestran las mediciones del IRI conforme a diferentes manuales de carreteras del MTC en Perú. Según (MTC, 2007), el IRI promedio registrado de 2.6 m/km se clasifica como "Bueno". En contraste, (EG, 2013) establece un límite de IRI_p ≤ 2.5 m/km para tratamientos superficiales, no cumpliéndose con este criterio al obtener un IRI_c de 2.6 m/km. Sin embargo, según el (MTC, 2014) y el (MTC, 2018), se requiere un IRI característico (IRI_c) de ≤ 3.00

m/km con diferentes niveles de confiabilidad (90% y 70% respectivamente). Se observa que ambos valores, 3.0 m/km y 2.8 m/km, cumplen con estos criterios.

4.4 Comparación de los valores IRI obtenidos con el rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo en un Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani.

La recolección de datos mediante diferentes instrumentos de medición, como el Rugosímetro MERLIN, el Rugosímetro ARRB-3 y la aplicación Abakal para Smartphone, se llevó a cabo con distintos intervalos de muestreo. En el caso del Rugosímetro MERLIN, se registraron datos cada 400 metros, mientras que para los ensayos con el Rugosímetro ARRB-R3 y la aplicación Abakal, se tomaron datos cada 100 metros. Dada esta variación en los intervalos de recolección, para realizar una comparación adecuada entre los resultados obtenidos de estos diferentes instrumentos, se llevará a cabo una normalización de los datos a intervalos de 400 metros.

Cabe mencionar que, en una misma muestra de 5 kilómetros, se observó una diferencia significativa en la cantidad de datos recopilados mediante diferentes instrumentos de medición. Mientras que el rugosímetro MERLIN recolectó 13 datos a intervalos de 400 metros, cubriendo un total de 5.2 kilómetros, el rugosímetro ARRB-R3 registró 50 datos cada 100 metros, totalizando 5 kilómetros. En contraste, el aplicativo móvil Abakal obtuvo solo 46 datos en la misma distancia e intervalo que el ARRB-R3. Esta disparidad puede atribuirse a las limitaciones del aplicativo Abakal, las cuales podrían afectar la precisión de los dispositivos móviles en comparación con instrumentos especializados como el rugosímetro. Las diferencias en la velocidad de muestreo, como el ARRB-R3 operando a una velocidad aproximada de 40 km/h y el aplicativo móvil a 80 km/h, también podrían influir en esta discrepancia.

Tabla 18. Normalización de Datos Recopilados.

PROGRESIVA	RUGOSÍMETRO MERLIN	RUGOSÍMETRO ARRB-R3		APLICATIVO ABAKL	
	IRI @ 400m (m/km)	IRI @ 100m (m/km)	IRI @ 400m (m/km)	IRI @ 100m (m/km)	IRI @ 400m (m/km)
00+400	3.00	3.80	3.10	2.49	2.14
		2.90		2.03	
		3.18		2.26	
		2.53		1.77	
00+800	3.35	3.73	3.75	2.58	2.71
		3.65		2.85	
		3.50		2.65	
		4.13		2.77	
01+200	3.30	3.93	3.61	2.84	2.62
		4.18		2.48	
		3.20		2.59	
		3.13		2.56	
01+600	3.03	3.08	3.92	2.75	3.00
		3.55		3.05	
		3.88		2.98	
		5.18		3.24	
02+000	3.39	4.50	4.12	3.03	2.83
		4.80		2.69	
		3.73		2.98	
		3.45		2.61	
02+400	3.35	3.45	3.54	2.86	2.68
		3.53		2.51	
		3.60		2.76	
		3.60		2.59	
02+800	3.65	4.28	4.07	2.47	2.63
		3.48		2.54	
		4.45		2.58	
		Giba		2.92	
03+200	3.68	Giba	4.79	2.49	2.78
		4.68		2.95	
		4.90		2.61	
		Badén		3.07	
03+600	3.39	3.33	3.98	2.68	2.47
		4.78		2.55	
		3.98		2.25	
		3.83		2.38	
04+000	3.36	3.85	3.74	2.17	2.03
		4.33		1.68	
		3.58		2.31	
		3.23		1.98	
04+400	3.47	3.28	4.61	1.91	2.42
		7.53		2.02	
		4.28		2.73	
		3.38		3.03	
04+800	4.03	4.10	5.29	3.13	2.66
		3.60		2.18	
		6.40			
		7.08			
05+200	3.65	4.13	5.13		
		6.13			

Fuente: Propia.

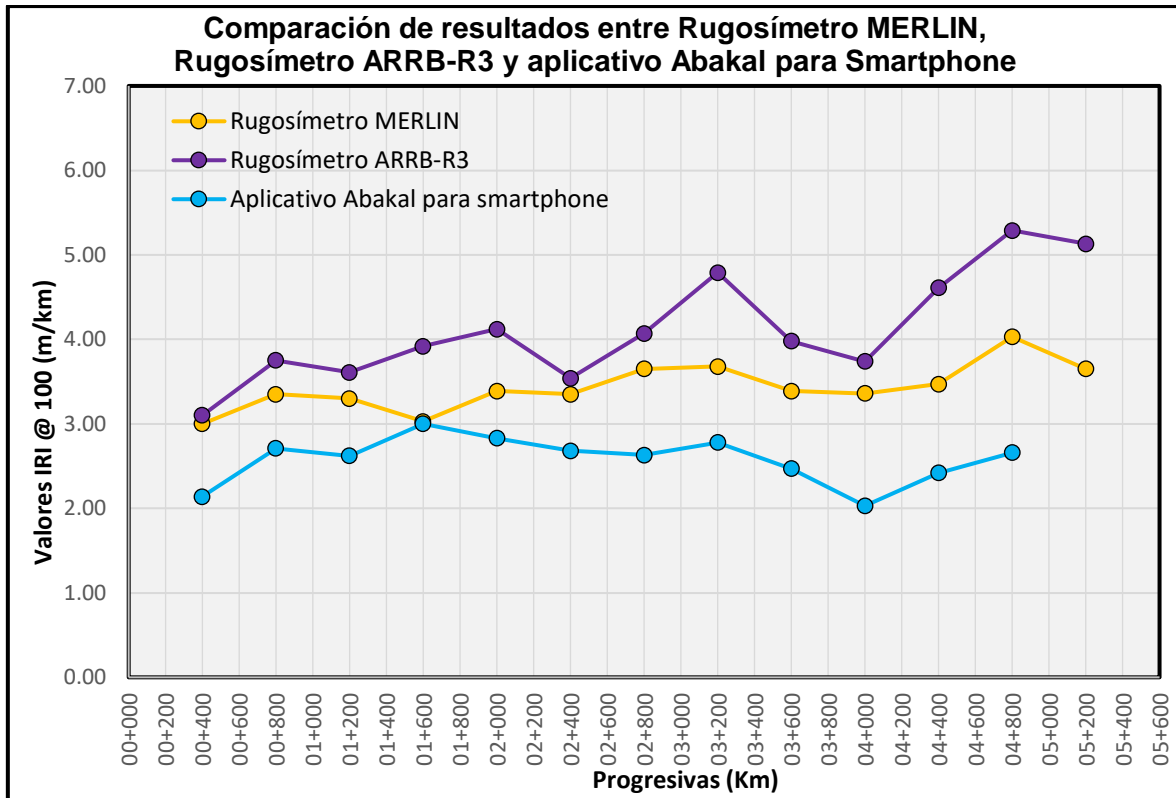


Figura 14. Comparación grafica de valores IRI con los instrumentos Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y Aplicativo Abakal para Smartphone.

Fuente: Propia.

La Figura 14 muestra una comparativa de los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenidos por los tres instrumentos. Se destaca que los valores del Rugosímetro ARRB-R3 son superiores, mientras que los valores del aplicativo Abakal para smartphone son inferiores en relación con los valores del Rugosímetro MERLIN.

4.4.1 Relación de los valores IRI obtenidos por el Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB.

A continuación, se observa el Error Absoluto y el Error Relativo de los valores IRI obtenidos por los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3, donde el Error Absoluto es la diferencia absoluta entre los valores IRI obtenidos por ambos instrumentos, mientras que el Error Relativo expresa esa diferencia en términos porcentuales.

Tabla 19. Comparación de valores IRI con los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3.

PROGRESIVA	RUGOSÍMETRO MERLIN (m/km)	RUGOSÍMETRO ARRB-R3 (m/km)	ERROR ABSOLUTO (m/km)	ERROR RELATIVO (%)
00+400	3.00	3.10	0.10	3.33%
00+400	3.35	3.75	0.40	11.94%
00+400	3.30	3.61	0.31	9.39%
00+400	3.03	3.92	0.89	29.37%
00+400	3.39	4.12	0.73	21.53%
00+400	3.35	3.54	0.19	5.67%
00+400	3.65	4.07	0.42	11.51%
00+400	3.68	4.79	1.11	30.16%
00+400	3.39	3.98	0.59	17.40%
00+400	3.36	3.74	0.38	11.31%
00+400	3.47	4.61	1.14	32.85%
00+400	4.03	5.29	1.26	31.27%
00+400	3.65	5.13	1.48	40.55%

Fuente: Propia.

Tabla 20. Promedios de errores absoluto y relativo.

ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
0.69 m/km	19.72%

Fuente: Propia.

Al comparar el Rugosímetro MERLIN y el aplicativo Abakal, se identificó una diferencia promedio o error absoluto de 0.69 m/km entre los valores IRI. Asimismo, se calculó un error relativo de 19.72%, ambos resultados indican un error relativamente moderado entre los dos valores promedios de IRI.

Por consiguiente, En la figura 20 se observa el gráfico de dispersión de los valores IRI obtenidos de los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3, donde se obtuvo la ecuación de regresión y el coeficiente de determinación (R^2).

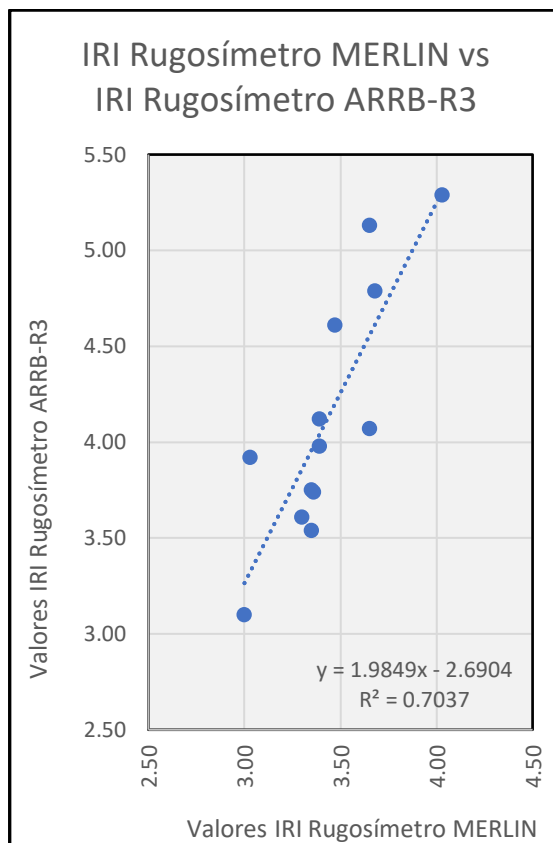


Figura 15. Comparación gráfica de dispersión de valores IRI entre los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3.

Fuente: Propia.

En consecuencia, se realizó una tabla de los resultados de la comparación de dichos instrumentos:

Tabla 21. Análisis de regresión de valores IRI de Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3.

Coefficiente de correlación de Pearson (R)	R = 0.8388
Coefficiente de Determinación (R ²)	R ² = 0.7037
Ecuación de Regresión	y = 1.9849X-2.6904
Estadístico de Prueba	t = 5.1106
Valor Crítico	2.2010

Fuente: Propia.

Tabla 22. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Rango de valores "R"	Interpretación
0.00 ≤ R < 0.10	Correlación nula
0.10 ≤ R < 0.30	Correlación débil
0.30 ≤ R < 0.50	Correlación moderada
0.50 ≤ R < 1.00	Correlación fuerte

Fuente: Propia en base a (Hernández, et al., 2018, p. 594)

La tabla 21 se observa que los resultados de la comparación de los valores IRI entre el Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3, indican una relación fuerte entre las variables, respaldada por un coeficiente de correlación de 0.8388 y un coeficiente de determinación de 0.7037 altos, así como por un estadístico de prueba ('t') que supera el valor crítico, lo que indica la significancia del modelo de regresión lineal.

4.4.2 Relación de los valores IRI obtenidos por el Rugosímetro MERLIN y aplicativo Abakal para Smartphone.

A continuación, se observa el Error Absoluto y el Error Relativo de los valores IRI obtenidos por los instrumentos Rugosímetro MERLIN y aplicativo Abakal para Smartphone, donde el Error Absoluto es la diferencia absoluta entre los valores IRI obtenidos por ambos instrumentos, mientras que el Error Relativo expresa esa diferencia en términos porcentuales.

Tabla 23. Comparación de valores IRI con los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Aplicativo Abakal para Smartphone.

PROGRESIVA	RUGOSÍMETRO MERLIN (m/km)	ABAKAL PARA SMARTPHONE (m/km)	ERROR ABSOLUTO (m/km)	ERROR RELATIVO (%)
00+400	3.00	2.14	0.86	28.67%
00+400	3.35	2.71	0.64	19.10%
00+400	3.30	2.62	0.68	20.61%
00+400	3.03	3.00	0.03	0.99%
00+400	3.39	2.83	0.56	16.52%
00+400	3.35	2.68	0.67	20.00%
00+400	3.65	2.63	1.02	27.95%
00+400	3.68	2.78	0.90	24.46%
00+400	3.39	2.47	0.92	27.14%
00+400	3.36	2.03	1.33	39.58%
00+400	3.47	2.42	1.05	30.26%
00+400	4.03	2.66	1.37	34.00%
00+400	3.65	-	3.65	100.00%

Fuente: Propia.

Tabla 24. Promedios de errores absoluto y relativo.

ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
1.05 m/km	29.94%

Fuente: Propia.

Con la comparación del Rugosímetro MERLIN y el aplicativo Abakal para smartphone revela una diferencia significativa en los valores obtenidos. Esta diferencia se refleja en un error absoluto de 1.05 m/km, lo que indica la discrepancia directa entre ambos valores. Además, se calcula un error relativo del 29.94%. Este error relativo se expresa como un porcentaje que muestra la discrepancia entre los dos valores de IRI en relación con el valor promedio de estos dos instrumentos.

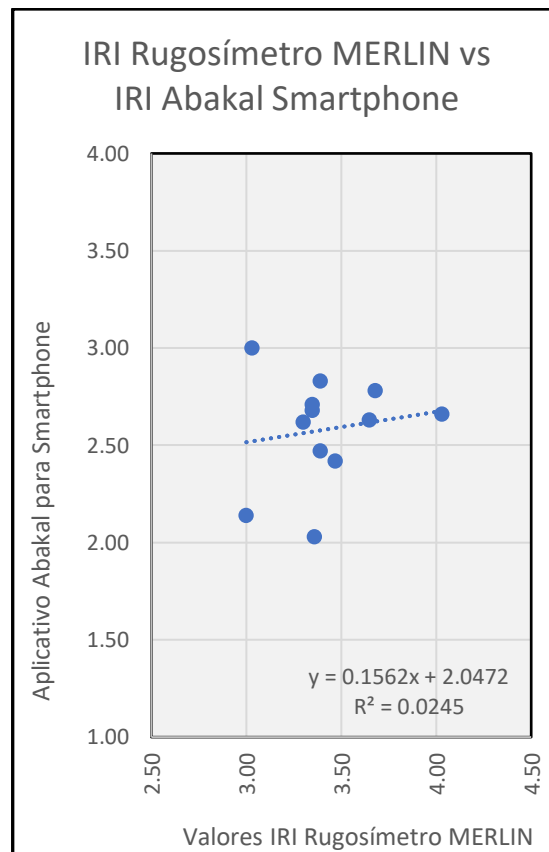


Figura 16. Comparación gráfica de dispersión de valores IRI entre los instrumentos Rugosímetro MERLIN y Aplicativo Abakal para Smartphone.

Fuente: Propia

En consecuencia, se realizó una tabla de los resultados de la comparación de dichos instrumentos:

Tabla 25. Análisis de regresión de valores IRI de Rugosímetro MERLIN y aplicativo Abakal para Smartphone.

Coeficiente de Correlación (R)	R=0.1565
Coeficiente de Determinación (R ²)	R ² =0.0245
Ecuación de Regresión	y=1.9849X-2.6904
Estadístico de Prueba	t = 0.5254
Valor Crítico	2.2281

Fuente: Propia.

En la tabla 25 se observa que los resultados de la comparación de los valores IRI entre el Rugosímetro MERLIN y aplicativo Abakal para Smartphone, señala una correlación débil entre las variables. El coeficiente de correlación de 0.1565 y el coeficiente de determinación de 0.0245 son bajos, lo que indica que no hay una adecuada correlación entre las variables. El valor del estadístico de prueba 't' es menor que el valor crítico, lo que sugiere que el modelo no es significativo en términos estadísticos.

V. DISCUSIÓN

5.1 Principales Hallazgos

Antes de realizar la discusión se tiene que tener en cuenta que la carretera Chapapampa – Jonsani, fue ejecutada recientemente con el proyecto: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL VECINAL TRAMO DESVÍO CHAPAPAMPA HASTA JONSANI DEL DISTRITO DE HUANCANÉ – PROVINCIA DE HUANCANÉ – DEPARTAMENTO DE PUNO; eso quiere decir que se evaluó una carretera nueva, y según el expediente técnico de dicha obra, la carretera se clasifica con carretera de tercera Clase. Cabe resaltar que “El tratamiento asfáltico superficial no es considerado como un pavimento” (Ticona, 2017, p.26). En los anexos se muestra los planos topográficos de la carretera con tratamiento Otta Seal.

Basándome en los resultados presentados en la presente tesis, es evidente que las normativas peruanas analizadas no contemplan adecuadamente la evaluación de carreteras tratadas con Otta Seal, ya que es una tecnología nueva para el país. Los criterios establecidos en estos manuales no consideran de manera específica los valores de IRI para este tipo de tratamiento superficial. Esto puede indicar una carencia en la normativa nacional para evaluar de manera precisa y específica la calidad de las carreteras que han sido tratadas con Otta Seal.

Tabla 26. Síntesis de Resultados obtenidos del Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal para Smartphone según normativa peruana.

Normativa	Condición	IRI RUGOSÍMETRO MERLIN	IRI RUGOSÍMETRO ARRB-R3	APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE
Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas generales para la conservación de carreteras (MTC, 2007).	Bueno (IRI ≤ 6.0) Regular (6.0 < IRI ≤ 8.0) Malo (8.0 < IRI ≤ 10.0) Muy Malo (10.0 < IRI)	3.4 IRIp (m/km) → Bueno	4.1 IRIp (m/km) → Bueno	2.6 IRIp (m/km) → Bueno
Manual de carreteras: especificaciones Técnicas generales para construcción (MTC, 2013)	Tratamientos Superficiales: IRI ≤ 2.5 m/Km	3.4 IRIp (m/km) → No Cumple	4.1 IRIp (m/km) → No Cumple	2.6 IRIp (m/km) → No Cumple
Manual de carreteras: sección suelos y pavimentos (MTC, 2014)	Carretera Nueva de Tercera Clase: IRIC ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 90%)	3.8 IRIC (m/km) → No Cumple	5.4 IRIC (m/km) → No Cumple	3.0 IRIC (m/km) → Cumple
Manual de Carreteras: Mantenimiento o Conservación Vial (MTC, 2014).	Carretera Nueva de Tercera Clase con tratamiento superficial: IRIC ≤ 3.00 m/km (confiabilidad de 70%)	3.6 IRIC (m/km) → No Cumple	4.6 IRIC (m/km) → No Cumple	2.8 IRIC (m/km) → Cumple

Fuente: Propia en base al MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones).

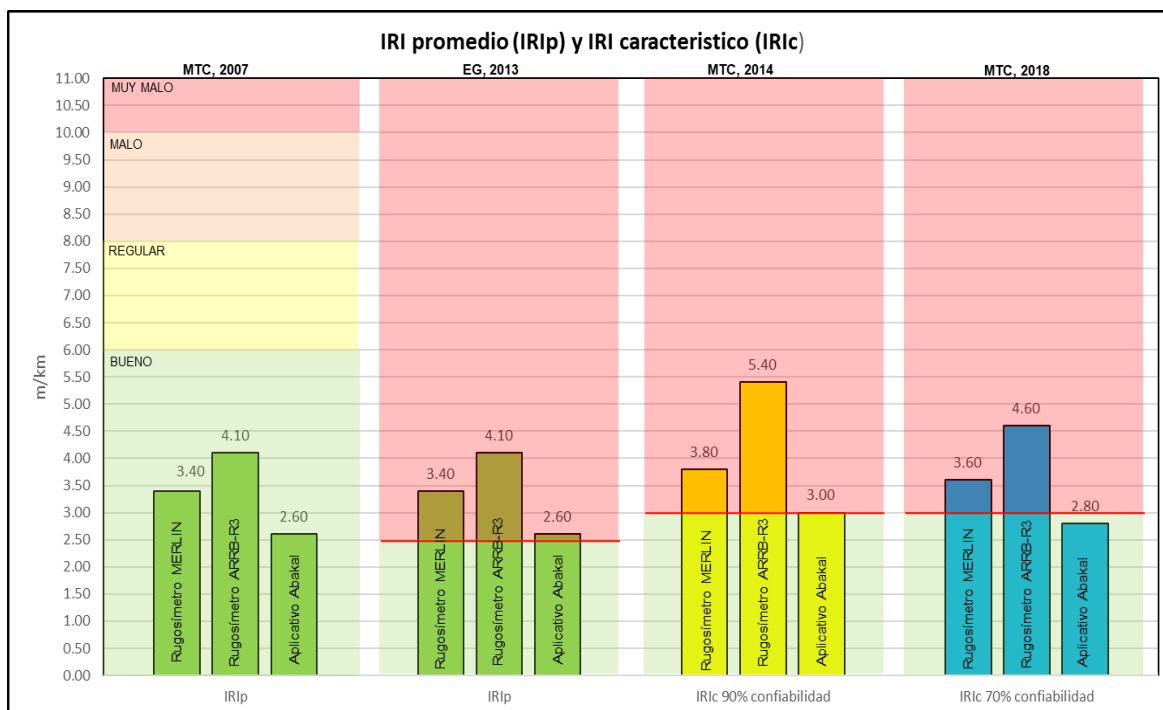


Figura 17. Valores IRIp y IRIc en carretera Chapapampa – Jonsani con tratamiento Otta Seal según normativa peruana.

Fuente: Propia

En la Tabla 26, se sintetizó los resultados obtenidos al evaluar la carretera Chapapampa – Jonsani mediante tres instrumentos de medición del IRI. Según el (MTC, 2007), la carretera se clasifica como "BUENA", dicho resultado es el mismo en los 3 instrumentos. Sin embargo, los datos recolectados con los Rugosímetros MERLIN y ARRB muestran mediciones del IRI superiores a los límites establecidos en las otras tres normativas presentadas en la tabla. Por otro lado, el aplicativo Abakal arroja valores IRI inferiores, cumpliendo con tres de las cuatro normativas de la tabla, exceptuando el umbral del (MTC, 2013). Esto indica discrepancias en la evaluación de la carretera con tratamiento Otta Seal, que reflejan ausencia de un criterio de aceptación claramente definido.

Por consiguiente, se presenta la síntesis de la comparación del instrumento de Clase I que es el rugosímetro MERLIN entre el instrumento de Clase III que es el Rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo móvil Abakal.

Tabla 27. Síntesis de la Comparación de los valores IRI obtenidos del Rugosímetro MERLIN, Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal para Smartphone.

COMPARACIONES	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
Rugosímetro MERLIN y Rugosímetro ARRB-R3	0.69 m/km	19.72%	R = 0.8388
Rugosímetro MERLIN y Aplicativo Abakal	1.05 m/km	29.94%	R=0.1565

Fuente: Propia.

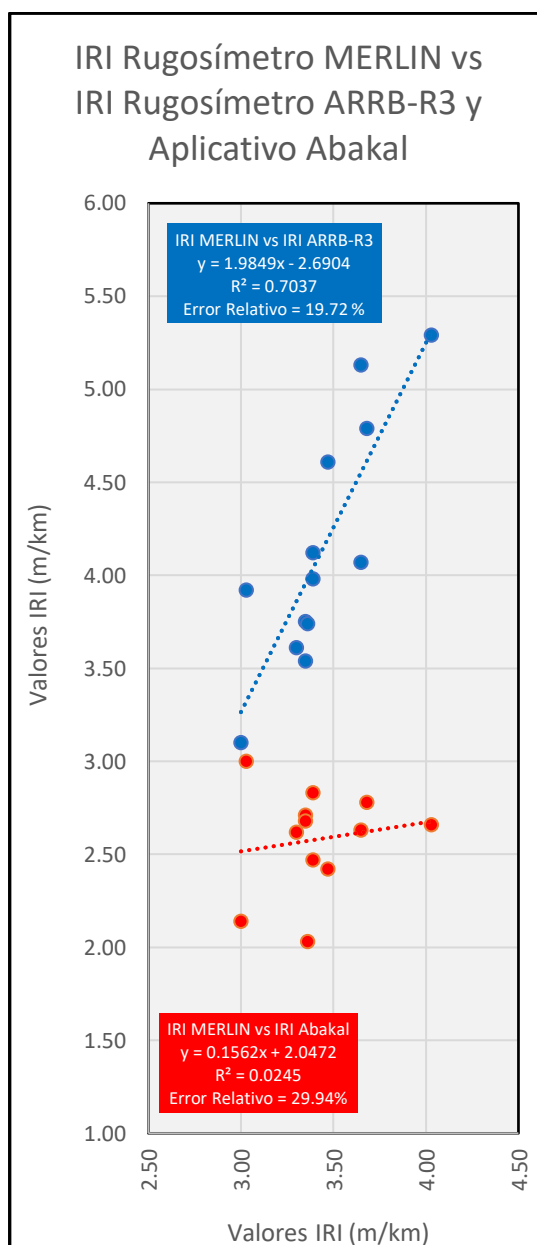


Figura 18. Comparación gráfica de regresión de valores IRI entre Rugosímetro MERLIN vs Rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal en carretera Chapapampa – Jonsani con tratamiento Otta Seal.

Fuente: Propia.

En primer lugar, al comparar los valores del IRI obtenidos mediante el Rugosímetro MERLIN con los del Rugosímetro ARRB-R3, se observó un error relativo del 19.72% y un error absoluto de 0.69. Además, se determinó un coeficiente de correlación (R) de 0.8388. Estos valores sugieren una relación bastante fuerte entre las mediciones obtenidas por ambos rugosímetros, con un error relativamente moderado y un buen nivel de consistencia entre los datos recolectados por ambos instrumentos.

Por otro lado, al contrastar los valores del IRI del Rugosímetro MERLIN con los proporcionados por el Aplicativo Abakal, se encontró un error relativo más elevado, alcanzando el 29.94%, junto con un error absoluto de 1.05. Esto indicaría una discrepancia considerable entre las mediciones de estos dispositivos. El coeficiente de correlación (R) débil, establecido en 0.1565, una correlación menos coherente entre las mediciones proporcionadas por el Rugosímetro MERLIN y el Aplicativo Abakal.

5.2 Comparación de los resultados con las teorías y literaturas científicas

Según el informe del Institute for Transportation de la Universidad Estatal de Iowa (**Ceylan, et al., 2018**), se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de la eficacia del tratamiento Otta Seal en carreteras de bajo volumen en Iowa, Estados Unidos. Durante este estudio, se aplicó el tratamiento Doble Otta Seal en una extensión de 6.4 km. Utilizando la herramienta Roadroid, se calcularon los IRI en dos direcciones (Norte y Sur). Los resultados (**p. 82**), revelaron que para la primera capa de Otta Seal, los valores promedio de IRI fueron de 4.02 m/km hacia el Sur y 3.79 m/km hacia el Norte, excediendo el límite de 3.00 m/km establecido por la normativa peruana, mientras que para la segunda capa se obtuvieron valores promedio de 2.89 m/km hacia el Sur y 2.78 m/km hacia el Norte, obteniendo valores IRI menores a 3.0 m/km. Concluyó que estos valores pueden proporcionar una superficie que cumpla con los requisitos de suavidad comparables a un pavimento flexible. Estos resultados respaldan las conclusiones obtenidas en la investigación actual, donde se evaluó la carretera Chapapampa-Jonsani con una sola capa de Otta Seal, obteniéndose valores promedio de IRI de 3.4 m/km con el rugosímetro MERLIN y 4.1 m/km con el Rugosímetro ARRB-R3. No obstante, se observa que, al aplicar

una segunda capa, los valores promedio de IRI disminuyen significativamente, registrando valores IRI menores a 3.0 m/km.

En el estudio llevado a cabo por **(Flores, 2021)**, se analizó el nivel de servicio mediante la evaluación del IRI en un tramo de carretera que conecta Arcopunco con Cabana en el departamento de Puno, utilizando el tratamiento Otta Seal. Se emplearon dos métodos convencionales para medir la rugosidad: el rugosímetro tipo III (ARRB-R3) y el rugosímetro MERLIN. Los resultados obtenidos del Rugosímetro ARRB se observaron en la tabla 7, revelando un valor promedio de IRI de 3.3 m/km, con valores máximos y mínimos de 6.2 m/km y 2.1 m/km, respectivamente. En la tabla 8, se presentaron los datos del IRI medido con el Rugosímetro MERLIN, obteniéndose un IRI promedio de 3.23 m/km, con valores máximos y mínimos de 3.86 m/km y 2.59 m/km, respectivamente. Ambos instrumentos arrojaron valores de IRI promedio que exceden el umbral aceptado por la normativa. Similar a los hallazgos de esta investigación, al evaluar la carretera Chapapampa - Jonsani con tratamientos Otta Seal utilizando el Rugosímetro ARRB-R3, se encontraron valores de IRI promedio de 3.4 m/km mediante el Rugosímetro MERLIN y 4.1 m/km utilizando el Rugosímetro ARRB-R3, superando los límites establecidos por la normativa peruana.

Según el artículo de investigación de **(Vaitkus et al., 2016)** se centró en evaluar el desempeño del doble Otta Seal en condiciones climáticas de Lituania. Se realizaron mediciones de la rugosidad en tramos de carreteras con tratamiento Otta Seal doble, analizando 14 tramos que totalizaron 12.57 km. Los resultados iniciales a la construcción revelaron valores de IRI entre 1.96 m/km y 3.40 m/km, y después de un año, oscilaron entre 2.14 m/km y 3.49 m/km. Aunque el estudio no proporcionó detalles por intervalos de distancia o tramos específicos, se evidenció que los valores de IRI superaron los 3.0 m/km, coincidiendo con los hallazgos presentados en la presente tesis de investigación. Es importante resaltar que esta evaluación de la carretera Chapapampa - Jonsani se llevó a cabo en una carretera con una sola capa de Otta Seal.

Para el estudio de **(Almanza, 2014)** tuvo como objetivo principal analizar y correlacionar valores IRI con dos instrumentos: el rugosímetro MERLIN y rugosímetro ARRB-R3 de la carretera Huancavelica – Santa Inés de dos tramos,

una con tratamiento superficial Otta Seal de 17.054 km de longitud y otra con Sello de arena sobre un tratamiento Otta Seal deteriorado de 58.400 km de longitud, en el cual nos enfocaremos en el primer tramo donde obtuvo resultados de un IRI promedio de $IRI_p = 3.15$ m/km sobrepasando ligeramente los 3.0 m/km establecidos en la normativa peruana, es importante señalar que este límite está asociado al IRI característico a un porcentaje de confiabilidad, y con el incremento de la desviación estándar, además se obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9719$ de la regresión lineal, por ende un coeficiente de correlación de Pearson de $R = 0.9858$, que indica una fuerte correlación entre los valores IRI obtenidos de ambos instrumentos. Estos resultados corroboran los hallazgos presentados en la tesis actual, donde se registró un coeficiente de correlación de Pearson de $R = 0.8388$ al comparar los valores IRI de los rugosímetros MERLIN y ARRB-R3.

Según la investigación de **(Quispe, 2021)** exploró la correlación de los valores IRI empleando dos dispositivos de medición, el Rugosímetro MERLIN y el Rugosímetro III (ARRB-R3), dentro del tramo: Juliaca – DV. Ayabacas en un pavimento Flexible, cuyos resultados indicaron un coeficiente de correlación de Pearson de $R = 0.843$, lo que denota una correlación fuerte entre ambos instrumentos. Estos resultados coinciden con los obtenidos en la presente tesis, donde se identificó un coeficiente de correlación de $R = 0.8388$. Ambos descubrimientos subrayan la confiabilidad y validez de las mediciones realizadas por el Rugosímetro ARRB-R3, consolidándolo como una alternativa más sólida para evaluar carreteras tratadas con Otta Seal.

En el estudio de **(Gonzalo y Beingolea, 2021)**, se buscó determinar la rugosidad del pavimento flexible utilizando tanto el Rugosímetro MERLIN como la aplicación Abakal en un tramo de 3.20 kilómetros, desde el distrito Alto de la Alianza hasta el distrito de Ciudad Nueva, en el departamento de Tacna. Los resultados mostraron un nivel de similitud entre ambos instrumentos del 87.43%, con un error relativo del 12.57%. Sin embargo, este análisis comparativo no profundizó más allá de ese punto. En contraste, la presente investigación reveló un error absoluto de 1.05 m/km y un error relativo de 29.94%. Es crucial destacar que el estudio de (Gonzales y Beingolea, 2021) se centró en una carretera de pavimento flexible, mientras que la actual investigación abordó un tratamiento superficial Otta Seal en una carretera de

tercera clase, caracterizada por curvas pronunciadas. Esto generó una variación en la distancia de recolección de datos con el aplicativo Abakal, ya que, al evaluar una carretera de 5 km, solo se obtuvieron datos de 4.6 km, evidenciando la limitación de la aplicación en tramos con curvas. Estos resultados subrayan la necesidad de una mayor exploración, dado que el tipo de carretera y la topografía podrían ejercer una influencia significativa en los valores de IRI al utilizar el aplicativo Abakal.

Para **(Rios y Torres, 2022)** cuyo objetivo fue determinar el valor IRI para establecer en nivel de servicio de la carretera de primera clase que une las ciudades de Huánuco – Tingo María del departamento de Huánuco, usando dos aplicativos móviles el “Abakal” y “Total Pave”, teniendo como referencia de datos secundarios de valores IRI usando el perfilómetro laser un equipo de Clase I según el Banco mundial, los resultados de correlación que obtuvo fueron, entre el perfilómetro laser y el aplicativo Total Pave un coeficiente de correlación de Pearson de $R = 0.7552$, mientras que el aplicativo Abakal un coeficiente de correlación de Pearson de $R = 0.6735$. Nos enfocaremos en el resultado del aplicativo Abakal, el cual tiene una relación fuerte, y en la presente tesis se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de $R = 0.1565$ una relación débil, esto puede deberse muchos factores que afectan la medición del IRI, los obstáculos en la carretera (gibas, juntas de puentes, tapas de alcantarillas, etcétera), Diseño geométrico de la carretera, el tipo de pavimento o tratamiento, los equipos (tipos de vehículo, marca de Smartphone) y procedimientos de medición, No obstante fuera de ellos el aplicativo Abakal para smartphone ha demostrado una deficiencia en calcular distancias en una geometría de una carretera sinuosa.

5.3 Descripción de las fortalezas y debilidades de la metodología utilizada

Fortalezas:

Se analizaron múltiples normativas y se utilizaron tres diferentes instrumentos de medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), lo que brindó una visión completa de la calidad de la carretera con tratamiento Otta Seal del tramo: Chapapampa - Jonsani.

Se contrastaron los resultados obtenidos por el Rugosímetro MERLIN, el Rugosímetro ARRB-R3 y el Aplicativo Abakal, permitiendo una evaluación

minuciosa de la diferencia de los valores IRI obtenidos entre las mediciones de estos instrumentos.

Debilidades:

La falta de criterios específicos en las normativas para evaluar carreteras con tratamiento Otta Seal influyó negativamente en la precisión de la evaluación y tener una respuesta clara a mis objetivos de determinación del estado de la carretera, en donde se obtuvieron varios resultados.

La comparación entre los dispositivos Rugosímetro MERLIN y el Aplicativo Abakal evidenció discrepancias significativas en los valores IRI, lo cual sugiere una restricción en la exactitud del aplicativo móvil para la evaluación de carreteras de tercera clase con tratamiento Otta Seal. Debido a la escasez de antecedentes relacionados con la evaluación de carreteras utilizando el Aplicativo Abakal, se vio limitada la posibilidad de realizar un análisis más detallado sobre este aspecto.

5.4 Relevancia de la investigación

En términos de la relevancia de la investigación, esta investigación utilizó tres herramientas para evaluar la carretera Chapapampa-Jonsani, con tratamiento Otta Seal. El cual es una nueva tecnología en la región de Puno, aplicada en carreteras de bajo tráfico, fue evaluada con el Rugosímetro MERLIN, una herramienta de clase I reconocida por su alta precisión, así como con el Rugosímetro ARRB-R3, de clase III de menor precisión y un aplicativo para Smartphone Abakal. Los resultados obtenidos indicaron que los rugosímetros MERLIN y ARRB-R3 tienen una correlación positiva al evaluar la carretera con tratamiento Otta Seal.

Asimismo, se ha evidenciado la necesidad de revisar y completar ese vacío normativo de lineamientos nacionales para incorporar criterios específicos que permitan una evaluación precisa y coherente de la calidad de las carreteras tratadas con Otta Seal. La falta de estándares claros para este tipo de tratamiento podría influir en la uniformidad de las evaluaciones viales, potencialmente conduciendo a decisiones imprecisas respecto al mantenimiento rutinario y/o periódico.

VI. CONCLUSIONES

C1: Se concluyó que, el IRI del tratamiento superficial Otta Seal mediante el rugosímetro MERLIN en la carretera Chapapampa – Jonsani, Según el (MTC, 2007), un IRI promedio de 3.4 m/km se considera en la categoría "Bueno". Según el (EG, 2013), un tratamiento superficial debería tener un IRI de ≤ 2.5 m/km, por lo que el valor de 3.4 m/km no cumple con esta especificación. Respecto al (MTC, 2014), el IRI característico (IRIc) establecido es de ≤ 3.00 m/km con una confiabilidad del 90%. se alcanzó un IRI de 3.8 m/km, lo que indica que no cumple con esta especificación. Finalmente, según el (MTC, 2018), el IRIc también debería ser de ≤ 3.00 m/km, aunque con una confiabilidad del 70%. En esta normativa, el valor registrado fue de 3.6 m/km, incumpliendo con esta especificación también.

C2: Se concluyó que el IRI del tratamiento superficial Otta Seal mediante el rugosímetro ARRB-R3 en la carretera Chapapampa – Jonsani, según el (MTC, 2007), se clasifica como "Bueno" un IRI promedio de 4.1 m/km. En contraste, el (EG, 2013) establece un límite de ≤ 2.5 m/km para tratamientos superficiales, donde el valor IRI es de 4.1 m/km superando este límite. Respecto al (MTC, 2014), el IRIc definido es de ≤ 3.00 m/km con una confiabilidad del 90%, donde se registró un IRIc de 5.4 m/km, indicando un incumplimiento con esta especificación. Similarmente, según el (MTC, 2018), se espera un IRIc de ≤ 3.00 m/km con un nivel de confiabilidad del 70%. El valor registrado fue de 4.6 m/km, también incumpliendo con este criterio.

C3: Se concluyó que, IRI del tratamiento superficial Otta Seal mediante la aplicación para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa – Jonsani, Según el (MTC, 2007), el IRI promedio registrado de 2.6 m/km se clasifica como "Bueno". En contraste, el (MTC, 2013) establece un límite de ≤ 2.5 m/km para tratamientos superficiales, no cumpliéndose con este criterio al obtener un IRI de 2.6 m/km. Sin embargo, según el (MTC, 2014) y el (MTC, 2018), se requiere un IRI característico (IRIc) de ≤ 3.00 m/km con diferentes niveles de confiabilidad (90% y 70% respectivamente). Se observa que ambos valores, 3.0 m/km y 2.8 m/km, cumplen con estos criterios.

C4: Se concluye que en la carretera Chapapampa-Jonsani con tratamiento Otta Seal, se evidenció una fuerte correlación entre los valores del IRI medidos por el rugosímetro MERLIN y el rugosímetro ARRB-R3, evidenciando un coeficiente de correlación de $R=0.8388$. Además, mostró un error absoluto de 0.69 m/km y un error relativo del 19.72% el cual es menor al 20 %.

Por otro lado, al analizar la relación entre los valores del IRI obtenidos por el Rugosímetro MERLIN y la aplicación Abakal, se reveló una correlación débil. Los coeficientes de correlación $R = 0.1565$ evidenciaron una conexión mínima entre estas variables. Además, se obtuvieron un error absoluto de 1.05 m/km y un error relativo del 29.94%.

VII. RECOMENDACIONES

R1: El Rugosímetro MERLIN se considera una opción rentable; sin embargo, se recomienda su uso preferiblemente en tramos de menor longitud debido a su proceso prolongado de cálculo del IRI, lo que podría dificultar su eficiencia en distancias más extensas.

R2: El Rugosímetro ARRB-R3, a pesar de su mayor costo en comparación con el Rugosímetro MERLIN, se recomienda para la evaluación de carreteras con mayores longitudes debido a su buen rendimiento. Asimismo, se ha evidenciado que constituye una alternativa viable, ya que presenta una fuerte correlación con el Rugosímetro MERLIN.

R3: Se sugiere ampliar la investigación sobre el aplicativo Abakal, pasando de un nivel a otro más detallado que involucre un diseño experimental. Esto incluiría la manipulación de la variable ya sea la velocidad (km/h) y/o el tipo de vehículo. Como también, comparando resultados en diversos tipos de tratamientos asfálticos superficiales (chip seal, cape seal, etcétera).

R4: Se sugiere llevar a cabo investigaciones que aborden la influencia de la geometría vial al calcular los valores IRI, considerando aspectos como la rectitud o la presencia de curvas (sinuoso), así como la topografía que puede ser plana, ondulada, accidentada o muy accidentada.

R5: Se recomienda llevar a cabo una prueba piloto exhaustiva al emplear cualquier nuevo instrumento, y/o asegurarse de disponer de una certificación de calibración actualizada. Este enfoque garantiza la fiabilidad, precisión y validez de los datos obtenidos, asegurando así la calidad y confiabilidad de los resultados en cualquier investigación.

R6: Se sugiere llevar a cabo investigaciones en diferentes tramos de carreteras con tratamiento Otta Seal, con el propósito de avanzar en el entendimiento y formular una normativa más sólida.

R7: Se recomienda estandarizar y completar los vacíos normativos para la evaluación de carreteras calculando el IRI mediante el uso de dispositivos móviles. Realizando investigaciones de diferentes marcas de Smartphone, y tipo de vehículo a usar.

REFERENCIAS

- ALMANZA MENDOZA, Diego Arthur. Evaluación del modelo “quarter car” para la estimación del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo Huancavelica-Santa Inés. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2014. Disponible en https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_f2a0617cbab765090a0a55dd72f723d3
- ÁLVAREZ, Servando; RIVERO, Rafael. Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático Merlin. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. Scielo* [en línea]. 2012, vol. 27, no 1, pp. 49-55. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652012000100006&script=sci_arttext
- APAZA ARISACA, Omar Clinton. Diagnóstico de la uniformidad superficial del pavimento de la carretera Ilo a Moquegua, a través del IRI utilizando el sistema roadroid desde un smarthpone. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de ingeniería y arquitectura, 2023. Disponible en <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1986>
- ARIAS GONZÁLES, José Luis. Guía para elaborar la operacionalización de variables. *Espacio I+ D, Innovación más desarrollo* [en línea]. 2021, vol. 10, nº 28. . [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/274/973>
- ARIAS GONZÁLES, José Luis; COVINOS GALLARDO, Mitsuo. Diseño y metodología de la investigación. [en línea]. 1.^a ed. Arequipa: Enfoques Consulting EIRL, junio del 2021. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del

2023].

Disponible en

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf

ISBN: 9786124844423

- BADILLA VARGAS, Gustavo A. Aspectos y consideraciones importantes en el cálculo del índice de regularidad internacional (IRI). *Revista de la Universidad de Costa Rica* [en línea]. 2010, vol. 20, n.º 1-2, pp. 155-168. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/7271/6948>
- CASTRO MALDONADO, John Jairo; GÓMEZ MACHO, Leidy Katherine; CAMARGO CASALLAS, Esperanza. La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura, Scielo* [en línea]. 2023, Vol. 27, n.º 75. [Fecha de consulta: 01 de julio del 2023]. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2023000100140&script=sci_arttext
- CEYLAN, Halil, et al. Evaluation of Otta Seal Surfacing for Low-Volume Roads in Iowa. *United States Department of Transportation* [en línea]. Iowa State University: Institute for Transportation, 2018. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/36597>
- CHAVES Eduardo, RODRÍGUEZ, Laura. Análisis de confiabilidad y validez de un cuestionario sobre entornos personales de aprendizaje (PLE). *Revista Ensayos Pedagógicos* [en línea]. 19 de julio de 2019, vol. 13, n.º 1, pp. 71-106. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ensayospedagogicos/article/view/10645>

- CHIPANA TURPO, Maribel; SANCA HALLASI, Richard Elvis. Tratamiento superficial para el mejoramiento de la serviciabilidad aplicando Otta Seal en la carretera nacional Arapa–Chupa, Puno-2022. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería y arquitectura, 2022. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106062>
- CUNDILL, M. A. The MERLIN low-cost road roughness measuring machine. TRRL, 1991 [en línea]. Reino Unido: Transporta and Road Reserch Laboratory [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://es.scribd.com/document/499405331/Merlin-Road-Roughness-Machine-User-Guide>
- ESPINOZA PAJUELO, Luis Ángel, OCHO PACHAS, José Mario. El nivel de investigación relacional en las ciencias sociales. *Acta Jurídica Peruana* [en línea]. 21 de mayo del 2021, Vol. 3, nº 2. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <http://revistas.autonoma.edu.pe/index.php/AJP/article/view/257>
- FLORES HUAHUALUQUE, Luz Dania. Nivel de servicio en micropavimento Otta Seal mediante métodos convencionales del km 00+ 000 al km 03+ 858.14 en la carretera Arcopunco-Cabana-Puno 2021. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería y arquitectura, 2021. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62661>
- GONZALO LÓPEZ, Judith Yovana; BEINGOLEA VILLARREAL, Héctor Jesús. Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de Merlín para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la av. Internacional, Tacna-2021. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Tacna: Universidad Privada de Tacna, 2021. Disponible en <http://161.132.207.135/handle/20.500.12969/1801>

- HERNÁNDEZ CÁCERES, Julián Camilo. Determinar el índice de rugosidad iri y desarrollar un manual para el equipo Merlí. Tesis. La Paz: Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería, 2018. Disponible en https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5627/digital_37574.pdf?sequence=1
- HERNÁNDEZ LALINDE, Juan Diego, et al. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica* [en línea]. 2018, vol. 37, n° 5, pp. 587-595. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>
- HINOJOSA BENAVIDES, Rene Antonio. La relación y la correlación en investigación científica. [en línea]. *Unah Aldia*. 31 de marzo del 2023. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://www.aldia.unah.edu.pe/la-relacion-y-la-correlacion-en-investigacion-cientifica/>
- HUAMÁN URQUIZO, Hermelinda; OSCCO CCORISONCCO, Rechir. Análisis del tratamiento de la superficie asfáltica aplicando técnica: Otta Seal para mejorar la transitabilidad en carretera Andahuaylas-Negromayo, 2020. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería y arquitectura, 2021. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60852>
- JIBON, Md, et al. Evaluating and modeling aggregate loss of Otta seal for low-volume roads. *Construction and Building Materials*. *Science Direct* [en línea]. 22 de septiembre 2023, vol. 398. [Fecha de consulta: 02 de diciembre

del 2023].
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132467>

- LÓPEZ, Pedro Luis. Población muestra y muestreo. *Punto cero, Scielo* [en línea], 2004, vol. 9, nº 8, p. 69-74 [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- MENDOZA, Sandra y DUANA, Danae. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín científico de las ciencias económico administrativas del ICEA* [en línea]. 2020, vol. 9, nº 17, pp. 51-53. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019>
- MINISTERIO de Transporte y Comunicaciones del Perú. Especificaciones Generales para Construcción (EG-2013). Perú: MTC, 2013. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones del Perú. Ensayo de materiales. Perú: MTC, 2016. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones del Perú. Especificaciones Tecnicas Generales para la conservación de carreteras. Perú: MTC, 2007. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2951.pdf

- MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones del Perú. Mantenimiento o Conservación Vial. Parte IV. Perú: MTC, 2018. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones del Perú. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos. Perú: MTC, 2014. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- OBLITAS GASTELO, Boris Enrique; MEDINA CARDOZO, Ingrid Isabel; PAREDES-ASALDE, Carmen Rosa. International evenness index and pavement condition index for defining pavement serviceability levels. *Scielo* [en línea]. 2021, Vol. 18. [Fecha de consulta: 01 de julio del 2023]. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982021000200170&lang=es
- OSCO MAMANI, Jorge Giovanni; ATENCIO CCALAHUILLE, Leonardo Enrique. Factores que influyen en las lecturas del aplicativo móvil Abakal IRI para determinar la rugosidad del pavimento flexible en la carretera Costanera Sur, Tacna-2021. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Tacna: Universidad Privada de Tacna, Facultad de Ingeniería, 2022. Disponible en <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2621>
- OTZEN, Tamara; MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphol* [en línea]. 2017, vol.

35, nº 1, pp. 227-232. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponible en http://www.intjmorphol.com/es/resumen/?art_id=4049

- OVERBY, Charles. A Guide to the use of Otta seals. Norwegian: Road Technology Department (NRRL), Agosto de 1990. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponible en <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/189976/aguide%20to%20the%20use%20of%20otta.pdf?sequence=1>
- PASTOR, Robles. Población y muestra. *Pueblo continente* [en línea]. 2019, vol. 30, nº 1, pp. 245-247. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponible en <http://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/view/1269/1099>
- PIRYONESI, S. Madeh; EL-DIRABY, Tamer E. Examining the relationship between two road performance indicators: Pavement condition index and international roughness index. Transportation Geotechnics. *Science Direct* [en línea]. 2021, vol. 26. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100441>
- PRASHANT, Pawar, ARUN, Tom Mathew y M.R, Saraf. IRI (International Roughness Index): an indicator of vehicle response. Materials Today: Proceedings. *Science Direct* [en línea]. 2018, vol. 5, nº 5, pp. 11738-11750. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.143>
- QUISPE MARTINEZ, Lennie Gabriel. Correlación Iri (rugosímetro merlin) – Iri (rugosímetro III) aplicados en la evaluación superficial de la carretera pavimentada tramo Juliaca - Dv. Ayabacas km 2+940 al km 7+000, 2019. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Juliaca: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, 2021.
Disponible en <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/7036>

- RIOS TAPIA, Jose Enrique y TORRES CONTRERAS, Luis Jose. Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura. Tesis (Título profesional en Ingeniería Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, 2022.
Disponibile en <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/6112>
- ROMAN REYES, Fredí Maxelio. Metodología para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) y su aplicación en pavimentos flexibles de Guatemala. Tesis (Maestro en artes de Ingeniería Vial). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2020.
Disponibile en <https://core.ac.uk/download/pdf/287812407.pdf>
- SAYERS, Michael, GILLESPIE Thomas y PATERSON William. Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Ann Arbor: University of Michigan, 1986. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/3133/72764.pdf?sequence>
- SURBAKTI, Medis S., GINTING, Puja. Comparison of road inequality values using roughometer III and roadroid applications. *IOP Science* [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/801/1/012026/meta>
- VAITKUS, Audrius, et al. Experience in rehabilitation of low-volume roads using soft asphalt and Otta seal technologies. *Transportation Research Procedia. Science Direct* [en línea]. 2016, vol. 14. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023].
Disponibile en <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.292>

- VARGAS SOBRADO, Ana Catalina; ULATE CASTILLO, Alonso. Evaluación de caminos no pavimentados por medio del Rugosímetro III. LanammeUCR [en línea]. Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte, 2014. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/340/56.pdf?sequence=1>
- YU, Qiqin, FANG, Yihai y WIX, Richard. Pavement roughness index estimation and anomaly detection using smartphones. Automation in construction. *Science Direct* [en línea]. Setiembre del 2022, vol. 141, p. 104409. [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104409>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Operacionalización de variables.

Título : Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023.

Autor : Jean Carlos Zavaleta Larico.

Fuente: Propia.

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
variable de supervisión					
Índice de Rugosidad Internacional	El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un valor de la rugosidad vial, fundamentada en la respuesta del vehículo ante las imperfecciones superficiales de la carretera. (Prashant, et al., 2018, p. 11742).	Para el cálculo del valor del IRI se emplea tres instrumentos: rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y aplicativo Abakal en un Smartphone, esto se aplica en el tratamiento asfáltico superficial Otta Seal en la carretera Chapapampa Jonsani.	Estado de la superficie de la carretera con tratamiento Otta Seal	Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km	Razón
variables asociadas					
Rugosímetro MERLIN	El MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation) para la medición de la rugosidad en carreteras, siendo una variación del perfilómetro estático. (Hernández, 2018, p. 23).	El rugosímetro MERLIN mide la rugosidad de la carretera realizando lecturas en secciones de alrededor de 400 metros de distancia a lo largo de un carril específico de la vía.	Rugosidad de la Superficie de la carretera.	Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	Razón
Rugosímetro ARRB-R3	El Rugosímetro ARRB-R3 desarrollado por ARRB (The Australian Road Research Board) en Australia, de Clase III, Su propósito reside en la evaluación de la rugosidad del pavimento mediante la reacción que produce la suspensión de un vehículo a velocidades de 40 - 60 km/h. (Vargas y Ulate, 2014, p. 2).	El rugosímetro ARRB mide la rugosidad de la carretera a través de sensores que registran las vibraciones y reacciones del vehículo al transitar por la superficie.		Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	Razón
Aplicativo Abakal para Smartphone	“Abakal IRI” es una aplicación móvil desarrollada por Abakal Ingenieros Consultores que permite calcular el IRI utilizando sensores de vibración y GPS de dispositivos Android que permite visualizar, analizar y extraer los datos acumulados. (Osco y Atencio, 2022, p. 42).	La aplicación Abakal utiliza el acelerómetro y el GPS del teléfono inteligente para recopilar datos de rugosidad y coordenadas GPS. Esta aplicación genera gráficos e informes sobre los valores del IRI en intervalos de 100 metros a velocidades de 80 km/h.		Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	Razón

Anexo 2. Matriz de Consistencia.

Título : Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023.

Autor : Jean Carlos Zavaleta Larico.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Metodología
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPÓTESIS GENERAL:	VARIABLE DE SUPERVISIÓN				
¿De qué manera el rugosímetro Merlín, rugosímetro ARRB y la aplicación para Smartphone Abakal, permitirán el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, en la carretera Chapapampa Jonsani, 2023?	Analizar y correlacionar el índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, mediante el rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani, 2023.	Con la aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Abakal, en el cálculo de la medición del índice de rugosidad internacional (IRI) en la carretera Chapapampa - Jonsani, se obtiene valores excelentes del estado del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal y una relación fuerte entre la comparación de valores IRI de los diferentes instrumentos.	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	Estado de la superficie de la carretera con tratamiento Otta Seal	Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	<ul style="list-style-type: none"> • MTC 2007 • EG 2013 • MTC 2014 • MTC 2018 	<p>Tipo de Investigación: Aplicada.</p> <p>Diseño de Investigación: No Experimental.</p> <p>Población: La carretera Chapapampa – Jonsani. con una longitud de 12.54 kilómetros de longitud.</p> <p>Muestra: Para la investigación, se tomará una muestra desde la progresiva 0+000 al 5+000 con una longitud de 5 kilómetros.</p> <p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación Directa. <p>Instrumentos de recolección de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rugosímetro MERLIN en base al manual. • Rugosímetro ARRB-R3 en base al manual. • Aplicativo Abakal para Smartphone en base al manual
PROBLEMAS ESPECIFICOS:	OBJETIVO ESPECIFICOS:	HIPOTESIS ESPECIFICAS:	VARIABLE ASOCIADAS				
¿Cuál es el valor del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal obtenido con el rugosímetro MERLIN en la carretera Chapapampa – Jonsani?	Determinar el índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal mediante el rugosímetro MERLIN en la carretera Chapapampa - Jonsani.	El valor del índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal, obtenido con el rugosímetro merlín, se encuentra en condición bueno de la carretera Chapapampa - Jonsani.	Rugosímetro MERLIN	Rugosidad de la Superficie de la carretera.	Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	Manual del Rugosímetro MERLIN	
¿Cuál es el valor del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal obtenido con el rugosímetro ARRB R3 en la carretera Chapapampa – Jonsani?	Determinar el índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal mediante el rugosímetro ARRB-R3 en la carretera Chapapampa - Jonsani.	El valor del índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal, obtenido con el rugosímetro ARRB R3, se encuentra en condición bueno de la carretera Chapapampa - Jonsani.	Rugosímetro ARRB-R3		Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	manual del Rugosímetro ARRB-R3	
¿Cuál es el valor del índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal obtenido con la aplicación para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa – Jonsani?	Determinar el índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal mediante la aplicación para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani.	El valor del índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento superficial Otta Seal, obtenido con la aplicación para Smartphone Abakal, se encuentra en condición bueno de la carretera Chapapampa - Jonsani.	Aplicativo Abakal para Smartphone		Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	manual del aplicativo Abakal	
¿Cuál es la correlación entre los valores de IRI obtenidos con el rugosímetro Merlín, rugosímetro ARRB R3 y la aplicación para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani?	Correlacionar los valores IRI obtenidos con el rugosímetro merlín, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo en un Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani.	La comparación de los valores IRI determinados mediante el rugosímetro merlín, rugosímetro ARRB R3 y la aplicación para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani, son similares.	Rugosímetro MERLIN Rugosímetro ARRB-R3 Aplicativo Abakal en Smartphone		Índice de rugosidad Internacional (IRI) expresado en m/Km.	Excel	

Fuente: Propia.

Anexo 3. Ensayos de Rugosímetro MERLIN.

A. Certificado de Calibración.



Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACION CLM-768-2023

Solicitante : GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Dirección : JR. TIAHUANACO MZA. H LOTE. 17
RES. COLLASUYO I E - PUNO - SAN
ROMAN - JULIACA

Misión:
Prestar servicios con política de
mejoramiento continuo y
cumplimiento con las normas y
especificaciones técnicas
requeridas en máquinas y
equipos para medición y
ensayos.

Instrumento de Medición : RUGOSIMETRO MERLIN

Marca : METROTEST

Modelo : MS-RM1

Serie : 636

Identificación : NO INDICA

Procedencia : PERÚ

Capacidad Máxima : 50 mm

División mínima : 5 mm = 1 División

Tipo de indicación : Analógica

Lugar de Calibración : Lab. Longitud de Metrotest E.I.R.L.

Visión:
Lograr la confianza de nuestros
clientes en el desarrollo de sus
empresas a través de nuestros
servicios.
Tenemos como objetivo alcanzar
el liderazgo en el mercado, y de
esta manera obtener para
nuestros empleados la
consecución de ideales en el
plano intelectual y personal, con
constante investigación e
innovación, en la búsqueda de la
máxima exactitud en la medición
de ensayos.

Fecha de Calibración : 2023-09-05

Fecha de Emisión : 2023-09-05

Método de Calibración Empleado

Tomando como referencia el método de Comparación Directa entre Bloques Planoparalelos y Rugosímetro

Observaciones

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".

El resultado de cada uno de las mediciones en el presente documento es de un promedio de dos valores de un mismo punto.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad de producto.

METROTEST EIRL no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



Luigi Añejo G.
Jefe de Metrología



Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad Medida de los Patrones Nacionales de Presión del Servicio Nacional de Metrología SNM - INDECOPI en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema de Unidades del Perú (SLUMP).

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L.	Pie de rey Patrón con incertidumbre de 15 μ m	CLM-001-2023
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L.	Cinta Metrica Patrón con incertidumbre de 0,3 mm	CLM-003-2023
Patrones de referencia del DM-INACAL	Bloques Planoparalelos Grado 0	LLA-142-2023

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Valor Nominal	Lectura del Instrumento			Promedio L
	L ₁	L ₂	L ₃	
mm	mm	mm	mm	mm
5.0	5.0	5.0	5.0	5.00
10.0	10.0	10.0	9.9	9.97
15.0	15.0	15.0	14.9	14.97
20.0	20.0	20.0	20.0	20.00
25.0	25.0	25.0	25.0	25.00

Relación 1:5

Relacion Promedio: 5.10

Valor Nominal	Lectura del Instrumento			Promedio L
	L ₁	L ₂	L ₃	
mm	mm	mm	mm	mm
25.0	25.0	25.0	24.8	24.9
30.0	30.0	29.8	30.0	29.9
40.0	40.0	39.8	40.0	39.9
45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
50.0	49.8	50.0	50.0	49.9

Relación 1:20

Relacion Promedio: 20.05



Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología

B. Datos recolectados con el formato de registro para el ensayo Rugosímetro MERLIN.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo Nº: **H.D. 01** Inicio Km: **0+000** Fin km: **0+400**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
 Posicion Inicial Puntero = 25
 Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 02** Inicio Km: **4+000** Fin km: **0+800**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 03** Inicio Km: **0+800** Fin km: **1+200**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 04** Inicio Km: **1+200** Fin km: **1+600**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 05** Inicio Km: **1+600** Fin km: **2+000**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani
Huella: Huella Derecha

Fecha: 28/09/2023

Ensayo N°: **H.D. 06** Inicio Km: **2+000** Fin km: **2+400**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 07** Inicio Km: **2+400** Fin km: **2+800**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 08** Inicio Km: **2+800** Fin km: **3+200**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 09** Inicio Km: **3+200** Fin km: **3+600**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 10** Inicio Km: **3+600** Fin km: **4+000**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 11** Inicio Km: **4+000** Fin km: **4+400**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 12** Inicio Km: **4+400** Fin km: **4+800**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 28/09/2023

Huella: Huella Derecha

Ensayo N°: **H.D. 13** Inicio Km: **4+800** Fin km: **5+200**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 01** Inicio Km: **0+000** Fin km: **0+400**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 02** Inicio Km: **0+400** Fin km: **0+800**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 03** Inicio Km: **0+800** Fin km: **1+200**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 04** Inicio Km: **1+200** Fin km: **1+600**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	21	24	24	15	23	30	24	20	21
2	23	20	23	23	23	21	23	19	19	20
3	23	22	23	23	23	22	19	19	18	20
4	22	21	23	22	25	21	23	22	17	23
5	24	21	24	21	26	21	22	21	22	23
6	25	25	23	20	25	22	22	21	19	20
7	25	25	28	23	20	22	24	23	21	20
8	26	24	27	27	20	22	21	20	21	21
9	26	23	25	23	20	20	22	21	22	21
10	27	22	24	27	20	20	22	21	22	18
11	28	21	23	28	19	20	23	20	22	19
12	28	21	22	26	19	20	24	20	23	20
13	29	22	23	30	17	21	24	23	21	19
14	29	23	23	22	21	20	24	28	23	20
15	17	23	21	16	21	27	23	27	23	23
16	15	24	21	23	17	26	22	22	23	23
17	18	27	23	23	19	29	19	22	23	21
18	20	21	24	24	16	23	30	24	20	21
19	23	20	23	23	23	21	23	19	19	20
20	23	20	23	23	23	22	19	19	18	20

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 05** Inicio Km: **1+600** Fin km: **2+000**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 06** Inicio Km: **2+000** Fin km: **2+400**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 07** Inicio Km: **2+400** Fin km: **2+800**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 08** Inicio Km: **2+800** Fin km: **3+200**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 09** Inicio Km: **3+200** Fin km: **3+600**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 10** Inicio Km: **3+600** Fin km: **4+000**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 11** Inicio Km: **4+000** Fin km: **4+400**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 12** Inicio Km: **4+400** Fin km: **4+800**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Tesis: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Tesista: Jean Carlos Zavaleta Larico

Ing. Resp: Alfredo Alarcon Atahuachi

Tramo: Chapapampa - Jonsani

Fecha: 29/09/2023

Huella: Huella Izquierda

Ensayo N°: **H.I. 13** Inicio Km: **4+800** Fin km: **5+200**

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

Tipo de pavimento:

- Afirmado
- Base Granular
- Base Imprimada
- Trat. Bicapa
- Carpeta en Frío
- Carpeta en Caliente
- Recapeo Asfáltico
- Sello
- Tratamiento Otta Seal

observaciones: Espesor de Pastilla = 5 mm
Posicion Inicial Puntero = 25
Posicion Final Puntero = 15



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



TESIS: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
PAVIMENTO: Tratamiento Asfáltico Superficial OTTA SEAL
ING. RESP. : Alfredo Alarcon Atahuachi
UBICACION: CHAPAPAMPA-JONSANI
TESISTA: Jean Carlos Zavaleta Larico
ENSAYO: IRI
FECHA: 29/09/2023

REGULARIDAD SUPERFICIAL / RUGOSIDAD - MERLIN TRRL

MERLIN

N° ENSAYO : H.I. 03

PROGRESIVA : KM 0+800 AL 1+200

LADO : HUELLA IZQUIERDA

CALCULOS

F = 1.00

D = 54.38 mm

RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471 \times D$

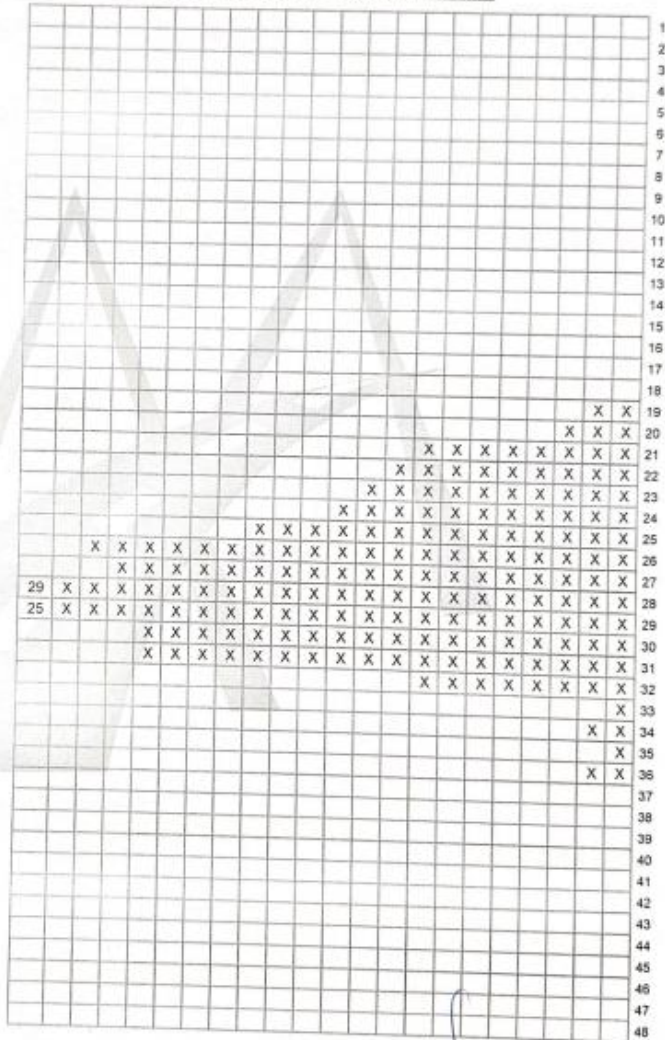
= **3.15 IRI**

PSI = $5 / [e^{(R/5.5)}]$

= 2.8

HOJA CAMPO

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



GEOTECNIA FUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Mecánica de Suelos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. C.O.T. 01



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS · PAVIMENTOS · CIMENTACIONES · LABORATORIO · CALIDAD · TECNOLOGÍA DE MATERIALES · SUPERVISIÓN · PROYECTOS DE INGENIERÍA · CONSULTARÍA.



TESIS: Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
PAVIMENTO: Tratamiento Asfáltico Superficial OTTA SEAL
UBICACION: CHAPAPAMPA-JONSANI
ENSAYO: IRI

ING. RESP. : Alfredo Alarcon Atahuachi
TESISTA: Jean Carlos Zavaleta Larico
FECHA: 29/09/2023

REGULARIDAD SUPERFICIAL / RUGOSIDAD - MERLIN TRRL

MERLIN

Nº ENSAYO : H.I. 11

PROGRESIV# : KM 4+000 AL 4+400

LADO : HUELLA IZQUIERDA

CALCULOS

F = 1.00

D = 57.92 mm

RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471xD$

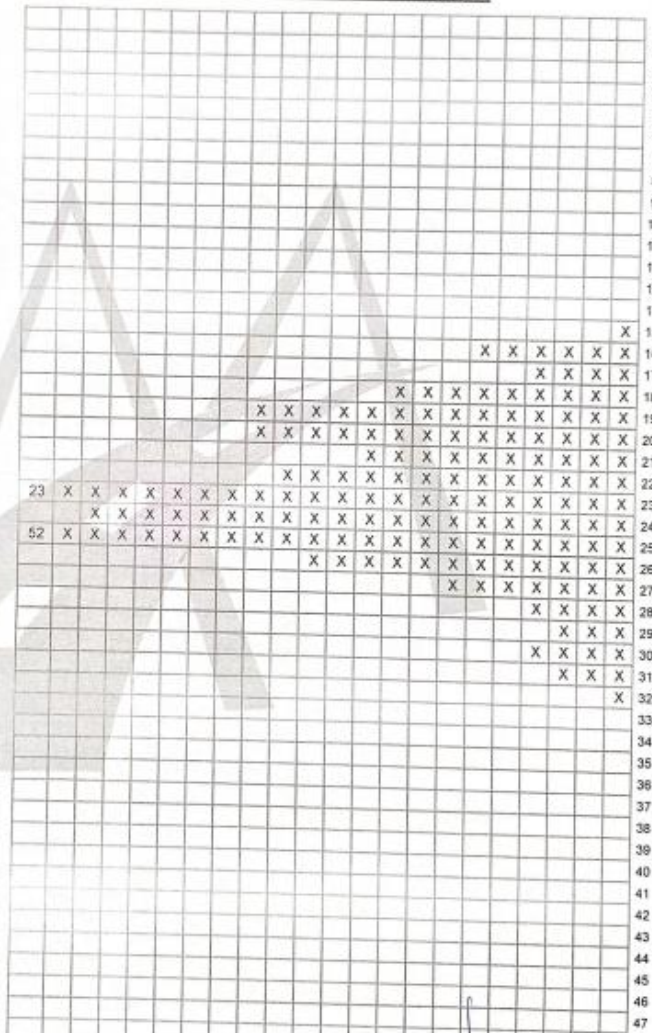
= **3.32 IRI**

PSI = $5 / [e^{(IRI/5)}]$

= 2.7

HOJA CAMPO

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



GEOTECNIA PUNO SRL
Ingeniería de Pavimentos, Asesoría Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
RUB. 416. 317

Anexo 4. Ensayos de Rugosímetro III (ARRB-R3).

A. Certificado de calibración.



ARRB Group Ltd
ABN 68 004 620 651

500 Burwood Highway
Vermont South VIC 3133
Australia

P: +61 3 9881 1555
F: +61 3 9887 8104

info@arrb.com.au
www.arrb.com.au

CALIBRATION AND ACCURACY STATEMENT

ROUGHOMETER III

The Roughometer III is a device designed to measure the true profile of any road surface.

The type of vehicle, weight of the vehicle and the characteristics of the suspension components has very little influence on the performance of system.

Roughometer measures the true road profile using an electronic accelerometer mounted on the axle. This profile is then fed into the same IRI algorithm used by a laser profiler. Consequently it is a true measure of IRI and not an experimental correlation.

SPECIFICATIONS

ACCURACY (Roughness): IRI correlates to better than +/- 0.5 IRI of true IRI
(when operated within design parameters)

RESOLUTION: 0.1 IRI

SURVEY SPEED: 40 to 60 km/h

ACCURACY (Distance): Better than 0.1% (with DMI distance sensor)

ACCURACY

ARRB Group is an Australian government authority specializing in public interest road research. ARRB has a fully certified NATA laboratory and has designed, tested and calibrated the Roughometer III against ASTM E950 Class I laser profiler systems under various road conditions.

The stated accuracy is guaranteed to be met when:

- The system is operated within the design parameters as stated in the User Manual
- The Distance Measuring Device (DMI) is calibrated at the recommended intervals
- The Roughness Sensor (accelerometer) is calibrated prior to installation in the vehicle and re-calibrated by the user every 12 months thereafter

CALIBRATION

Before installing the Roughometer on a vehicle, it is necessary to calibrate the devices that collect the survey data. Calibration is carried out in the vehicle and is performed by the customer. The software provided contains the required procedures and the calibration standards are described below.

Note: There is no requirement for the system to be calibrated and serviced periodically by a certified laboratory or by the ARRB group.

There are no adjustments available for the Roughometer sensors. All sensitivity and adjustment factors are calculated and recorded during the calibration process. These factors are then used by the software when calculating and reporting Road Roughness.

ARRB has designed the system to meet the accuracy specification stated for the life of the product, provided the regular calibration procedures are performed by the customer,

Accelerometer calibration

The roughness sensor must be calibrated by the customer (as described in the manual) prior to mounting on the vehicle. It is recommended that the calibration is repeated annually by the customer, to allow for drift of the electronics over time. There are no mechanical moving parts and no adjustments required to perform an accurate calibration of the sensor. The calibration standard or reference is the earth's gravity (1g). Each sensor has been pre-tested and calibrated prior to despatch from ARRB's factory and is guaranteed to be within design parameters. However, the calibration procedure outlined in the manual and below must be performed to compensate for variations in altitude and gravity of where the system is to be operated.

The roughness sensor is sensitive to vertical motion. When correctly installed, it will accurately measure the vertical motion induced by the road surface profile as the vehicle is driven along the road. Calibration of the roughness sensor involves measuring the output from the sensor in both the normal and inverted orientations.

1. Hold the sensor against a vertical surface with the sensor arrow pointing downward (0 degrees position)
2. The output from the sensor is continuously measured and displayed. Adjust the sensor's vertical alignment (small movements) to achieve the maximum output voltage reading. The calibration value will vary from unit to unit but should be around 2.6 V. If the 'new' value differs greatly from the 'old' value or is greater than 3.5 or less than 2.0, repeat the procedure.
3. Rotate the sensor 180 degrees. The display will change to show the sensor output voltage. The displayed voltage in this position will be less than the voltage displayed for the 0 degrees position. Adjust the sensor's vertical alignment to achieve the minimum output voltage reading. Typically 1.6x V.

Distance calibration (DMI Sensor)

The distance calibration requires a straight track which has been accurately measured and marked. The track can be from 100 metres to 1000 metres in length. A greater length of track will produce a more accurate calibration. 0.1% accuracy is achieved when the measured track is 1000 metres. Consistent tyre pressures must be maintained when the system is being used.

It is recommended that the distance calibration is performed twice a year to allow for wear of the tyres. If the tyre is changed, or the system is installed on a different vehicle the calibration must be redone.

The accuracy of the calibration is totally dependent on how accurately the track has been measured and marked.

Verification of Calibration

The operator of the Roughometer is responsible for the calibrations and should be able to produce a log book or history sheet detailing the times and dates of the most recent calibrations. The latest calibration factors should also be recorded. Details of the equipment and procedure used to measure and mark the distance calibration should also be recorded.

The Roughmeter III equipment with the following configuration:

Equipment Configuration		
Component Type Number	Component Description	Serial Number
11020.C	Roughometer Controller Assembly	465
11040.C	Roughometer Accelerometer Assembly	615
11050.C	Roughometer Interface Assembly	435
11114.C	KMI Rotational Transducer Kit	555
11204.A	GPS Add On	312

Calibrated by ARRB Group and valid until January 15, 2024


Yours Faithfully



Roland Leschinski
Chief Engineer
ARRB Group



B. Datos recolectados con el formato de registro para el ensayo Rugosímetro ARRB-R3.

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO							
ENSAYO RUGOSÍMETRO ARRB-R3 (III)							
TESIS:	Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023						
TESISTA:	Jean Carlos Zavaleta Larico	ING. RESP.	Ing. Julio Cesar Medina Sotomayor				
UBICACIÓN:	Huancane, Huancane, Puno	VEHÍCULO:	Toyota Hilux	ENSAYO N°:	01		
TRAMO:	Chapapampa - Jonsani	INTERVALO:	100 metros	SENTIDO:	Idea		
TRATAMIENTO:	Otta Seal	MUESTRA:	5.00 km	FECHA:	29/09/2023		
PROGRESIVA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			VELOCIDAD	IRI (m/km)	EVENTO
DESDE	HASTA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	Km/h		
0+000	0+100	-15.208656	-69.77845	3832.5	36	3.20	
0+100	0+200	-15.209559	-69.77833	3832.4	37	3.15	
0+200	0+300	-15.210461	-69.77819	3832.3	35	3.25	
0+300	0+400	-15.211353	-69.77805	3832	36	2.65	
0+400	0+500	-15.212254	-69.77797	3832.6	34	4.10	
0+500	0+600	-15.21315	-69.7779	3833.6	36	3.50	
0+600	0+700	-15.214051	-69.77786	3835.2	35	3.95	
0+700	0+800	-15.214949	-69.77786	3839.6	35	4.20	
0+800	0+900	-15.215841	-69.77794	3840.2	36	3.70	
0+900	1+000	-15.216741	-69.77802	3841.6	35	4.25	
1+000	1+100	-15.217638	-69.77805	3841.2	37	3.05	
1+100	1+200	-15.21854	-69.77805	3840.5	38	2.85	
1+200	1+300	-15.219444	-69.77804	3839.9	36	3.05	
1+300	1+400	-15.220346	-69.77803	3839.3	35	3.00	
1+400	1+500	-15.221248	-69.77802	3838.6	35	3.20	
1+500	1+600	-15.222139	-69.77794	3837.6	36	5.85	
1+600	1+700	-15.222947	-69.77751	3833.3	36	4.20	
1+700	1+800	-15.223744	-69.77706	3832.7	34	5.15	
1+800	1+900	-15.22454	-69.77663	3832.8	34	3.45	
1+900	2+000	-15.225305	-69.77614	3832.7	36	3.70	
2+000	2+100	-15.226047	-69.7756	3832.9	36	3.35	
2+100	2+200	-15.226686	-69.77496	3833.2	37	3.50	
2+200	2+300	-15.227192	-69.77419	3832.9	35	3.55	
2+300	2+400	-15.227772	-69.77347	3833.8	31	3.55	
2+400	2+500	-15.228383	-69.77278	3833.3	31	4.50	
2+500	2+600	-15.229027	-69.77215	3833.3	34	3.55	
2+600	2+700	-15.229523	-69.77138	3834	33	4.70	
2+700	2+800	-15.23004	-69.77061	3838.5	23		Giba
2+800	2+900	-15.230592	-69.7699	3840.7	29		Giba
2+900	3+000	-15.231091	-69.76914	3841.3	36	4.95	
3+000	3+100	-15.231595	-69.76836	3841.5	35	6.20	
3+100	3+200	-15.232157	-69.76763	3840.4	31		Badén
3+200	3+300	-15.232724	-69.76693	3842.6	38	3.55	
3+300	3+400	-15.233351	-69.76626	3842.7	39	5.50	
3+400	3+500	-15.234058	-69.76567	3843.3	36	4.10	
3+500	3+600	-15.23482	-69.76519	3845.4	37	4.40	
3+600	3+700	-15.235476	-69.76456	3845.6	39	3.30	
3+700	3+800	-15.236092	-69.76387	3846.8	36	4.20	
3+800	3+900	-15.236787	-69.76328	3844.8	36	3.45	
3+900	4+000	-15.237522	-69.76275	3845.5	37	3.45	
4+000	4+100	-15.238304	-69.76229	3847.8	34	3.65	
4+100	4+200	-15.239121	-69.76193	3844.3	32	7.30	
4+200	4+300	-15.24	-69.76207	3840	36	3.95	
4+300	4+400	-15.240884	-69.76194	3836.9	35	3.65	
4+400	4+500	-15.241653	-69.7624	3833.4	35	3.95	
4+500	4+600	-15.24251	-69.76216	3832.7	37	3.50	
4+600	4+700	-15.243399	-69.76196	3833.4	33	6.75	Puente
4+700	4+800	-15.244292	-69.76189	3833.3	35	8.30	Puente
4+800	4+900	-15.245189	-69.76184	3833.4	37	4.25	
4+900	5+000	-15.245973	-69.76177	3834.1	35	7.25	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ENSAYO RUGOSÍMETRO ARRB-R3 (III)

TESIS:	Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023						
TESISTA:	Jean Carlos Zavaleta Larico	ING. RESP.:	Ing. Julio Cesar Medina Sotomayor				
UBICACIÓN:	Huancane, Huancane, Puno	VEHÍCULO:	Toyota Hilux	ENSAYO N°:	02		
TRAMO:	Chapapampa - Jonsani	INTERVALO:	100 metros	SENTIDO:	Vuelta		
TRATAMIENTO:	Otta Seal	MUESTRA:	5.00 km	FECHA:	29/09/2023		
PROGRESIVA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			VELOCIDAD	IRI (m/km)	EVENTO
DESDE	HASTA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	Km/h		
0+000	0+100	-15.209059	-69.77838	3832.2	35	4.40	
0+100	0+200	-15.20975	-69.77828	3832.1	34	2.65	
0+200	0+300	-15.210642	-69.77814	3832.3	35	3.10	
0+300	0+400	-15.211542	-69.77802	3832.2	39	2.40	
0+400	0+500	-15.212438	-69.77794	3832.9	36	3.35	
0+500	0+600	-15.213337	-69.77787	3833.9	36	3.80	
0+600	0+700	-15.214246	-69.77784	3836	39	3.05	
0+700	0+800	-15.215143	-69.77786	3839.7	36	4.05	
0+800	0+900	-15.216048	-69.77794	3840.3	38	4.15	
0+900	1+000	-15.216945	-69.77803	3841.4	36	4.10	
1+000	1+100	-15.217849	-69.77803	3840.5	37	3.35	
1+100	1+200	-15.218753	-69.77803	3839.7	38	3.40	
1+200	1+300	-15.219658	-69.77803	3839.1	38	3.10	
1+300	1+400	-15.220559	-69.77803	3838.4	37	4.10	
1+400	1+500	-15.221466	-69.77803	3837.4	38	4.55	
1+500	1+600	-15.222338	-69.77783	3836	39	4.50	
1+600	1+700	-15.223135	-69.77739	3832.2	42	4.80	
1+700	1+800	-15.223927	-69.77696	3831.8	40	4.45	
1+800	1+900	-15.224729	-69.77653	3831.6	39	4.00	
1+900	2+000	-15.225476	-69.77601	3831.8	38	3.20	
2+000	2+100	-15.226214	-69.77547	3831.9	37	3.55	
2+100	2+200	-15.226794	-69.77477	3831.9	34	3.55	
2+200	2+300	-15.227308	-69.77401	3831.9	34	3.65	
2+300	2+400	-15.2279	-69.77331	3832.9	36	3.65	
2+400	2+500	-15.228537	-69.77264	3832.6	37	4.05	
2+500	2+600	-15.229172	-69.77198	3832.7	37	3.40	
2+600	2+700	-15.229622	-69.77116	3833.8	38	4.20	
2+700	2+800	-15.230175	-69.77047	3838.8	25		Giba
2+800	2+900	-15.230709	-69.76971	3840.3	29		Giba
2+900	3+000	-15.231226	-69.76894	3840.5	36	4.40	
3+000	3+100	-15.231712	-69.76815	3840.7	36	3.60	
3+100	3+200	-15.232303	-69.76746	3840.6	30		Badén
3+200	3+300	-15.232866	-69.76674	3841.6	34	3.10	
3+300	3+400	-15.23353	-69.76611	3841.9	36	4.05	
3+400	3+500	-15.234249	-69.76555	3843.5	37	3.85	
3+500	3+600	-15.235002	-69.76503	3845	37	3.25	
3+600	3+700	-15.235633	-69.76437	3845.6	38	4.40	
3+700	3+800	-15.236259	-69.7637	3846.9	36	4.45	
3+800	3+900	-15.236989	-69.76316	3844	37	3.70	
3+900	4+000	-15.237727	-69.76262	3847	38	3.00	
4+000	4+100	-15.238495	-69.76214	3848.1	35	2.90	
4+100	4+200	-15.23933	-69.76198	3844.2	31	7.75	
4+200	4+300	-15.240221	-69.76201	3840	34	4.60	
4+300	4+400	-15.241092	-69.76201	3837.6	34	3.10	
4+400	4+500	-15.241853	-69.76237	3833.5	30	4.25	
4+500	4+600	-15.242718	-69.7621	3833.9	35	3.70	
4+600	4+700	-15.243602	-69.76191	3834.6	35	6.05	Puente
4+700	4+800	-15.244503	-69.76189	3834.5	34	5.85	Puente
4+800	4+900	-15.245407	-69.76181	3834.6	36	4.00	
4+900	5+000	-15.246319	-69.76174	3835.3	37	5.00	

C. Informe de Laboratorio.

INFORME



EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS MEDICIÓN DEL IRI

CARRETERA: CHAPAPAMPA - JONSANI

Preparado Para:

SETIEMBRE, 2023

Elaborado:	Revisado:
Ing. Julio Cesar Medina S.	Ing. Julio Cesar Medina S.

INDICE

1. INTRODUCCION	3
2. OBJETIVO	3
3. UBICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. RECURSOS HUMANOS Y EQUIPAMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE RUGOSIDAD	4
5. DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN	5
6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	10
7. ANALISIS Y RESULTADOS	10
7.1. SECTORES HOMOGENEOS.....	10
7.2. RESULTADOS	12
8. CONCLUSIONES	14

ANEXOS

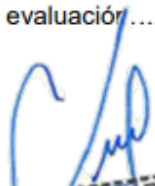
Anexo N° 01: SECTORIZACIÓN

Anexo N° 02: PANEL FOTOGRAFICO

Anexo N° 04: Certificado de Calibración del Rugosimetro III

Índice de Figuras

Fig N° 1: Calibración del equipo a 0 y 180 grados.....	6
Fig N° 2: Calibración del Sensor	7
Fig N° 3: Calibración de distancia con el odómetro de mano.....	9
Fig N° 4: Ingreso de datos de tramo a evaluar.....	9
Fig N° 5: Modo de empleo del sensor durante la evaluación.....	9



JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

1. INTRODUCCION

En el siguiente informe se presentan los resultados de la evaluación correspondiente a la medición de Índice de rugosidad de la carpeta de rodadura (OTTA SEAL) de la carretera: CHAPAPAMPA – JONSANI (Huancané - Puno)

2. OBJETIVO

Realizar la Evaluación Funcional con la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la carretera: en los tramos a nivel, tratamiento superficial conocido como OTTA SEAL.

3. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Los tramos para la medición forman parte de las Rutas PU 109, se encuentra ubicados en el departamento de Puno, en la Sierra Sur con un total de 12.54km aproximadamente con una altitud entre los 3600m Hasta los 3900 msnm.



➤ Características del tramo



JULIO CÉSAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 194347

4. RECURSOS HUMANOS Y EQUIPAMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Para la medición de la rugosidad se contó con los siguientes recursos:

Recursos Humanos para la medición.

La medición de rugosidad estuvo a cargo del Ing. especialista Julio Medina Sotomayor, el cual fue el responsable de la instalación, medición, adquisición de la información rugosidad, procesamiento de la información en gabinete y elaboración del informe final.

Recursos de Equipamiento para la medición.

Se realizó la Medición con el Rugosímetro III clasificado como clase III, el cual permite evaluar la regularidad superficial del camino de acuerdo con la dinámica de la suspensión y el amortiguamiento de un vehículo convencional, cuando se desplaza a velocidades entre 40 y 70 km/h.

El equipo está compuesto por una serie de sencillos componentes:

- Controlador manual
- Antena GPS
- Instrumento para medir la distancia, Distance Measurement Instrument (DMI)
- Sensor de rugosidad (acelerómetro)
- Software especializado para procesar la información recolectada en campo



Caja Interfase



Controlador



JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 19434

Nota: El factor de calibración se almacena en el Controlador.

Se Seleccione la pantalla de Calibración del Sensor del Acelerómetro ("Calibrate Accelerometer Sensor"), utilizando los botones de Desplazamiento.

Cal Accel Sensor
Yes to select

Se Presionó YES para seleccionar la modalidad de calibración del sensor.

Sensor at 0 degs
Esc or Yes

Sostenga el sensor contra una superficie vertical con la flecha del sensor apuntando hacia abajo (ver Figura 01) y presione (YES).

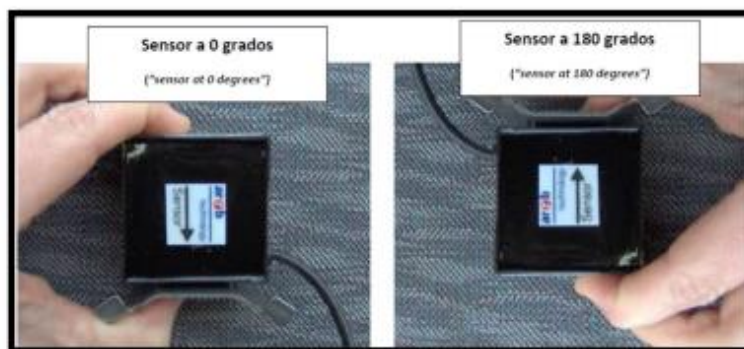


Fig N° 1: Calibración del equipo a 0 y 180 grados.

Sensor= 2.74

Se presiono YES

La tensión de salida del acelerómetro fue constantemente medida y desplegada en pantalla. Se Alineo el sensor de forma vertical para obtener la mayor lectura de salida de voltaje, luego presione YES.

Rotate 180 degs.
Esc or Yes

JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

Rote el sensor 180 grados (flecha hacia arriba, ver Figura 01) y se presionó YES.

Sensor= 2.26

El voltaje desplegado en pantalla en esta posición fue menor que el voltaje mostrado en la posición de 0 grados. Alinee el sensor de forma vertical para obtener la mínima lectura de salida de voltaje, luego presione YES.

Old 4.25 New 4.22

Rote el sensor 180 grados y presione YES.

El controlador actualizó el valor de la calibración. Y se obtuvo el valor del rango permitido que es de 4.06 como mínimo y 4.27 como máximo, según manual de Rugosidad



Fig N° 2: Calibración del Sensor

5.2 Calibración de Distancia

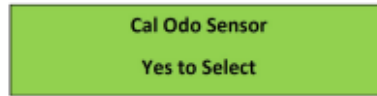
La medición de la distancia exacta depende de la correcta Calibración de Distancia. La Calibración de Distancia varía considerablemente según el sensor de distancia, el tipo de vehículo, diámetro de las llantas y la presión de los neumáticos. Debe realizarse una Calibración de Distancia siempre que el sistema sea instalado en un vehículo.

Nota: El factor de calibración se almacenó en el Controlador. Una calibración de distancia consiste en conducir el vehículo para el sondeo topográfico a lo largo de una pista marcada y medida.

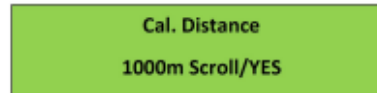
JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

Se marco la pista en 1000m de longitud (en incrementos de 100 metros) con el odómetro de mano.

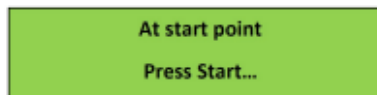
- a) Se Coloco el vehículo en la marca del inicio de la pista de calibración y se seleccionó la pantalla de Calibración de Distancia usando los botones de Desplazamiento.



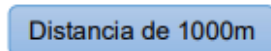
Presione YES para seleccionar la modalidad de Calibración de Distancia.



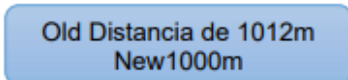
Si es necesario, utilice los botones de desplazamiento para seleccionar la distancia de calibración y Presione YES.



Presione Start/Stop para iniciar la calibración.



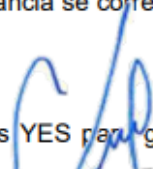
- b) Se Condujo el vehículo a lo largo de la pista de calibración a una velocidad constante y se aseguró de que las ruedas del vehículo sigan una ruta recta tanto como sea posible e. Se debe incrementar la distancia para observar la medida de la misma producida por los ajustes de la Calibración de Distancia.
- c) Se Disminuyo la velocidad del vehículo al acercarse al final de la pista y detenerlo precisamente en la marca final y Presionamos Start/Stop.



El valor anterior no dio 1012m y el nuevo valor medido en la pista de 1000m, calibración el sensor de distancia

En esta Calibración la distancia anterior era 1012 metros y el Nuevo valor de calibración nos dio 1000m. Utilizando el valor de calibración Anterior la distancia se corregido para la vía.

Se guardo en el sistema la nueva actualización y presionamos YES para guardar la nueva calibración.



JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 194347



Fig N° 3: Calibración de distancia con el odómetro de mano

La toma de datos se inicia al introducir la información descriptiva del tramo a evaluar por medio del controlador manual como se observa en la figura 4, luego el sensor de rugosidad, que es un acelerómetro sujeto al eje trasero del vehículo liviano, mide los movimientos verticales producidos por la regularidad superficial del camino.



Fig N° 4: Ingreso de datos de tramo a evaluar

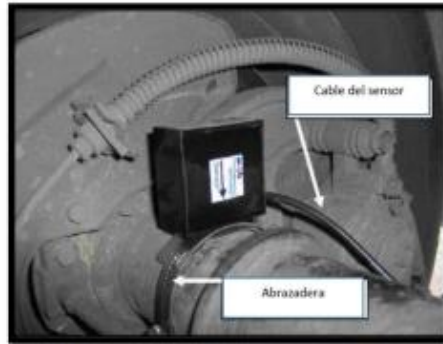
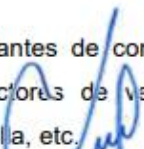


Fig N° 5: Modo de empleo del sensor durante la evaluación.

Estos datos se envían al módulo interface que los sincroniza con la señal del GPS y el medidor de distancia (DMI) para enviarlos al controlador donde se almacenan, para luego transferirlos a un computador donde se procesaron por medio del software especializado.

El operador del equipo indicó singularidades o eventos importantes de considerar durante la evaluación por medio del controlador, como: reductores de velocidad significativas (gibas), baches, losas de concreto, badenes, alcantarilla, etc.


 JULIO CEBAR
 MEDINA SOTOMAYOR
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 194347

El software de procesamiento es amigable, versátil y capaz de presentar los resultados en diversos formatos de salida como gráficos y listas tipo Excel o MS Word, a partir de los cuales el usuario puede utilizar y procesar los datos de acuerdo a sus requerimientos. En Anexo 4 se adjunta el Certificado de Calibración del Rugosímetro R III de ARRB.

6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Para el procesamiento de la información recopilada de campo se consideró lo siguiente:

El *software* utilizado para el procesamiento del perfil longitudinal es el que viene incorporado con el equipo, con el cual se obtiene el IRI, en m/km, a través de un procedimiento estándar para secciones mínimas de 50 m de longitud.

Por último, importante es mencionar que los datos obtenidos están referenciados al odómetro del equipo.

Los sectores donde no se presentan datos de IRI, corresponden a presencia de singularidades en la vía; es decir eventos que están determinados por zonas de gibas, desvíos, ingreso y salida de peajes, zonas de puentes y cualquier evento que pueda distorsionar la rugosidad representativa de la calzada.

7. ANALISIS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los gráficos de IRI Promedios cada 100m del sector KM 00+000 al KM 05+000.

7.1. SECTORES HOMOGENEOS

Con el fin de establecer sectores de trabajo de comportamiento y/o características similares que faciliten la determinación de los parámetros de diseño por sección en el tramo vial, se utilizó, el método de análisis por diferencias acumuladas que recomienda la guía de diseño AASHTO de 1993.

En este método, los tramos homogéneos se localizan entre puntos con cambios en el sentido de la pendiente y se resume de la siguiente manera:



JULIO CÉSAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 194347

ABSCISA	VALOR DE RESPUESTA	NÚMERO INTERVALO	DISTANCIA INTERVALO	DISTANCIA ACUMULADA	RESPUESTA PROMEDIO	ÁREA INTERVALO REAL	ÁREA ACUMULADA	Zx
R_i	N	Δx_i	$\Sigma \Delta x_i$	R_i	A_i	ΣA_i	$\Sigma A_i - F(\Delta x_i)$	
1	r_1	1	Δx_1	Δx_1	$f_1 = r_1$	$a_1 = r_1 \cdot \Delta x_1$	a_1	$Zx_1 = \Sigma a_i - F(\Delta x_i)$
2	r_2	2	Δx_2	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$f_2 = (r_1 + r_2)/2$	$a_2 = f_2 \cdot \Delta x_2$	$a_1 + a_2$	$Zx_2 = (a_1 + a_2) - F(\Delta x_1 + \Delta x_2)$
3	r_3	3	Δx_3	$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$	$f_3 = (r_2 + r_3)/2$	$a_3 = f_3 \cdot \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	$Zx_3 = (a_1 + a_2 + a_3) - F(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3)$
Lp	r_n	N_n	Δx_{n_n}	$\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{n_n}$	$f_{n_n} = (r_{n-1} + r_n)/2$	$a_{n_n} = f_{n_n} \cdot \Delta x_{n_n}$	$a_1 + \dots + a_{n_n}$	$Zx_{n_n} = (a_1 + \dots + a_{n_n}) - F(\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{n_n})$

$$F = \frac{At}{L}$$

Fig N° 6: Sectorización por Diferencias Acumuladas

Dónde:

At : Sumatoria de los valores obtenidos de área acumulada

L : Longitud del tramo en estudio (Km)

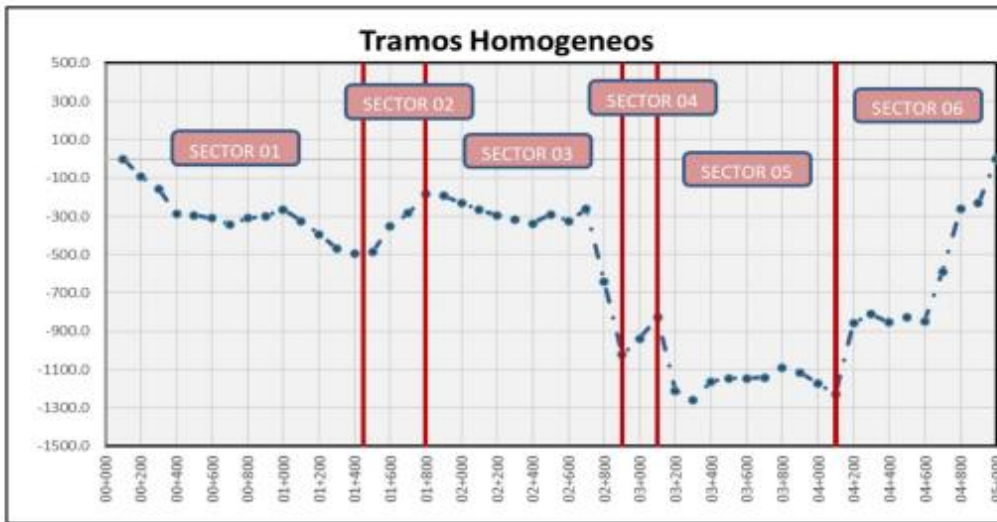
Teniendo en cuenta que se realizaron mediciones de IRI en Afirmado (cada 100m), se evaluó por separado los resultados obtenidos, como se aprecia a continuación:

En la siguiente figura se ilustra la delimitación de sectores o unidades homogéneas a partir de la variación de la función Zx, la cual es definida como la diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el tramo hasta la misma distancia.

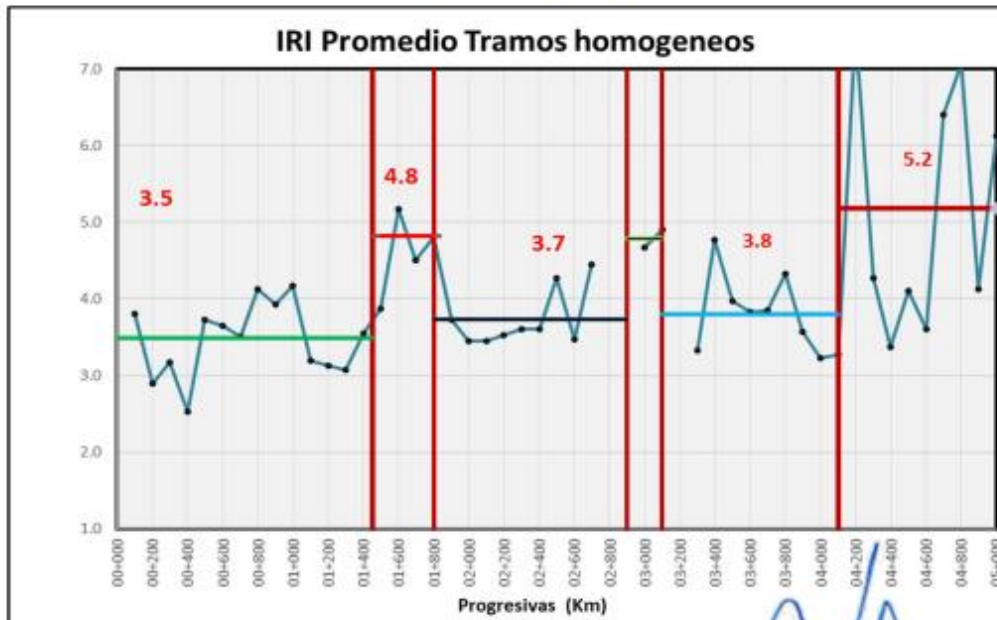

 JULIO CESAR
 MEDINA SOTOMAYOR
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 194347

7.2. RESULTADOS

TRAMO: KM 00+000 - KM 05+000



N° 7: Sectorización




JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

Estado vial, según la Rugosidad

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

Fig N° 8: Estados de la Vía, Según rangos de Rugosidad

De la Figura 7, se presenta 6 sectores de Índice de Rugosidad media, con valores de entre **3.5** y **5.2** de IRI Promedio, obteniendo una condición de la vía **BUENO** según la vía no Pavimentada, la cual a Continuación se presenta la sectorización obtenida:

SECTORIZACION IRI POR DIFERENCIAS ACUMULADAS				
Tramo Homogéneo	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Promedio	Condición de los Tramos según la Rugosidad
1	00+000	01+450	3.5	BUENO
2	01+450	01+800	4.8	BUENO
3	01+800	02+900	3.7	BUENO
4	02+900	03+100	4.8	BUENO
5	03+100	04+100	3.8	BUENO
6	04+100	05+000	5.2	BUENO



Fig N° 9: Estado de la Vía en Otta Seal

13

JULIO CÉSAR MEDINA SOTOMAYOR
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 194347

8. CONCLUSIONES

- a) Se determinaron los valores del índice de regularidad internacional (IRI), de acuerdo al Manual de Suelos y Pavimentos
- b) Se describió y analizó la ejecución, resultados y conclusiones de la evaluación de CARRETERA: CHAPAPAMPA - JONSANI en el Departamento de PUNO.
- c) Los valores de IRI, se procesaron cada 100, según indicaciones del cliente y se adjunta en los Anexos.
- d) Los presenta una vía a nivel de Tratamiento Superficial, OTTA SEAL en **BUEN** estado de conservación.



JULIO CESAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

EVALUACIÓN FUNCIONAL DE RUGOSIDAD IRI

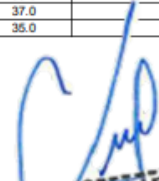
CARRETERA:

RUTA
SECTOR EVALUADO : KM 00+00 - KM 05+000
CARRIL EVALUADO : CARRIL DOBLE
SUPERFICIE : tratamiento asfáltico superficial Otta Seal
FECHA DE MEDICIÓN : Set-23



Prog. Inicial (m)	Prog. final (m)	LONGITUD TRAMO (Km)	IRI_H.D. (m/Km)	IRI_H.D. (m/Km)	IRI Promedio (m/Km)	Latitudo	Longitudo	Altitude	Velocidad	Observaciones
0+000	0+100	0.100	3.2	4.4	3.8	-15.2086492	-69.778453	3831.6	33.0	
0+100	0+200	0.100	3.2	2.7	2.9	-15.2095444	-69.7783299	3831	40.0	
0+200	0+300	0.100	3.3	3.1	3.2	-15.2104372	-69.7782063	3830.6	42.0	
0+300	0+400	0.100	2.7	2.4	2.5	-15.2113371	-69.7780583	3830.8	38.0	
0+400	0+500	0.100	4.1	3.4	3.7	-15.2122363	-69.7779706	3831.4	38.0	
0+500	0+600	0.100	3.5	3.8	3.7	-15.2131318	-69.7778967	3832.1	37.0	
0+600	0+700	0.100	4.0	3.1	3.5	-15.2140303	-69.7778568	3834.3	38.0	
0+700	0+800	0.100	4.2	4.1	4.1	-15.2149314	-69.7778585	3838.1	37.0	
0+800	0+900	0.100	3.7	4.2	3.9	-15.2158262	-69.7779283	3839.3	40.0	
0+900	1+000	0.100	4.3	4.1	4.2	-15.2167261	-69.7780204	3840.8	36.0	
1+000	1+100	0.100	3.1	3.4	3.2	-15.217625	-69.7780583	3840.3	37.0	
1+100	1+200	0.100	2.9	3.4	3.1	-15.2185276	-69.7780441	3839.5	37.0	
1+200	1+300	0.100	3.1	3.1	3.1	-15.2194306	-69.778045	3838.6	37.0	
1+300	1+400	0.100	3.0	4.1	3.6	-15.2203318	-69.7780316	3838.1	37.0	
1+400	1+500	0.100	3.2	4.6	3.9	-15.2212359	-69.778028	3836.9	35.0	
1+500	1+600	0.100	5.9	4.5	5.2	-15.2221316	-69.777944	3836.5	36.0	
1+600	1+700	0.100	4.2	4.8	4.5	-15.2229343	-69.7775201	3832.2	36.0	
1+700	1+800	0.100	5.2	4.5	4.8	-15.2237283	-69.7770785	3830.9	36.0	
1+800	1+900	0.100	3.5	4.0	3.7	-15.2245235	-69.7766461	3830.6	36.0	
1+900	2+000	0.100	3.7	3.2	3.5	-15.2252914	-69.7761719	3830.2	36.0	
2+000	2+100	0.100	3.4	3.6	3.5	-15.2260336	-69.7756352	3829.8	35.0	
2+100	2+200	0.100	3.5	3.6	3.5	-15.226675	-69.7749868	3830.3	36.0	
2+200	2+300	0.100	3.6	3.7	3.6	-15.2271846	-69.774209	3831.4	37.0	
2+300	2+400	0.100	3.6	3.7	3.6	-15.227755	-69.7734985	3831.7	35.0	
2+400	2+500	0.100	4.5	4.1	4.3	-15.2283592	-69.7728151	3830.9	34.0	
2+500	2+600	0.100	3.6	3.4	3.5	-15.2290122	-69.7721766	3830.9	34.0	
2+600	2+700	0.100	4.7	4.2	4.5	-15.2295175	-69.771393	3832.7	35.0	
2+700	2+800	0.100				-15.2300197	-69.7706304	3836.5	22.0	GIBA
2+800	2+900	0.100				-15.2305751	-69.7699273	3838.4	28.0	GIBA
2+900	3+000	0.100	5.0	4.4	4.7	-15.2310725	-69.7691773	3838.5	37.0	
3+000	3+100	0.100	6.2	3.6	4.9	-15.2315774	-69.7683896	3839.5	34.0	
3+100	3+200	0.100				-15.2321311	-69.7676648	3838.1	32.0	BADEN
3+200	3+300	0.100	3.6	3.1	3.3	-15.2327086	-69.7669649	3840.5	39.0	
3+300	3+400	0.100	5.5	4.1	4.8	-15.2333333	-69.7662799	3840.8	37.0	
3+400	3+500	0.100	4.1	3.9	4.0	-15.2340396	-69.7657025	3840.7	36.0	
3+500	3+600	0.100	4.4	3.3	3.8	-15.234804	-69.7652178	3843.1	37.0	
3+600	3+700	0.100	3.3	4.4	3.9	-15.2354618	-69.7645788	3843.5	37.0	
3+700	3+800	0.100	4.2	4.5	4.3	-15.2360733	-69.7639034	3844.2	34.0	
3+800	3+900	0.100	3.5	3.7	3.6	-15.2367707	-69.7632931	3842.7	37.0	
3+900	4+000	0.100	3.5	3.0	3.2	-15.237507	-69.7627693	3843.4	36.0	
4+000	4+100	0.100	3.7	2.9	3.3	-15.2382848	-69.7623212	3844.8	34.0	
4+100	4+200	0.100	7.3	7.8	7.5	-15.2390957	-69.7619271	3841.6	30.0	
4+200	4+300	0.100	4.0	4.6	4.3	-15.2399761	-69.762085	3836.7	35.0	
4+300	4+400	0.100	3.7	3.1	3.4	-15.2408605	-69.761962	3832.8	34.0	
4+400	4+500	0.100	4.0	4.3	4.1	-15.2416301	-69.7624233	3829.4	35.0	
4+500	4+600	0.100	3.5	3.7	3.6	-15.2424823	-69.7622141	3827.8	37.0	
4+600	4+700	0.100	6.8	6.1	6.4	-15.2433741	-69.7620037	3827.8	34.0	
4+700	4+800	0.100	8.3	5.9	7.1	-15.2442675	-69.7619233	3827.4	35.0	
4+800	4+900	0.100	4.3	4.0	4.1	-15.2451635	-69.7618875	3826.3	37.0	
4+900	5+000	0.100	7.3	5.0	6.1	-15.2459778	-69.7618179	3827	35.0	

	CD	CI	PROMEDIO CARRIL
Minimo:	2.7	2.4	2.5
Maximo:	8.3	7.8	7.5
Promedio:	4.2	3.9	4.1


JULIO CESAR MEDINA SOTOMAYOR
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 194347

PANEL FOTOGRÁFICO:

CARRETERA: CHAPAPAMPA - JONSANI

Figura N° 1.- Calibración del Sensor de Rugosidad y Equipo RIII



CARRETERA: CHAPAPAMPA - JONSANI


JULIO CÉSAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

Figura N° 2.- Evaluación de Índice de Rugosidad en la Vía (Otta Seal)



ESTADO DE LA VIA A NIVEL DE OTTA SEAL



JULIO CÉSAR
MEDINA SOTOMAYOR
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 194347

CARRETERA: CHAPAPAMPA - JONSANI

Anexo 5. Ensayos de Aplicativo Abakal para Smartphone.

A. Prueba Piloto

- Se realizó 5 pruebas en una carretera de topografía plana, y rectilíneo

PRUEBA 01						
Sentido	Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Distancia	Valor IRI
Ida	-15.207151	-69.776514	3,874.00	77.15	100	1.95
	-15.206632	-69.775601	3,874.00	83.34	100	3.24
Vuelta	-15.206756	-69.775994	3,876.00	80.89	100	2.71
	-15.20726	-69.776899	3,876.00	80.24	100	2.81

PRUEBA 02						
Sentido	Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Distancia	Valor IRI
Ida	-15.20714	-69.776502	3,873.00	76.9	100	1.83
	-15.206624	-69.775595	3,874.00	83.34	100	3.04
Vuelta	-15.206746	-69.775982	3,876.00	84.2	100	1.38
	-15.207275	-69.776916	3,875.00	81.9	100	2.83

PRUEBA 03						
Sentido	Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Distancia	Valor IRI
Ida	-15.207125	-69.776477	3,874.00	77.04	100	1.94
	-15.206624	-69.775599	3,874.00	79.99	100	2.92
Vuelta	-15.206704	-69.775903	3,876.00	80.64	100	2.85
	-15.207225	-69.776818	3,875.00	82.26	100	2.9

PRUEBA 04						
Sentido	Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Distancia	Valor IRI
Ida	-15.207102	-69.77645	3,875.00	75.78	100	1.15
	-15.206615	-69.775591	3,875.00	77.29	100	2.81
Vuelta	-15.206685	-69.775889	3,875.00	75.78	100	2.12
	-15.207161	-69.776728	3,874.00	74.88	100	2.76

PRUEBA 05						
Sentido	Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Distancia	Valor IRI
Ida	-15.207227	-69.776667	3,875.00	74.7	100	0.57
	-15.206713	-69.775763	3,875.00	87.34	100	2.98
Vuelta	-15.207118	-69.776655	3,876.00	74.56	100	2.85
	-15.207597	-69.777504	3,875.00	76.86	100	2.8

- Resumen de datos

PRUEBA PILOTO DE APLICATIVO SMARTPHONE ABAKAL						
Desplazamiento		VALOR IRI				
		PRUEBA 01	PRUEBA 02	PRUEBA 03	PRUEBA 04	PRUEBA 05
0+000	0+100	1.95	1.83	1.94	1.15	0.57
0+100	0+200	3.24	3.04	2.92	2.81	2.98
0+200	0+300	2.71	1.38	2.85	2.12	2.85
0+300	0+400	2.81	2.83	2.9	2.76	2.8


- Se hallo las Correlaciones entre las pruebas

	<i>PRUEBA 01</i>	<i>PRUEBA 02</i>	<i>PRUEBA 03</i>	<i>PRUEBA 04</i>	<i>PRUEBA 05</i>
PRUEBA 01	1	0.62	0.92	0.95	0.93
PRUEBA 02	0.62	1	0.43	0.71	0.39
PRUEBA 03	0.92	0.43	1	0.94	1.00
PRUEBA 04	0.95	0.71	0.94	1	0.92
PRUEBA 05	0.93	0.39	1.00	0.92	1

- Se hallo el Alfa De Cronbach - por Correlaciones

n	5
p	0.78067367
α	0.94680025

B. Datos recolectados con el formato de registro para el ensayo del aplicativo Abakal para Smartphone.

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO							
ENSAYO DE APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE							
TESIS:	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023						
TESISTA:	Jean Carlos Zavaleta Larico				SMARTPHONE:	A54 Samsung	
UBICACIÓN:	Huancané, Huancané, Puno			VEHÍCULO:	Kia - Rio	ENSAYO N°:	01
TRAMO:	Chapapampa - Jonsani			INTERVALO:	100 metros	SENTIDO:	lda
TRATAMIENTO:	Otta Seal			MUESTRA:	5.00 km	FECHA:	1/10/2023
PROGRESIVA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			VELOCIDAD	IRI (m/km)	EVENTO
DESDE	HASTA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	Km/h		
0+000	0+100	-15.209349	-69.77832	3875	59.26	2.17	
0+100	0+200	-15.21034	-69.77817	3875	73.48	1.92	
0+200	0+300	-15.211262	-69.77803	3875	75.42	2.13	
0+300	0+400	-15.212186	-69.77794	3875	72.76	1.8	
0+400	0+500	-15.213095	-69.77786	3876	72.65	2.67	
0+500	0+600	-15.214005	-69.77783	3878	72.29	2.91	
0+600	0+700	-15.21505	-69.77783	3882	66.71	2.9	
0+700	0+800	-15.21611	-69.77792	3883	73.58	2.87	
0+800	0+900	-15.217028	-69.77801	3884	73.51	2.9	
0+900	1+000	-15.217978	-69.77801	3884	75.96	2.83	
1+000	1+100	-15.218942	-69.778	3883	77.44	2.85	
1+100	1+200	-15.219907	-69.77799	3883	75.53	2.83	
1+200	1+300	-15.220837	-69.77798	3882	72.58	3.13	
1+300	1+400	-15.221723	-69.77798	3881	68.58	2.89	
1+400	1+500	-15.222686	-69.7776	3877	72.65	2.52	
1+500	1+600	-15.223498	-69.77714	3875	73.94	3.33	
1+600	1+700	-15.224305	-69.77669	3874	72.4	2.67	
1+700	1+800	-15.225205	-69.77616	3874	64.98	2.47	
1+800	1+900	-15.225982	-69.7756	3874	60.7	3.02	
1+900	2+000	-15.226661	-69.7749	3874	68.29	2.09	
2+000	2+100	-15.227272	-69.77399	3874	73.04	2.85	
2+100	2+200	-15.227981	-69.77316	3875	69.48	2.66	
2+200	2+300	-15.22871	-69.77241	3874	65.27	2.99	
2+300	2+400	-15.229299	-69.77168	3875	57.85	2.56	
2+400	2+500	-15.229771	-69.77082	3878	37.48	2.46	
2+500	2+600	-15.230373	-69.77013	3882	33.98	2.23	
2+600	2+700	-15.230924	-69.76929	3882	50.36	2.18	
2+700	2+800	-15.231432	-69.76854	3883	63.47	2.79	
2+800	2+900	-15.231968	-69.76775	3883	59.22	2.87	
2+900	3+000	-15.232612	-69.76701	3883	67.21	2.91	
3+000	3+100	-15.233212	-69.76631	3885	67.54	2.52	
3+100	3+200	-15.234024	-69.76563	3886	70.13	2.58	
3+200	3+300	-15.234853	-69.76509	3888	66.67	2.47	
3+300	3+400	-15.235585	-69.76436	3888	68.69	2.19	
3+400	3+500	-15.236265	-69.76364	3889	63.76	2.22	
3+500	3+600	-15.237032	-69.7631	3887	63.18	2.26	
3+600	3+700	-15.237771	-69.76255	3890	60.12	2.17	
3+700	3+800	-15.238558	-69.76205	3891	54.83	1.74	
3+800	3+900	-15.239539	-69.76199	3886	41.65	2.04	
3+900	4+000	-15.24051	-69.76188	3881	39.13	1.84	
4+000	4+100	-15.241382	-69.7622	3878	48.17	1.74	
4+100	4+200	-15.24223	-69.7622	3877	50.11	1.97	
4+200	4+300	-15.243192	-69.76196	3877	58.86	2.46	
4+300	4+400	-15.244096	-69.76185	3877	64.26	2.91	
4+400	4+500	-15.245029	-69.76182	3876	62.57	3.07	
4+500	4+600	-15.246027	-69.76173	3877	69.84	2.6	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ENSAYO DE APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE

TESIS:	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023						
TESISTA:	Jean Carlos Zavaleta Larico			SMARTPHONE:	A54 Samsung		
UBICACIÓN:	Huancané, Huancané, Puno		VEHÍCULO:	Kia - Rio	ENSAYO N°:	02	
TRAMO:	Chapapampa - Jonsani		INTERVALO	100 metros	SENTIDO:	Vuelta	
TRATAMIENTO:	Otta Seal		MUESTRA:	5.00 km	FECHA:	1/10/2023	
PROGRESIVA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			VELOCIDAD	IRI (m/km)	EVENTO
DESDE	HASTA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	Km/h		
4+600	4+500	-15.24572	-69.76176	3872	73.37	1.76	
4+500	4+400	-15.244661	-69.76185	3873	65.99	3.19	
4+400	4+300	-15.243635	-69.76188	3872	66.24	3.14	
4+300	4+200	-15.242675	-69.76208	3873	66.31	3	
4+200	4+100	-15.241697	-69.76238	3873	39.46	2.07	
4+100	4+000	-15.240907	-69.76191	3880	43.38	2.07	
4+000	3+900	-15.239997	-69.76204	3881	48.53	2.11	
3+900	3+800	-15.239048	-69.7619	3886	41	2.58	
3+800	3+700	-15.23817	-69.76232	3887	45	1.62	
3+700	3+600	-15.237349	-69.76283	3884	59.47	2.16	
3+600	3+500	-15.2365	-69.76344	3886	55.08	2.5	
3+500	3+400	-15.235812	-69.76409	3886	68.44	2.28	
3+400	3+300	-15.235091	-69.7649	3886	71.86	2.91	
3+300	3+200	-15.234233	-69.7655	3884	67.68	2.89	
3+200	3+100	-15.233385	-69.76617	3883	69.88	3.55	
3+100	3+000	-15.232664	-69.76693	3884	67.07	2.69	
3+000	2+900	-15.232002	-69.76771	3881	24.95	2.98	
2+900	2+800	-15.23145	-69.76848	3882	55.87	2.1	
2+800	2+700	-15.230912	-69.7693	3881	71.32	3.05	
2+700	2+600	-15.230372	-69.77012	3881	27.79	2.98	
2+600	2+500	-15.229776	-69.7708	3878	43.99	2.85	
2+500	2+400	-15.229307	-69.77167	3875	60.48	2.47	
2+400	2+300	-15.228669	-69.77245	3875	71.06	2.62	
2+300	2+200	-15.228004	-69.77312	3876	75.78	2.52	
2+200	2+100	-15.227375	-69.77387	3876	76.68	2.36	
2+100	2+000	-15.226818	-69.77466	3874	74.52	2.87	
2+000	1+900	-15.226231	-69.77539	3873	74.48	3.13	
1+900	1+800	-15.225458	-69.77596	3873	77.11	2.94	
1+800	1+700	-15.22464	-69.77651	3874	79.45	2.9	
1+700	1+600	-15.223762	-69.777	3874	80.42	3.38	
1+600	1+500	-15.222867	-69.77749	3875	79.06	3.15	
1+500	1+400	-15.222031	-69.77792	3879	72.9	3.44	
1+400	1+300	-15.221072	-69.77799	3879	79.31	3.2	
1+300	1+200	-15.220062	-69.778	3880	81.72	2.37	
1+200	1+100	-15.219034	-69.778	3880	82.4	2.28	
1+100	1+000	-15.217994	-69.77801	3881	82.51	2.33	
1+000	0+900	-15.216964	-69.77801	3882	81.5	2.13	
0+900	0+800	-15.215949	-69.77791	3880	83.05	2.77	
0+800	0+700	-15.214944	-69.77782	3880	74.84	2.67	
0+700	0+600	-15.213975	-69.77783	3876	81.4	2.39	
0+600	0+500	-15.212921	-69.77788	3874	85.14	2.79	
0+500	0+400	-15.211909	-69.77797	3873	78.19	2.49	
0+400	0+300	-15.210954	-69.77807	3873	74.27	1.74	
0+300	0+200	-15.210044	-69.77821	3873	73.26	2.39	
0+200	0+100	-15.209121	-69.77835	3873	75.17	2.13	
0+100	0+000	-15.209523	-69.77835	3877	74.03	2.8	

B. Formato de archivo digital de datos para el ensayo rugosímetro ARRB-R3.

- Formato digital - nativo del rugosímetro ARRB-R3

Survey									
Survey time:	11:36:22								
Road name:									
From:									
To:									
Direction:									
Reference:									
Vehicle:									
Operator:									
Comments:									
Processing interval:	100m								
Units:	Metric								
Result type:	IRI								
Assessment excellent:	Below	2							
Assessment good:	2.4								
Assessment fair:	4.6								
Assessment poor:	6..10								
Assessment bad:	Above	10							
Low speed correction used:	Yes								
Lead in used:	21m	manufacture	+	29m	collected	by	operator		
SectionID	SubDistance	TotalDistan	IRI	Speed	Latitude	Longitude	Altitude	Events	

- Formato de registro de datos para el ensayo de Rugosímetro ARRB-R3

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO							
ENSAYO RUGOSÍMETRO ARRB-R3 (III)							
TESIS:	Aplicación del rugosímetro Merlin, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023						
TESISTA:				ING. RESP.			
UBICACIÓN:				VEHÍCULO:		ENSAYO N°:	
TRAMO:				INTERVALO:		SENTIDO:	
TRATAMIENTO:				MUESTRA:		FECHA:	
PROGRESIVA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			VELOCIDAD	IRI (m/km)	EVENTO
DESDE	HASTA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	Km/h		

Anexo 7. Validación por juicio de expertos de los instrumentos de recolección de datos.

CONSTANCIA DE VALIDACION

Yo, Ing. Rene Zavaleta Condori identificado con DNI 02035425 con CIP N° 81002, como profesional en Ingeniería Civil, por medio de este presente hago constar que he revisado los siguientes formatos:

1. FORMATO DE REGISTRO DE DATOS PARA EL ENSAYO RUGOSÍMETRO MERLIN, SEGÚN EL TRRL.
2. FORMATO DE ARCHIVO DIGITAL DE DATOS PARA EL ENSAYO RUGOSÍMETRO III (ARRB-R3) SEGÚN EL MANUAL DEL INSTRUMENTO.
3. 03 FORMATOS DE ARCHIVO DIGITAL DE DATOS PARA EL ENSAYO APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE SEGÚN EL MANUAL DEL APLICATIVO.

Con fines de validación de instrumentos y los efectos de su aplicación al tesista de la Universidad Cesar Vallejo JEAN CARLOS ZAVALETA LARICO quien elabora la tesis titulada:

"Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Puedo dar las siguientes apreciaciones en el siguiente cuadro:

INDICADORES	CRITERIOS	VALORACIÓN				
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Este formato se encuentra en un lenguaje adecuado y específico.				X	
OBJETIVIDAD	Expresa el alcance del proyecto.					X
ESTRUCTURA	Tiene un orden lógico el contenido.					X
EFICIENCIA	Comprende aspectos necesarios de cantidad y calidad en la toma o registro de datos.				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos estratégicos planteados.					X
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico - científicos para identificar y determinar lo requerido por la investigación.					X
COHERENCIA	El instrumento en juicio relaciona la variable de estudio con sus respectivos indicadores, unidades e incidencias.					X
METODOLOGIA	La estrategia a emplear responde a la evaluación in situ.				X	

VALORACION TOTAL 37

Fuente: Adeptación de Olano (2003)

La validación se realiza en función a la valoración total obtenida:

VALIDACION	DEFICIENTE	REGULAR	BUENO	EXCELENTE
RANGO DE VALORACION	0 - 20	21 - 30	31 - 36	37 - 40

La valoración obtenida fue de 37 y está dentro del rango de valoración 37 - 40 y su validación fue Excelente.

18 de setiembre - Huancane



Firma del experto

N° DNI: 02035425

N° CIP: 81002

CONSTANCIA DE VALIDACION

Yo, Ing. Julio Zavaleta Condori identificado con DNI 40085423 con CIP N° 86034, como profesional en Ingeniería Civil, por medio de este presente hago constar que he revisado los siguientes formatos:

1. FORMATO DE REGISTRO DE DATOS PARA EL ENSAYO RUGOSÍMETRO MERLIN, SEGÚN EL TRRL.
2. FORMATO DE ARCHIVO DIGITAL DE DATOS PARA EL ENSAYO RUGOSÍMETRO III (ARRB-R3) SEGÚN EL MANUAL DEL INSTRUMENTO.
3. 03 FORMATOS DE ARCHIVO DIGITAL DE DATOS PARA EL ENSAYO APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE SEGÚN EL MANUAL DEL APLICATIVO.

Con fines de validación de instrumentos y los efectos de su aplicación al tesista de la Universidad Cesar Vallejo JEAN CARLOS ZAVALETA LARICO quien elabora la tesis titulada:

"Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Puedo dar las siguientes apreciaciones en el siguiente cuadro:

INDICADORES	CRITERIOS	VALORACIÓN				
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Este formato se encuentra en un lenguaje adecuado y específico.					X
OBJETIVIDAD	Expresa el alcance del proyecto.					X
ESTRUCTURA	Tiene un orden lógico el contenido.					X
EFICIENCIA	Comprende aspectos necesarios de cantidad y calidad en la toma o registro de datos.				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos estratégicos planteados.					X
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico - científicos para identificar y determinar lo requerido por la investigación.					X
COHERENCIA	El instrumento en juicio relaciona la variable de estudio con sus respectivos indicadores, unidades e incidencias.					X
METODOLOGIA	La estrategia a emplear responde a la evaluación in situ.				X	

VALORACION TOTAL	39
-------------------------	----

Fuente: Adaptación de Olano (2003)

La validación se realiza en función a la valoración total obtenida:

VALIDACION	DEFICIENTE	REGULAR	BUENO	EXCELENTE
RANGO DE VALORACION	0 - 20	21 - 30	31 - 36	37 - 40

La valoración obtenida fue de 38 y está dentro del rango de valoración EXCELENTE y su validación fue EXCELENTE

JULIACA, 11/09/2023




Ing. Zulema Anan
INGENIERO CIVIL
C.I.P. N° 86034

Firma del experto

N° DNI: 40085423

N° CIP: 86034

CONSTANCIA DE VALIDACION

Yo, Ing. Marco Antonio Calsin Cutimbo identificado con DNI 42922713 con CIP N° 128262, como profesional en Ingeniería Civil, por medio de este presente hago constar que he revisado los siguientes formatos:

1. FORMATO DE REGISTRO DE DATOS PARA EL ENSAYO RUGOSÍMETRO MERLIN. SEGÚN EL TRRL.
2. FORMATO DE ARCHIVO DIGITAL DE DATOS PARA EL ENSAYO RUGOSÍMETRO III (ARRB-R3) SEGÚN EL MANUAL DEL INSTRUMENTO.
3. 03 FORMATOS DE ARCHIVO DIGITAL DE DATOS PARA EL ENSAYO APLICATIVO ABAKAL PARA SMARTPHONE SEGÚN EL MANUAL DEL APLICATIVO.

Con fines de validación de instrumentos y los efectos de su aplicación al tesis de la Universidad Cesar Vallejo JEAN CARLOS ZAVALETA LARICO quien elabora la tesis titulada:

“Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Puedo dar las siguientes apreciaciones en el siguiente cuadro:

INDICADORES	CRITERIOS	VALORACIÓN				
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Este formato se encuentra en un lenguaje adecuado y específico.					X
OBJETIVIDAD	Expresa el alcance del proyecto.				X	
ESTRUCTURA	Tiene un orden lógico el contenido.					X
EFICIENCIA	Comprende aspectos necesarios de cantidad y calidad en la toma o registro de datos.				X	
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos estratégicos planteados.				X	
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico - científicos para identificar y determinar lo requerido por la investigación.					X
COHERENCIA	El instrumento en juicio relaciona la variable de estudio con sus respectivos indicadores, unidades e incidencias.				X	
METODOLOGIA	La estrategia a emplear responde a la evaluación in situ.				X	

VALORACION TOTAL


35

La validación se realiza en función a la valoración total obtenida:

VALIDACION	DEFICIENTE	REGULAR	BUENO	EXCELENTE
RANGO DE VALORACION	0 - 20	21 - 30	31 - 36	37 - 40

La valoración obtenida fue de 35 y está dentro del rango de valoración 31 - 36 y su validación fue BUENO.

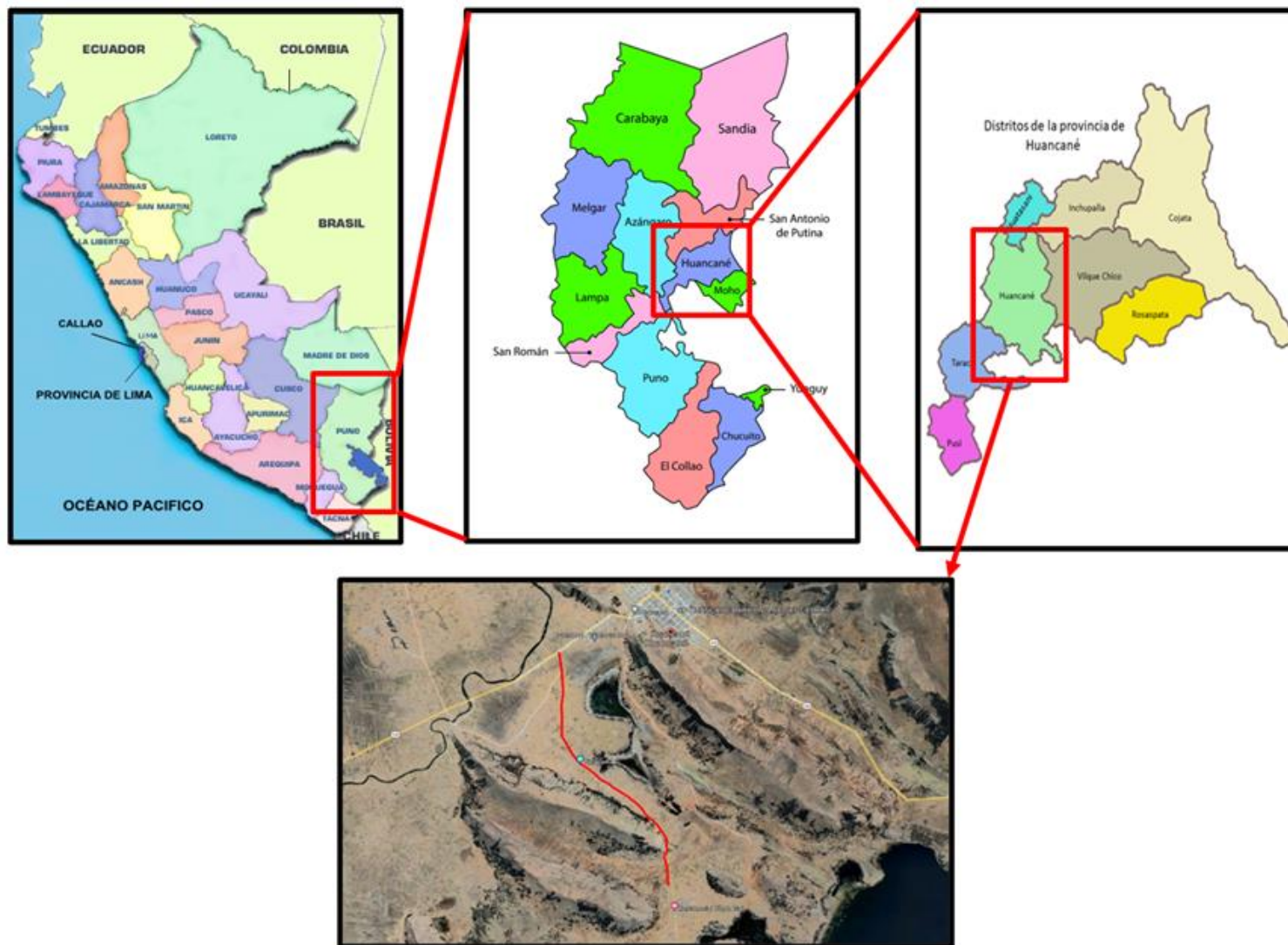
HUANCAJO 22 de SETIEMBRE

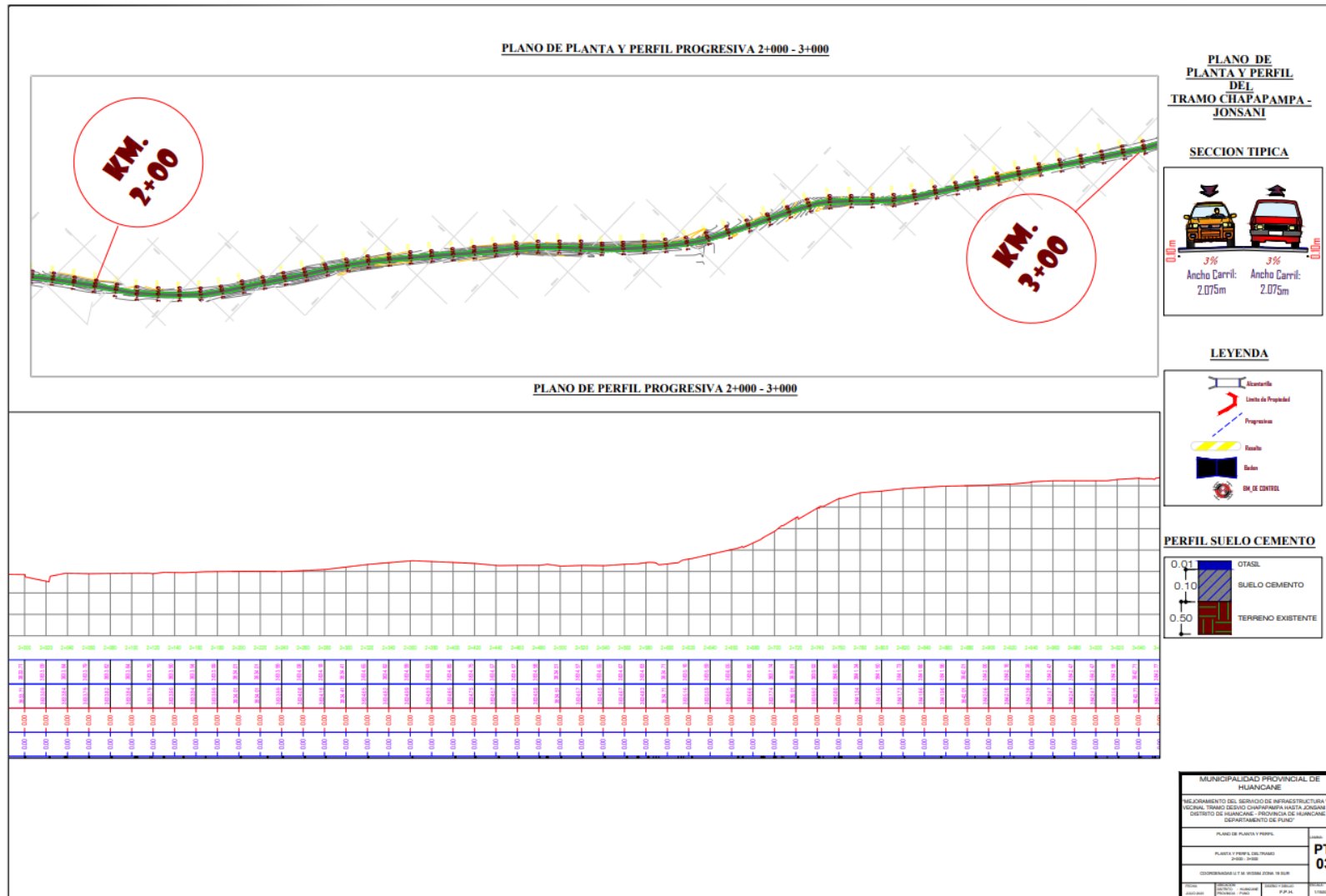


REPRESENTANTE DONALD
DNI 42922713

Firma del experto
N° DNI: 42922713
N° CIP: 128262

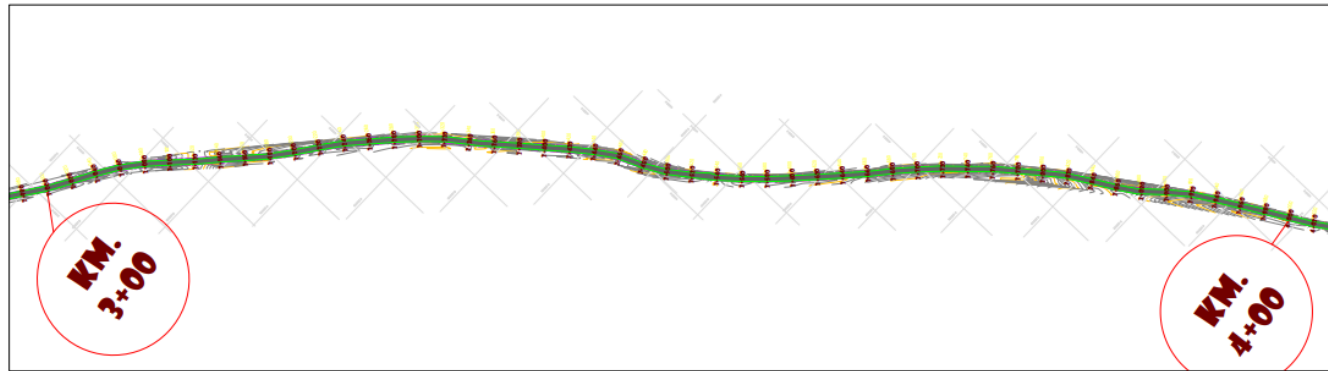
Anexo 8. Mapa y Planos.



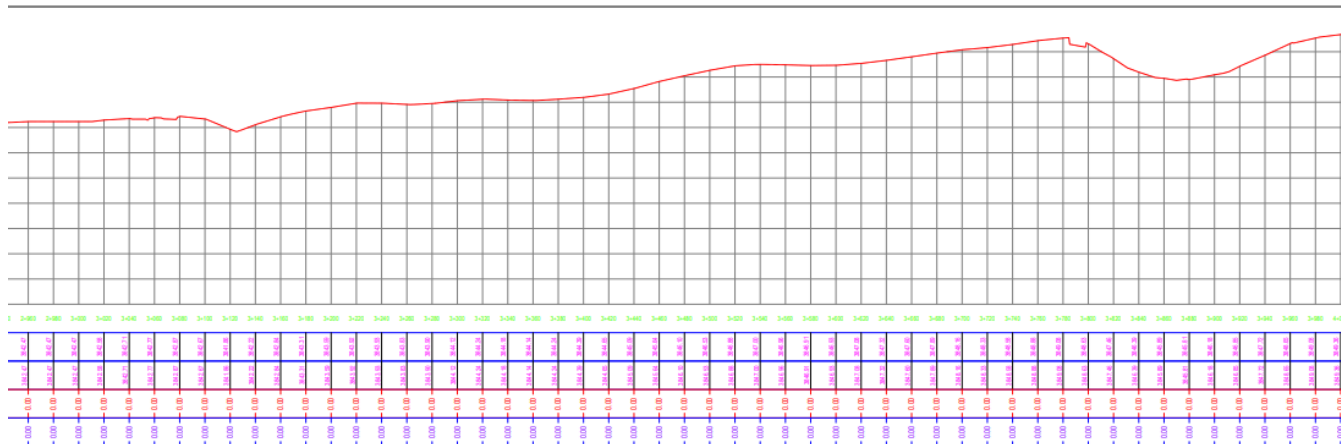


Fuente: Consorcio Chapapampa – Jonsani

PLANO DE PLANTA Y PERFIL PROGRESIVA 3+000 - 4+000

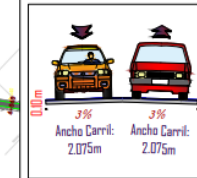


PLANO DE PERFIL PROGRESIVA 3+000 - 4+000



PLANO DE PLANTA Y PERFIL DEL TRAMO CHAPAPAMPA - JONSANI

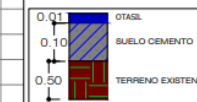
SECCION TÍPICA



LEYENDA

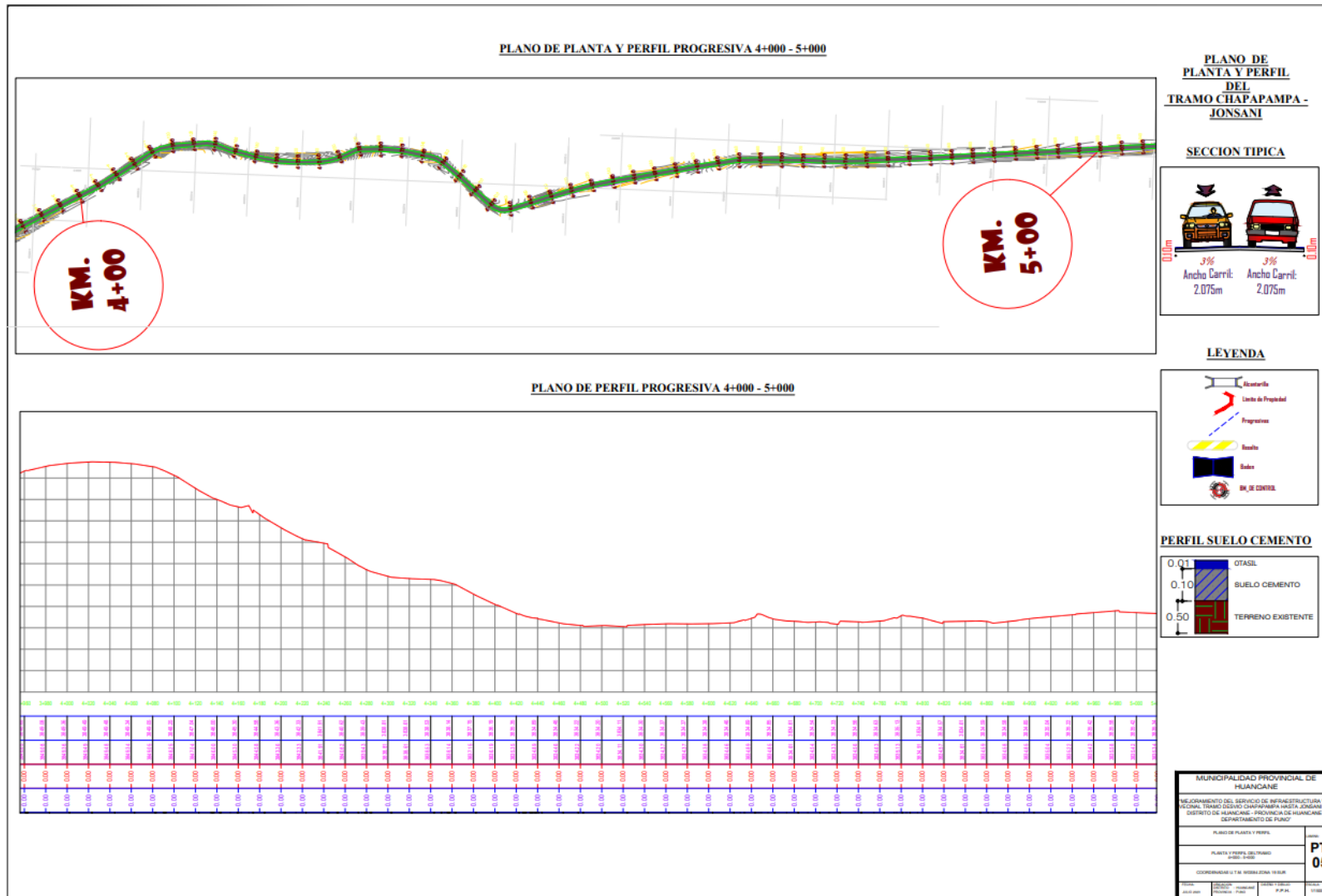


PERFIL SUELO CEMENTO



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE HUANCANE			
REGISTRAMENTO DEL SERVICIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL LOCAL TRAMO DE CHAPAPAMPA HASTA JONSANI DEL DISTRITO DE HUANCANE - PROVINCIA DE HUANCANE - DEPARTAMENTO DE PUNO			
PLANO DE PLANTA Y PERFIL			PT 04
PLANTA Y PERFIL DEL TRAMO: 3+000 - 4+000			
COORDINADA U.T.M. ZONA 18 SUR			
PROYECTO	PROYECTANTE	PROYECTO	PROYECTO
CHAPAPAMPA	CONSORCIO CHAPAPAMPA - JONSANI	PROYECTO	PROYECTO

Fuente: Consorcio Chapapampa – Jonsani



Fuente: Consorcio Chapapampa – Jonsani

Anexo 9. Panel fotográfico.

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	
TESIS :	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA :	Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO :	Rugosímetro MERLIN
UBICACIÓN :	Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno
	
Fotografía N° 01	Fotografía N° 02
Se realizó una cuidadosa planificación para asegurar una correcta obtención de datos del rugosímetro MERLIN	Se llevó a cabo una señalización y regulación de las vías con el propósito de evitar posibles interferencias durante la toma de datos
	
Fotografía N° 03	Fotografía N° 04
Previo al inicio de las mediciones, se realizó la calibración del equipo. Se posicionó el rugosímetro en una posición horizontal y se ajustó hasta que marque 25 como parte del proceso de calibración	Se verificó la precisión del dispositivo mediante una pastilla de calibración.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS	: Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA	: Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO	: Rugosímetro MERLIN
UBICACIÓN	: Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



Fotografía N° 05



Fotografía N° 06

se requirió la colaboración de un equipo de tres personas. Un operador, otro se encargó de registrar las mediciones, el ultimo restante brindó asistencia para garantizar la seguridad y de las fotografías

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 07



Fotografía N° 08

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS	: Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA	: Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO	: Rugosímetro MERLIN
UBICACIÓN	: Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



Fotografía N° 09

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 10

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 11

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 12

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS	: Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA	: Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO	: Rugosímetro MERLIN
UBICACIÓN	: Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



Fotografía N° 13

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 14

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 15

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



Fotografía N° 16

Durante la prueba, se registraron meticulosamente las mediciones obtenidas. Se siguió un procedimiento establecido que implicó mover el instrumento para que la rueda de medición realice una rotación completa.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS	: Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA	: Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO	: Rugosímetro ARRB-R3
UBICACIÓN	: Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancané, Departamento de Puno



Fotografía N° 17

Se procedió la instalación del rugosímetro ARRB-R3 a la camioneta.



Fotografía N° 18

Se colocó el controlador en el automóvil y se ajustaron todas las funciones requeridas para llevar a cabo la medición



Fotografía N° 19

El sensor de rugosidad se montó en el amortiguador del vehículo. Se aseguró su orientación vertical utilizando un nivel de burbuja y se fijó con tornillos para evitar movimientos.



Fotografía N° 20

Se llevó a cabo la fijación del sensor de distancia en la llanta del vehículo mediante una placa adaptada para este propósito. La ubicación fue en la rueda trasera del lado del conductor.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS :	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA :	Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO :	Rugosímetro ARRB-R3
UBICACIÓN :	Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



Fotografía N° 21

El DMI contó con una varilla de soporte que se conectó al cuerpo del vehículo a través de un cojinete.



Fotografía N° 22

Se conectó el receptor GPS al módulo de interfaz del Rugosímetro ARRB.



Fotografía N° 23

Recolección de datos con el Rugosímetro ARRB-R3 a velocidades de 40 km/h.



Fotografía N° 24

Recolección de datos con el Rugosímetro ARRB-R3 a velocidades de 40 km/h.



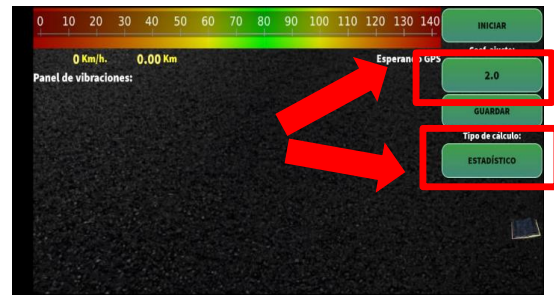
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS :	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA :	Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO :	Aplicativo Abakal para Smartphone
UBICACIÓN :	Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



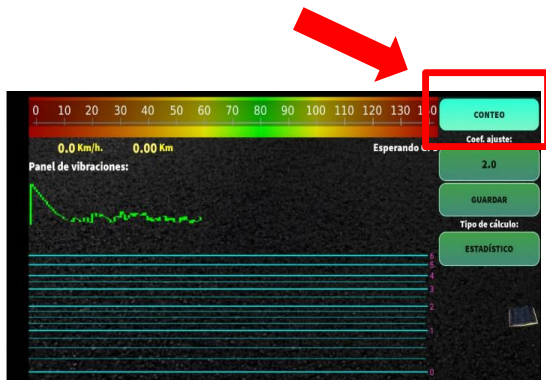
Fotografía N° 25

El smartphone (Samsung A54) se sujetó adecuadamente en la ventana delantera del vehículo para obtener datos de vibración y aceleración.



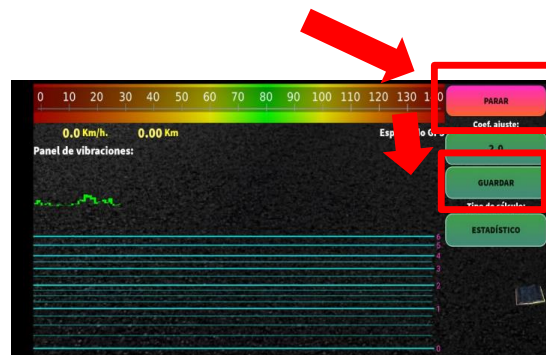
Fotografía N° 26

Se abrió la aplicación Abakal desde el smartphone, luego se accedió a la configuración y se ajustaron las preferencias de dispositivo. Coef. Ajuste en 2.0, Tipo de cálculo: Estadístico



Fotografía N° 27

Se seleccionó la opción "INICIAR", el cual cambio a "CONTEO", el cual se seleccionó nuevamente para comenzar la toma de datos a una velocidad promedio de 80 km/h.



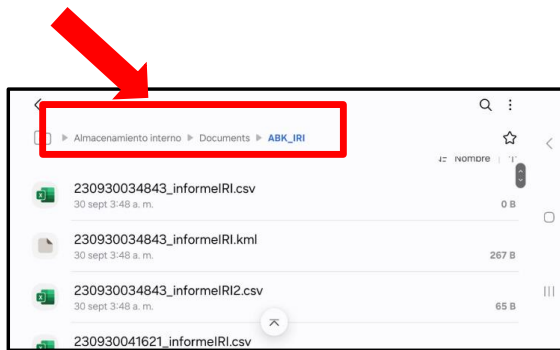
Fotografía N° 28

Se detuvo la toma de datos presionando "PARAR" en la aplicación. Luego se presionó la opción "GUARDAR".



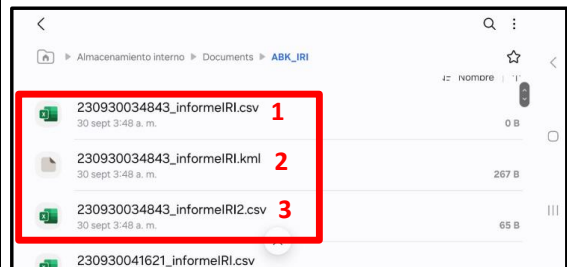
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS :	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA :	Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO :	Aplicativo Abakal para Smartphone
UBICACIÓN :	Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



Fotografía N° 29

Los datos recopilados se cargaron en el mismo dispositivo para su posterior análisis. Los datos se descargaron desde en directorio "/almacenamiento Interno/Documets/ABK_IRI"



Fotografía N° 30

Se obtuvieron 3 archivos, de los cuales dos archivos estuvieron en formato csv y uno en formato kml. El primer archivo abría una hoja de cálculo, el segundo una tabla de control y el tercero se abría en Google Earth.



Fotografía N° 31

En el formato kml, el cual se puede abrir en Google Earth, se obtuvo los resultados IRI en IDA



Fotografía N° 32

En el formato kml, el cual se puede abrir en Google Earth, se obtuvo los resultados IRI, en VUELTA



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

TESIS :	Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023
TESISTA :	Jean Carlos Zavaleta Larico
INSTRUMENTO :	Aplicativo Abakal para Smartphone
UBICACIÓN :	Tramo: Chapapampa - Jonsani, Distrito de Huancané, Provincia de Huancamé, Departamento de Puno



Fotografía N° 33



Fotografía N° 34

Inicio de tramo de la Carretera Chapapampa - Jonsani

Para la evaluación de la carretera Chapapampa-Jonsani se utilizó un vehículo, modelo KIA



Fotografía N° 35



Fotografía N° 36

Evaluación, del calculo del IRI con el aplicatico Abakal de la carretera Chapapampa- Jonsani

Evaluación, del calculo del IRI con el aplicatico Abakal de la carretera Chapapampa- Jonsani

Anexo 10. Solicitud de autorización para realizar una investigación.

Huancané, 01 de setiembre del 2023

CARTA N° 01-2023/UCV/ES-JCZL

Asunto: Solicitud de Autorización para Realizar una Investigación

Estimado/a Ing. René Zavaleta Condori
Supervisor de Obra
Consultoría Marco Antonio Calsin Cutimbo

Reciba un cordial saludo. Me dirijo a usted en calidad de estudiante del Programa de Titulación de la UCV, donde actualmente desarrollo mi proyecto de investigación como parte de los requisitos necesarios para obtener mi título profesional en Ingeniería Civil

El propósito de mi comunicación es solicitar su autorización para llevar a cabo una investigación titulada: **"Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023"** en su organización Consultoría Marco Antonio Calsin Cutimbo. Mi investigación tiene como objetivo **analizar y correlacionar el índice de rugosidad internacional (IRI) del tratamiento asfáltico superficial Otta Seal, mediante el rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3 y el aplicativo para Smartphone Abakal en la carretera Chapapampa - Jonsani** y se llevará a cabo de acuerdo con los más altos estándares éticos y profesionales.

En este sentido, la colaboración de su organización sería de gran valor para mi proyecto, ya que actualmente su persona, viene supervisando el servicio de "MEJORAMIENTO DE SERVICIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL VECINAL TRAMO DESVIO CHAPAPAMPA HASTA JONSANI DEL DISTRITO DE HUANCANE PROVINCIA DE HUANCANE – DEPARTAMENTO DE PUNO", donde se pretende realizar la investigación de la carretera mencionada. Estoy comprometido/a a minimizar cualquier inconveniente y a garantizar que la investigación no interfiera con las actividades regulares de su organización. Además, cualquier dato o información confidencial que pueda surgir durante la investigación será tratado con la debida confidencialidad y no será divulgado sin su consentimiento explícito.

Aprecio sinceramente su consideración de esta solicitud y estoy a su disposición para discutir cualquier aspecto de la investigación en detalle. Espero con interés la posibilidad de colaborar con su organización y de contribuir al avance del conocimiento científico en este campo.

Agradezco de antemano su atención y respuesta a esta solicitud.

Atentamente


.....
Jean Carlos Zavaleta Larico
jczavaleta@ucvvirtual.edu.pe
Cell: 939932280



Anexo 11. Constancia de ejecución del proyecto de investigación.

CONSTANCIA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La Consultoría Marco Antonio Calsin Cutimbo

Hace constar que el bachiller en Ingeniería Civil, JEAN CARLOS ZAVALETA LARICO, ha llevado a cabo exitosamente el proyecto de investigación titulado:

Aplicación del rugosímetro MERLIN, rugosímetro ARRB-R3, smartphone para determinar el IRI del tratamiento Otta Seal, Chapapampa Jonsani 2023

Este proyecto se desarrolló en la carretera Chapapampa – Jonsani, en el cual esta empresa, fue encargada de la supervisión de la obra: "MEJORAMIENTO DE SERVICIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL VECINAL TRAMO DESVIO CHAPAPAMPA HASTA JONSANI DEL DISTRITO DE HUANCANE PROVINCIA DE HUANCANE – DEPARTAMENTO DE PUNO" durante la semana del 27 de setiembre del 2023 hasta 02 de octubre del 2023.

La empresa Consultoría Marco Antonio Calsin Cutimbo, reconoce el esfuerzo y dedicación del estudiante en la ejecución de esta investigación, la cual contribuye al avance del conocimiento en el campo de la Ingeniería Civil.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado (a) para los fines que estime conveniente.

Huancané, 06 de octubre del 2023




Ing. René Zavaleta Condori
SUPERVISOR

René Zavaleta Condori
Consultoria Marco Antonio Calsin Cutimbo
990902498
ryj_ingenieros@hotmail.com