

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La medición de la rugosidad de las carreteras es un aspecto crucial para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios. El índice de rugosidad es una medida importante para evaluar la calidad de la superficie de la vía y su capacidad para proporcionar un desplazamiento seguro, cómodo para los vehículos y sus ocupantes.

La medición del índice de rugosidad se ha realizado tradicionalmente utilizando métodos manuales que dependen de la experiencia y la subjetividad del inspector de carreteras. Sin embargo, en los últimos años, se han desarrollado herramientas y tecnologías más avanzadas para medir la rugosidad de la carretera de manera precisa y objetiva.

En este trabajo de tesis, se llevará a cabo la evaluación de la rugosidad de las avenidas mediante el uso del rugosímetro de Merlín y el aplicativo Abakal IRI. El rugosímetro de Merlín es un instrumento de medición de rugosidad manual que se ha utilizado ampliamente para medir la rugosidad de la carretera en todo el mundo. El aplicativo Abakal IRI, por otro lado, es un software que utiliza la tecnología de sensores captando las vibraciones del tren de rodaje a través de acelerómetros de los teléfonos para medir la rugosidad de la carretera.

La finalidad del trabajo es evaluar la precisión, eficacia de estos dos métodos de medición de rugosidad y comparar sus resultados. Además, se pretende analizar la eficiencia y la facilidad de uso de cada método, determinar si el uso del aplicativo Abakal IRI, puede ser una alternativa viable y más precisa para la medición de la rugosidad en la avenida en comparación con el uso del rugosímetro de Merlín.

Esta investigación tiene como propósito contribuir al conocimiento y la comprensión de la medición de la rugosidad, evaluar la eficacia y la eficiencia de estos diferentes métodos de medición.

1.1 ANTECEDENTES

Mohammed Junaid Uddin (2015), de la Universidad de Osmania de la India, en su tesis de maestría: “Pavement performance measures using Android based Smartphone application” (“Medidas de rendimiento del pavimento utilizando la aplicación para teléfonos inteligentes basada en Android”), el objetivo fue medir la rugosidad del pavimento en la ciudad de Hyderabad, una ciudad de la India, utilizando la tecnología del teléfono inteligente basado en un Android, donde indica que la rugosidad es un importante indicador de la condición del pavimento, los cuales deben ser considerados cuidadosamente al evaluar pavimentos nuevos; puesto que al realizar ensayos con velocidades por debajo de los 20 km/h los datos que proporciona el teléfono inteligente basado en un Android ya no son confiables. Llegando a la conclusión de que la longitud para hallar el IRI promedio debe ser cada 100 m, además, concluyó que manejar el vehículo a una velocidad constante de 50 km/h es adecuada para la obtención del IRI.

Tenemos a **Rashed (2016)**, en su tesis para su maestría en ciencias Evaluation of pavement network performance in Texas Considering Multiple performance Metric; con el objetivo: Investigar la relación entre IRI, CS y DS para desarrollar valores equivalentes para pavimentos basados en estas métricas, aplicando una metodología de investigación de tipo aplicativo, en cuanto a su nivel descriptivo y, según su diseño no experimental, llegando a las conclusiones de este estudio se discuten a continuación: Rendimiento del pavimento en áreas rurales y urbanas; el análisis de los datos del IRI durante los últimos nueve años arrojó que las carreteras urbanas tienen un IRI significativa y consistentemente más alto que las carreteras rurales durante los últimos nueve años. Sin embargo, los datos de DS y CS no proporcionan una evidencia sólida para apoyar la idea de que los pavimentos rurales y urbanos se comportan de manera diferente en función de las angustias únicamente (DS) o de angustia y aspereza combinadas (es decir, CS).

Luego se tiene a **Condori (2016)** en su tesis para título de ingeniero Civil: Análisis de la variabilidad del IRI obtenido por levantamiento topográfico y rugosímetro Merlín en carreteras no pavimentadas de la provincia de Canchis-Cusco, con el objetivo: Establecer la variabilidad de los valores del IRI en vías no pavimentadas, conseguidas con el Rugosímetro Merlín; aplicando la metodología de tipo aplicada, diseño no experimental,

siendo los resultados indicando que las vías de la zona de estudio tienen una Rugosidad promedio de 8.29 m/km, que es mayor a la establecido según la EG-2013; siendo esto por la causa de lluvias que dañan a la vía aumentando su IRI, teniendo como conclusiones que el rugosímetro de MERLÍN da datos similares frente al uso de nivel y mira, también manifiesta que realizar trabajos de medición del IRI con nivel y mira es más tedioso, por ende más gasto en la ejecución de esta.

Tenemos a **Chang (2017)**, en su ponencia de investigación: Niveles de servicio basados en el índice de rugosidad internacional (IRI), Presentado en el congreso Ibero – Latinoamericano, Medellín Colombia 2017, con el objetivo: Entre los diferentes factores que influyen en el IRI, uno de los elementos de la vía que es el trazo vial ha sido el menos estudiado a pesar de su influencia en los resultados de las mediciones. Esta investigación da a conocer una parte de los principales parámetros que tienen una fuerte influencia en los resultados del IRI con énfasis en las condiciones del trazo geométrico en perfil y planta de la vía”; además, considera que las ondas que tienen mayor incidencia en los datos obtenidos del IRI están dentro del parámetro de 1.20 a 30 m y pueden corresponder a depresiones, fallas, ahuellamientos, hundimientos, ondulaciones, curvas verticales u otros; el IRI es un valor de diferentes factores que pueda tener la forma o característica propia del Perfil Longitudinal; por lo que recomienda se debe incluir como singularidades, “donde los sectores en que la influencia de las características geométricas del trazo vial en el IRI es relevante, por ende, requieren de un análisis más detallado. Tomando como guía en las normas internacionales, las singularidades son excluidas del completo análisis estadístico para que este indique o determine si los niveles de servicio son satisfactorios.

Se tiene a **Hernández (2018)** en su tesis para obtener de grado de Ingeniero Civil: *Determinar el índice de rugosidad IRI y desarrollar un manual para equipo Merlín*, con el objetivo de convertir un manual del uso del rugosímetro de MERLÍN, así enseñar la importancia y cálculo del IRI de los pavimentos, la metodología utilizada de tipo aplicada, no experimental, teniendo como resultados donde se obtiene que el estado de la superficie del pavimento, es necesario efectuar un mantenimiento de la vía, llegando a la conclusión que en vías de poca importancia el IRI puede ser hallado con equipos de poco rendimiento

como Topografía, Merlín, mientras en las vías importantes y longitud se pueden emplear equipos de buen avance como es el perfilómetro inercial.

Camacho (2019). En la tesis para título de Ingeniero Civil: Evaluación y Análisis de rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método Roadroid y el rugosímetro de Merlín, con el objetivo: Analizar y comparar el IRI, con un método moderno, usando el aplicativo de teléfonos móviles Roadroid y MERLÍN; la metodología utilizada de investigación de tipo aplicada, diseño no experimental, llegando a las conclusiones: carril de derecho: IRI promedio de 7.48 y con la aplicación del Roadroid IRI teniendo resultados de IRI promedio de 5.98 de la Av. Floral para ello se recomienda el uso de esta renovadora aplicación para Smartphone, esta investigación se hizo uso del Galaxy S7. Finalmente se determinó que el Roadroid proporciona datos similares al Rugosímetro de MERLÍN y se puede confirmar que la ventaja es mejor con el aplicativo del Roadroid.

Chambilla Velásquez y Ramos Deza (2021). Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de Merlín y el aplicativo iri-calc-free en la avenida Simón Bolívar, Puno. Con el Objetivo: Evaluar el pavimento flexible mediante método de Rugosímetro de Merlín y el aplicativo IRI-Calc-Free en la avenida Simón Bolívar, Puno 2021. Los objetivos específicos de esta investigación es calcular el índice internacional de rugosidad (IRI) con el Rugosímetro de MERLÍN y el aplicativo IRI-Calc-Free; comparar y determinar la eficiencia del uso del aplicativo IRI-Calc-Free para la medición del IRI del pavimento flexible en la avenida Simón Bolívar; Calcular el nivel de serviciabilidad presente en el pavimento flexible (PSI) de la avenida Simón Bolívar. Concluyendo, la comparación de similitudes entre valores de IRI de ambas metodologías, se puede apreciar que la similitud obtenida fue de 83.04 % para el primer carril y 83.37 % para el segundo carril, resultando una similitud promedio de 83.16 % de los valores del aplicativo IRI-Calc-Free con respecto a los obtenidos con el rugosímetro de Merlín para la avenida Simón Bolívar de Puno.

Elvis Cayo (2018). En la tesis para título de ingeniero civil: Aplicación de teléfonos inteligentes en el método Roadroid para la determinación del índice de rugosidad internacional IRI. Con el Objetivo de aplicar teléfonos inteligentes en el método Roadroid

para determinar y comparar los resultados de la Irregularidad superficial del pavimento flexible La Pintada-Cruze Calamuchita de tal manera que se pueda verificar la confiabilidad que tiene el método Roadroid.

Tabla 1.1 Síntesis de los antecedentes

Título de la investigación	Autores (año)	Aportes de la investigación
Medidas de rendimiento del pavimento utilizando la aplicación para teléfonos inteligentes basada en Android	Mohammed Junaid Uddin (2015), de la Universidad de Osmania de la India	La longitud para hallar el IRI promedio debe ser cada 100 m. además, indica que manejar el vehículo a una velocidad constante de 50 km/h es adecuada para la obtención del IRI.
Evaluation of pavement network performance in Texas Considering Multiple performance Metric	Rashed (2016)	El análisis de los datos del IRI durante los últimos nueve años arrojó que las carreteras urbanas tienen un IRI significativa y consistentemente más alto que las carreteras rurales durante los últimos nueve años. Sin embargo, los datos de DS y CS no proporcionan una evidencia sólida para apoyar la idea de que los pavimentos rurales y urbanos se comportan de manera diferente en función de las angustias únicamente (DS) o de angustia y aspereza combinadas (CS).
Análisis de la variabilidad del IRI obtenido por levantamiento topográfico y rugosímetro Merlín en	Condori (2016)	Teniendo como conclusiones que el rugosímetro de Merlín da datos similares frente al uso de nivel y mira, también manifestar que realizar trabajos

carreteras no pavimentadas de la provincia de Canchis-Cusco		de medición del IRI con nivel y mira es más tedioso, por ende, más gasto en la ejecución de esta.
Niveles de servicio basados en el índice de rugosidad internacional (IRI)	Chang (2017)	Esta investigación da a conocer una parte de los principales parámetros que tienen una fuerte influencia en los resultados del IRI con énfasis en las condiciones del trazo geométrico en perfil y planta de la vía
Determinar el índice de rugosidad IRI y desarrollar un manual para equipo Merlín	Hernández (2018)	Llegando a la conclusión que en vías de poca importancia el IRI puede ser hallado con equipos de poco rendimiento como Topografía, Merlín, mientras en las vías importantes y longitud se pueden emplear equipos de buen avance como es el perfilómetro inercial.
Evaluación y Análisis de rugosidad en pavimentos de la ciudad de puno aplicando el método Roadroid y el rugosímetro de Merlín	Camacho (2019)	Se recomienda el uso de esta renovadora aplicación para Smartphone, esta investigación se hizo uso del Galaxy S7. Finalmente se expresó que el Roadroid proporciona datos similares al Rugosímetro de MERLÍN y se puede confirmar que la ventaja es mucho mejor con el aplicativo del Roadroid.
Evaluación de pavimento flexible mediante método del rugosímetro de Merlín y el	Chambilla Velásquez y Ramos Deza (2021)	Concluyendo, la comparación de similitudes entre valores de IRI de ambas metodologías, se puede apreciar que la similitud obtenida fue de 83.04 %

<p>aplicativo iri-calc-free en la avenida simón bolívar</p>		<p>para el primer carril y 83.37 % para el segundo carril, resultando una similitud promedio de 83.16 % de los valores del aplicativo IRI-Calc-Free con respecto a los obtenidos con el rugosímetro de Merlín para la avenida Simón Bolívar de Puno.</p>
<p>Aplicación de teléfonos inteligentes en el método Roadroid para la determinación del índice de rugosidad internacional IRI</p>	<p>Elvis Cayo (2018)</p>	<p>Investiga el porcentaje de similitud que existen entre, los resultados de la medición de la regularidad, del pavimento carretera La Pintada cruce Calamuchita, usando roadroid, respecto a la estación total, la serviacibilidad y la determinación de la rugosidad.</p>

Fuente: Elaboración propia.

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

En Bolivia el crecimiento automotor es de 5,2 %, hasta el 31 de diciembre del 2017 se tenía el registro de 1.800.354 vehículos. De ese total, Tarija concentra el 5,7 %, el cuarto departamento con más parque automotor, después de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, que juntos concentran el 78,9 % de todo el país.

Tarija es el departamento que más crecimiento porcentual del parque automotor tuvo en un año, así lo muestran los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE). Sin embargo, en términos netos, pasa a ser el cuarto en cantidad de vehículos que se tiene en todo el país.

En el año 2016 el parque automotor en el departamento era de 95.711, pero para el siguiente año aumentó a 102.203 vehículos. Un crecimiento de 6.8 %.

Respecto al año 2021, se registraron 125.024 vehículos. Entre estos particulares, públicos y oficiales, datos estadísticos brindado por la INE.

La calidad y seguridad de la infraestructura vial de una ciudad es uno de los indicadores más claros de su nivel de desarrollo, depende sobre todo de contar con una infraestructura vial sólida y segura que pueda satisfacer las demandas del tráfico de vehículos en movimiento tanto ahora como en el futuro.

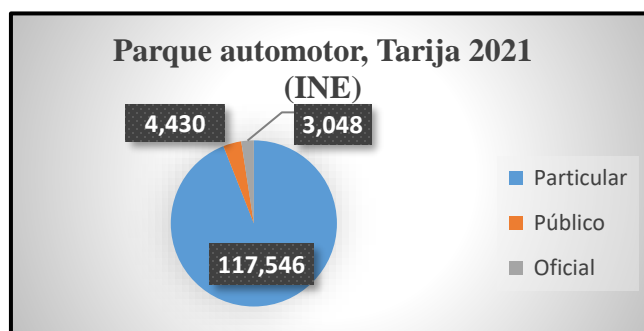
Actualmente, con el aumento de la población, hay más coches presentes en el transporte, lo que se traduce en más atascos que dañan la superficie asfáltica, también reducen la calidad, esto acorta su vida útil y hace que se manifiesten patologías.

Tabla 1.2 Parque automotor según tipo de servicio

Departamento/Tipo de Servicio	2021
Tarija	125.024
Particular	117.546
Público	4.430
Oficial	3.048

Fuente: (INE) parque-automotor

Figura 1.1 Parque automotor, Tarija



Fuente: (INE) parque-automotor

A causa del aumento en el parque automotor, la Avenida Los Molles presenta actualmente defectos, y si no se lleva a cabo un mantenimiento regular, la degeneración del pavimento puede alcanzar niveles significativos.

Debido a esto es importante conocer el grado de rugosidad del pavimento flexible. Por ello, se considera fundamental profundizar en el conocimiento a través de la investigación del uso de una metodología actual y asequible para teléfonos inteligentes denominada ABAKAL IRI y una metodología convencional que utiliza el medidor de rugosidad MERLÍN.

Métodos para la obtención de los valores de IRI, que se utilizarán para clasificar el estado actual de la Avenida Los Molles y la Avenida San Luis y evaluar su transitabilidad.

Se observa que la carpeta asfáltica de la Avenida Los Molles, presenta daños considerables en ciertos tramos, por lo que determinar y calcular el índice de rugosidad será uno de los propósitos de la presente investigación.

Figura 1.2 Zona de investigación, desgaste en la Avenida Los Molles



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.3 Zona de investigación, presencia de fallas en la Avenida Los Molles



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.4 Zona de investigación, presencia de piel de cocodrilo en la capa de rodadura Los Molles



Fuente: Elaboración propia.

1.2.1 Problema general

- De qué manera el aplicativo para dispositivos inteligentes Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín permitirá la determinación del Índice de Rugosidad Internacional, en la avenida Los Molles y la avenida San Luis de la ciudad de Tarija.

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la condición actual del pavimento en las avenidas Los Molles y San Luis en la ciudad de Tarija?
- ¿Cómo intervienen diferentes factores, como la velocidad de medición y la presión de llantas, en la exactitud de las mediciones del índice de rugosidad obtenidas mediante el uso de Abakal IRI?
- ¿Cuál es el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo Abakal y el rugosímetro de Merlín?
- ¿Cuáles son las limitaciones en el uso de Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín para la medición del IRI?

- ¿Cuáles son los costos de implementar Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín en la medición del IRI?

1.2.3 Relevancia y factibilidad del problema

La relevancia del problema es la mejora y optimización de las técnicas utilizadas para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), un indicador crucial para evaluar la calidad y seguridad de las superficies viales. Dado el desarrollo tecnológico constante en la ingeniería civil, es esencial evaluar con nuevas herramientas como Abakal IRI en comparación con el rugosímetro de Merlín y el método tradicional. Esto permite determinar su capacidad para brindar detección más precisa y eficiente, lo que puede tener un impacto significativo en la planificación, mantenimiento de las carreteras y vías urbanas.

En términos de factibilidad, la aplicación de estas herramientas es viable debido a la disponibilidad de dispositivos móviles, los cuales pueden contar con tecnología de sistemas de medición automatizados aplicables a la ingeniería civil.

Además, el equipamiento de medición es de uso cotidiano, lo que facilita la implementación de este método.

1.2.4 Delimitación temporal y espacial del problema

La ubicación de estudio comprende dos tramos diferentes:

TRAMO 1 AV. LOS MOLLES

La Av. Los molles que se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija , entre los barrios alto Senac y barrio Tajibos.

Figura 1.5 Tramo de estudio, Avenida Los Molles



Fuente: Elaboración propia.

El tramo 1, inicia en la progresiva 0+000 y termina en la progresiva 2+800, haciendo un total de 2.8 km, zona en donde vamos a realizar el análisis de IRI. Sus coordenadas geográficas son:

Tabla 1.3 Coordenadas UTM Av. Los Molles Inicio

Zona	20 K
Este:	316675.87 m
Norte:	7616619.03 m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.4 Coordenadas UTM Av. Los Molles Final

Zona	20 K
Este:	319183.00 m
Norte:	7617648.00 m

Fuente: Elaboración propia.

TRAMO 2 AV. SAN LUIS

La Av. San Luis que se encuentra ubicado, entre los barrios San geronimo y barrio San luis.

Figura 1.6 Tramo de estudio, Avenida San Luis



Fuente: Elaboración propia.

El Tramo 2, inicia en la progresiva 0+000 y termina en la progresiva 2+400, haciendo un total de 2.4 km, en donde vamos a realizar el análisis de IRI. sus coordenadas geográficas son:

Tabla 1.5 Coordenadas UTM Av. San Luis Inicio

Zona	20 K
Este:	323034.00 m
Norte:	7615354.00 m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.6 Coordenadas UTM Av. San Luis Final

Zona	20 K
Este:	324522.10 m
Norte:	7613461.79 m

Fuente: Elaboración propia.

Los datos se van a mantener estáticos hasta que las condiciones de la vía cambien por el paso del tiempo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La rugosidad de los pavimentos desempeña un papel crucial en la calidad y seguridad de las carreteras, así como en la comodidad y eficiencia de la conducción. Por lo tanto, contar con herramientas precisas y confiables para medir y evaluar la rugosidad se vuelve esencial para garantizar la durabilidad y el buen rendimiento de las vías de transporte.

El aplicativo Abakal, es un nuevo método, que mide el nivel de rugosidad, esta herramienta tecnológica ha sido utilizada en la industria, pero es necesario comprender el desempeño real y la determinación, de proporcionar mediciones confiables y consistentes. Al evaluar la precisión, se podrá realizar una rehabilitación y mantenimiento de los pavimentos, en base a su uso confiable para optimizar y mejorar la calidad de las avenidas a través del mantenimiento.

El análisis del efecto de diferentes factores, como la velocidad de medición, la presión en las llantas, rompe muelles, obstáculos presentes, pueden influir directamente en la medición de este, lo que podría generar variaciones en la interpretación de la rugosidad de los pavimentos. Comprender cómo estos factores afectarán, se podrán establecer pautas más precisas y fiables para la evaluación de la rugosidad, lo que contribuirá a mejorar la calidad de los resultados y la toma de decisiones.

Asimismo, es necesario identificar las limitaciones del uso de Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín para la medición del índice de rugosidad. Aunque estas herramientas han demostrado ser útiles, es importante comprender sus restricciones para poder utilizarlas

de manera óptima. Al identificar las limitaciones, se pueden proponer recomendaciones y mejoras para su uso futuro, lo que contribuirá al desarrollo continuo de las herramientas de medición de rugosidad y su adaptación a nuestro medio.

1.3.1 Justificación de la investigación

La necesidad de contar con herramientas tecnológicas eficientes y precisas para evaluar la calidad de las carreteras y pavimentos. Conlleva a determinar parámetros como el IRI. El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un parámetro importante para determinar la comodidad de conducción, la seguridad vial y la vida útil de las carreteras. Por lo tanto, es fundamental desarrollar y evaluar aplicaciones que permitan calcular el IRI de manera rápida y confiable.

1.3.2 Justificación Ambiental

La investigación de este aplicativo contribuye a la mejora del mantenimiento, lo que a su vez tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Al proporcionar una herramienta precisa para medir la rugosidad, se pueden identificar tramos que requieren mantenimiento o rehabilitación, lo que ayuda a prevenir daños adicionales como también reducir la generación de residuos, emisiones asociadas con la construcción y reconstrucción necesarias de las avenidas.

1.3.3 Justificación Social

Esta investigación radica en la importancia de mantener la calidad y seguridad de las avenidas, ya que la rugosidad puede influir significativamente en la comodidad y seguridad del conductor como de los pasajeros. La falta de una medición precisa de la rugosidad puede conducir a carreteras y avenidas mal construidas, lo que aumenta los riesgos de accidentes de tráfico. Por lo tanto, es importante tener una herramienta confiable para medir la rugosidad, lo que garantizará que las avenidas se mantengan en las condiciones óptimas y seguras para los usuarios.

1.3.4 Justificación Teórica

La investigación del aplicativo Abakal para medir la rugosidad se basa en la necesidad de utilizar avances tecnológicos para mejorar los métodos tradicionales de evaluación de la rugosidad. Al incorporar sensores de vibración y GPS en dispositivos móviles, se busca obtener valores precisos y prácticos del IRI. Esta investigación contribuye al avance del conocimiento y la aplicación de tecnologías innovadoras en el campo de la ingeniería civil y la evaluación de infraestructuras viales.

1.3.5 Justificación Económica

El mantenimiento de las avenidas es crucial para minimizar los costos asociados con reparaciones y reconstrucciones mayores. Al contar con una herramienta precisa y accesible para calcular el IRI, las autoridades viales, los ingenieros y los contratistas pueden tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento, optimizando así los recursos financieros disponibles.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

- Determinar el índice de rugosidad internacional IRI, a través de la comparación del aplicativo inteligente Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín en la avenida los Molles y la avenida San Luis, en la ciudad de Tarija, para evaluar la precisión y eficacia de esta herramienta.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar la condición actual del pavimento en las avenidas los Molles y San Luis de la ciudad de Tarija.
- Analizar el efecto de la velocidad en la medición y la presión de llantas, en la exactitud de las mediciones.

- Calcular el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo Abakal y el rugosímetro de Merlín.
- Identificar las limitaciones del uso de Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín.
- Realizar un análisis económico en el uso de ambas Metodologías.

1.5 HIPÓTESIS

Si, al determinar el índice de rugosidad internacional usando el aplicativo inteligente, se podrá evaluar la precisión y eficacia del dispositivo y establecer los beneficios en comparación con el uso del rugosímetro de Merlín.

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.6.1 Variables independientes

Aplicación de Smartphone inteligentes Abakal IRI y el rugosímetro de Merlín.

- **Definición conceptual**

La aplicación de Abakal IRI y Merlín son métodos que determinan el IRI, índice de rugosidad internacional, cuyos resultados nos permiten determinar la condición de la vía.

Indicadores:

- ✓ Valor del IRI (m/km)
- ✓ Factor de Corrección (m)
- ✓ Rango D (mm)
- ✓ Velocidad (km/h)
- ✓ Desplazamiento (m)
- ✓ Aplicativo para teléfonos inteligentes Abakal.
- ✓ Equipo de Merlín

1.6.2 Variables dependientes

Índice de Rugosidad Internacional (IRI): Es la variable principal que se busca medir y determinar utilizando tanto Abakal como el rugosímetro de Merlín.

- **Definición conceptual**

El IRI representa la medida cuantitativa de la rugosidad de la superficie de una carretera y es utilizado como indicador de la calidad de la misma.

Indicadores:

- ✓ Rugosidad de los pavimentos
- ✓ Índice internacional de rugosidad
- ✓ Escala y características del IRI
- ✓ Cálculo del índice de rugosidad

CAPÍTULO II
FUNDAMENTOS DE LA
INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA
Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN
DE RUGOSIDAD

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

2.1 PAVIMENTOS

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

También se define como una estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

- ✓ Con seguridad.
- ✓ Con comodidad
- ✓ Con el costo óptimo de operación
- ✓ Superficie uniforme.
- ✓ Superficie impermeable.
- ✓ Color y textura adecuados.
- ✓ Resistencia a la repetición de cargas.
- ✓ Resistencia a la acción del medio ambiente.
- ✓ Que no transmita a las capas inferiores esfuerzos mayores a su resistencia.

Las capas de las que están constituidas los pavimentos son:

Sub-base. Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

Base. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Sobre ella va la carpeta de rodadura porque la capacidad de carga del material friccionante

es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales.

Subrasante. La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin disminuir la calidad.

Terraplén. Deberá resistir las cargas de las capas superiores y distribuir las adecuadamente en el terreno natural.

Carpeta asfáltica. La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

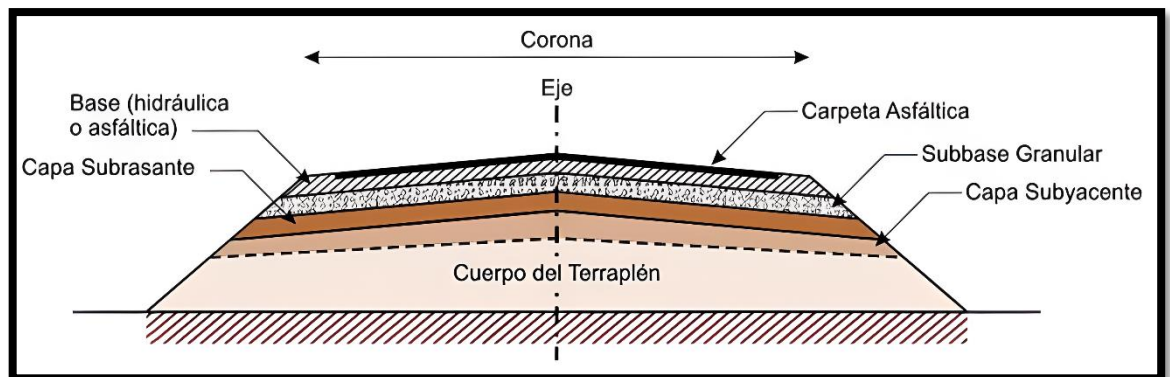
- a) Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.
- b) Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste los ángulos, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- c) La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible.

2.1.1 Pavimentos flexibles o asfálticos

En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

La capa de rodadura de un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos.

Figura 2.1 Estructuración del Pavimento Flexible



Fuente: Rodríguez Zelaya Edgar Vladimir

Tipos de pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles se dividen a su vez en:

Tipo alto, capaces de soportar la carga de tránsito esperada sin deterioro visible a desgaste sin susceptibilidades al tiempo.

Tipo intermedio, son capas de rodamiento que van desde superficies tratadas hasta calidades algo inferiores a las altas.

Tipo bajo, aplicado a caminos de bajo costo, con superficies de rodamiento desde las no tratadas hasta las tratadas.

2.2 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, índice internacional de rugosidad (International Roughness Index). Y para correlacionar el índice de serviciabilidad y el IRI, se utilizan ecuaciones. (Coronado Iturbide, 2002).

Para evaluar la serviciabilidad (PSI) del pavimento, se utiliza la ecuación de Williams Paterson en función del valor IRI, cuyo resultado determina la condición funcional o nivel de servicio actual de la capa de rodadura del pavimento, conceptos que fueron desarrollados por la AASHO, en 1957. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la calidad muy buena corresponde al máximo valor. (Pomasonco de la Cadena, 2010).

Tabla 2.1 Clasificación de la serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Fuente: Guía AASHTO

2.3 RUGOSIDAD

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E-867 define la rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje (Perera & Kohn, 2002).

¹ Pomasonco de la Cadena, R. (2010). Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera CañeteHuancayo Km. 110+000 al Km. 112+000. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería

El Banco Mundial propuso una medida de la rugosidad denominada el índice de rugosidad internacional (IRI), cuyo rango va de 0 (un pavimento ideal, sin ninguna imperfección) hasta 12 (una carretera completamente intransitable) normalmente. Este parámetro, ampliamente usado, permite medir la rugosidad superficial de los pavimentos a partir de la sumatoria, en valor absoluto, de los desplazamientos verticales a lo largo de un tramo, dividido entre la longitud del mismo.

2.3.1 Causas posibles de la rugosidad

Las irregularidades en la capa de rodamiento de los pavimentos tanto nuevos como existentes se pueden producir por falta de políticas de mantenimiento o errores cometidos durante el procedimiento constructivo de la vía; en la cual no se haya tomado las medidas de control correspondientes, provocando como consecuencia las deformaciones.

2.3.2 Posibles causas que dan origen a la rugosidad en la etapa de construcción.

- Variaciones en la superficie de la base o carpeta asfáltica existente sobre la que se construye la nueva capa de desgaste.
- No verificar la superficie asfáltica con la regla inmediatamente después de la compactación inicial para hacer las correcciones mientras que la superficie asfáltica todavía se encuentra caliente.
- Paradas y reinicios frecuentes de la pavimentadora: si no se puede evitar se debe verificar con una regla antes y después de la compactación.
- Juntas de construcción de mala calidad: se deben verificar las juntas con una regla inmediatamente después de su construcción y corregirlas de ser necesario cuando el material está aún caliente.
- Rastrillado excesivo del material colocado: la regla de la pavimentadora debe estar ajustada de manera que se haga innecesario el rastrillado. De ser empleado este último, de manera estrictamente suficiente y no exagerada.
- Rodillado irregular o dejar que el rodillo se detenga sobre el pavimento caliente.

- Mezcla no uniforme.
- Operaciones impropias de los camiones: frenos muy duros o el camión golpea a la pavimentadora.
- Temperatura no uniforme del material: las cargas frías no se compactan al mismo espesor que las calientes
- Ajustes frecuentes a los controles de la regla de la pavimentadora.

2.3.3 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos

Se han demostrado que existen muchos factores que afectan la rugosidad superficial del pavimento de estos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.
- Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.
- Propiedades de la base granular como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la sub rasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas.
- Extensión y severidad de fallas en el pavimento.

2.4 IMPORTANCIA DE LA RUGOSIDAD

La rugosidad de la superficie de rodadura para la circulación de los vehículos tiene importancia en varios aspectos que se describen a continuación:

a. Seguridad y comodidad

Una buena rugosidad superficial permite ofrecer condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios.

b. Costos de operación vehicular

Tiene incidencia en los costos de operación de los vehículos, puesto que, dependiendo de la magnitud de las irregularidades superficiales, la velocidad de circulación puede verse afectada negativamente, lo cual puede reflejarse por un mayor desgaste en llantas y componentes mecánicos de los vehículos por ende mayor consumo de combustible.

c. Efectos dinámicos

Los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las vías, pueden reflejarse no solo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación.

d. Acciones de conservación de las vías

La rugosidad inicial de los pavimentos es un indicador de la calidad de la construcción de las vías. Si el pavimento es construido con buena regularidad superficial se espera que su vida útil sea mayor a otros con grandes deformaciones; sin embargo, debe tenerse en cuenta que el progreso de las irregularidades depende de muchos otros factores como las cargas impuestas por el tráfico, el clima, la variabilidad de los materiales de construcción, el estado de la subrasante, variaciones de topografía, presencia de estructuras en la vía, entre otros aspectos. Por lo tanto, es de suma importancia conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su período de servicio o de la vida útil, para definir las acciones de conservación (mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción) necesarias en el momento pertinente.

2.5 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en metros por kilómetros. (Sayers, Michel; Karamihas, Steven, 1998)

El IRI en términos prácticos se puede definir como la acumulación del movimiento vertical en valor absoluto que sufre la suspensión del neumático de un vehículo (modelo de cuarto carro) cuando este recorre la superficie de rodadura a una velocidad referencial de 80 km/h. (Caro, F. & Peña, G. 2012).

2.6 CÁLCULO DEL IRI

Para el cálculo del IRI emplearon ecuaciones que se basaron simplemente en las deflexiones y que no dependieran de parámetros como el tiempo de muestreo. Se buscó un modelo que representase las vibraciones que podría tener un pasajero en un vehículo cualquiera, por lo que se eligió un modelo de cuarto de carro, debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo.

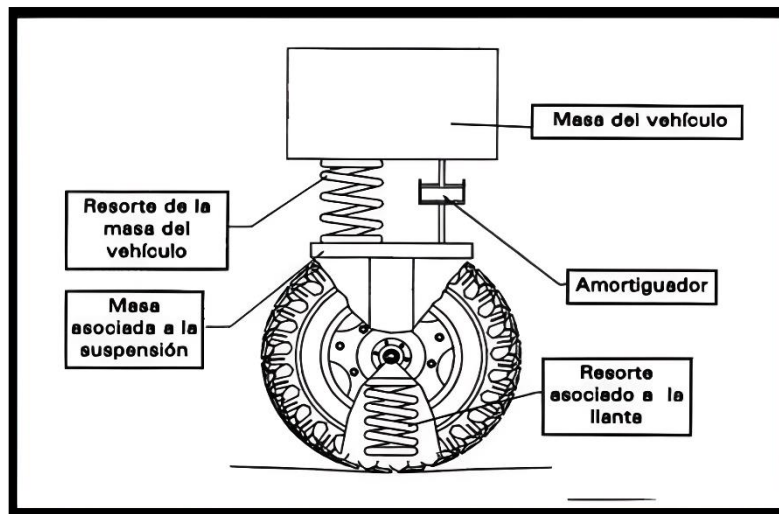
La norma ASTM E867-06 define “rugosidad” como “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica”. Reflejando el IRI un índice de un perfil longitudinal en una vía, se definió un modelo que representa el paso de una llanta de un vehículo a lo largo de ese perfil, este modelo es el Modelo de Cuarto de Carro.

El modelo de cuarto de carro (quarter car) se basa en una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador y la masa del vehículo soportada por la suspensión de la rueda (Figura 2.2).

Por medio de los neumáticos se transmite los efectos de la capa de rodadura (input) a la suspensión. Los amortiguadores están colocados sobre el mismo eje donde se colocan los neumáticos. Todo el peso (masa) adicional del vehículo está apoyado sobre el sistema de suspensión formado por amortiguadores y resortes. Lo que nosotros sentimos (output) son las vibraciones transmitidas por el asiento y el timón. Estos efectos se transmitirán en una

aceleración vertical, por medio de la velocidad del vehículo y la longitud de onda de las irregularidades en una frecuencia. Las deflexiones a lo largo del camino son acumuladas y divididas entre la distancia horizontal para calcular la rugosidad en IRI como dice su propia definición (Sayers y Karamihas, 1998).

Figura 2.2 Modelo de cuarto de carro (quarter car)

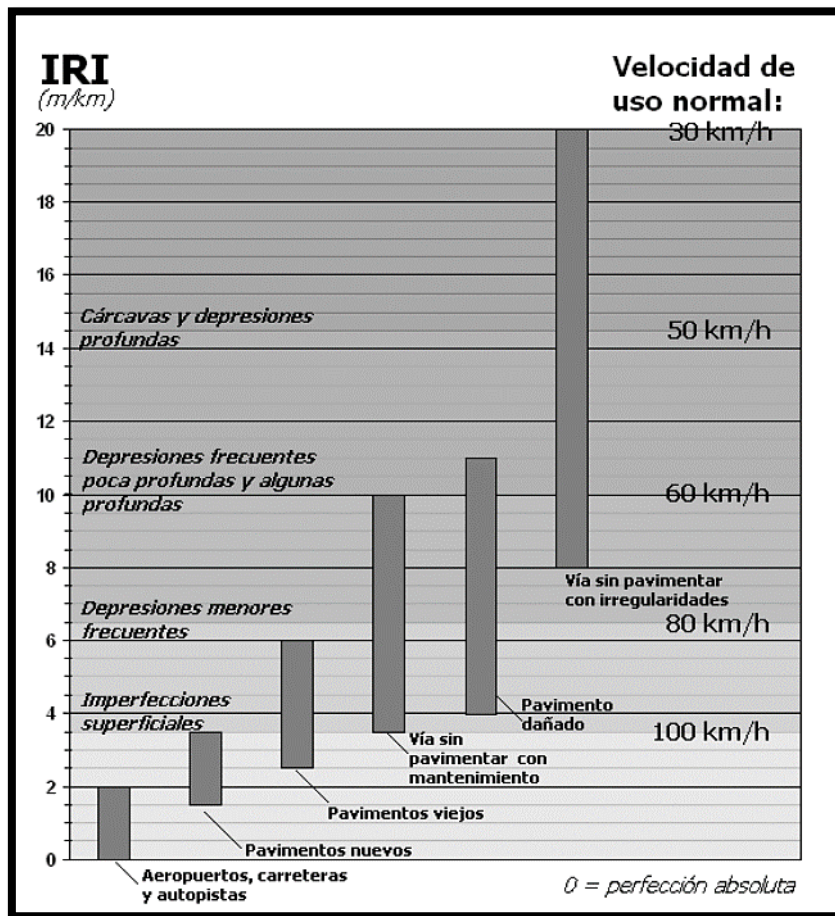


Fuente: Sayers y Karamihas (1998).

2.7 ESCALAS Y CARACTERÍSTICAS DEL IRI

El IRI tiene unidades de mm/m, m/km o in/mi, varía de 0 a 20 m/km o 0 a 126 in/mi (rugosidad 0 m/km en un camino uniforme perfecto y 20m/km uno ya casi imposible de transitar). Cabe mencionar que en algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional para definir el instante en el cual se debe implementar la intervención de conservación periódica.

Figura 2.3 Escala para clasificar los caminos según IRI ABC



Fuente: Badilla Vargas, 2009

Tabla 2.2 Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE. UU	< 2,4	2,4 - 4,7	> 4,7		
España	0 - 2,5	2,5 - 4,0	> 5,0	2,85	1,85
Chile	0 - 3,0	3,0 - 3,6	> 4,0	2,5	2,5
Honduras	< 3,5	3,5 - 6,0	> 6,0		
Uruguay	< 3,9	4,0 - 6,0	> 4,6		
Perú	< 2,5	2,5 - 4,5	> 4,5		

Fuente: Alvarenga, 2002

² Ing. Gustavo A. Badilla Vargas, (2009). aspectos y consideraciones importantes en el cálculo del índice regularidad internacional (iri). Artículo de IRI Jornadas de Investigación.

Tabla 2.3 Valores límites del IRI para considerar una intervención

Condición	Bolivia
Excelente	0,0 - 2
Bueno	2 - 3,5
Regular	3,5 - 5
Malo	> 5

Fuente: Manual de Diseño de Conservación Vial; Administradora Boliviana de Carreteras

2.8 DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RUGOSIDAD

Los diferentes métodos para medir la rugosidad han sido agrupados en cuatro categorías clasificadas de acuerdo a cuan directamente sus mediciones se aproximan al IRI (ASTM 1995). Estos métodos pueden resumirse de acuerdo a lo siguiente:

Clase 1, Perfiles de precisión (el cual requiere que el perfil longitudinal de una huella sea medida en forma precisa).

Clase 2, Otros métodos perfilométricos (el cálculo del IRI se basa en medidas del perfil longitudinal, pero no tan precisas como los métodos de la Clase 1),

Clase 3, Estimaciones del IRI mediante correlaciones (sistemas para medir la rugosidad por SMRR, Merlín).

Clase 4, Valoraciones subjetivas y medidas sin calibrar (aparatos tipo respuestas sin calibrar o valoraciones del estado mediante las sensaciones de confort y seguridad que experimenta el usuario).

2.9 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD

2.9.1 Equipos estáticos

En precisión consiguen las medidas más exactas del perfil longitudinal.

2.9.1.1. Mira y nivel topográfico. - Esta herramienta es la forma más precisa de medir el perfil longitudinal del pavimento pues, consiste en una mira de precisión graduada y un nivel topográfico empleado para determinar las cotas del perfil de la huella de rueda seleccionada. (ver Figura 2.4) Como ya se ha mencionado, para obtener una precisión correspondiente a la Clase 1, las medidas se deben tomar cada 0,25 m, mientras que para una precisión de Clase 2, los intervalos deben ser de 0,50 m. El rendimiento aproximado de la medición de perfiles con mira y nivel es de aproximadamente 640 m/día. (Contreras Sauñe, 2000).

Este equipo, comparado con otras herramientas para la medición de la rugosidad, es fácil de encontrar en el mercado a un costo muy accesible, ya sea para alquiler o compra de este. La desventaja de la Mira y Nivel es la cantidad de esfuerzo y tiempo que demanda su uso. Es por esto que en general, es mejor usarlo cuando deben medirse unos pocos perfiles o para calibrar otros instrumentos menos precisos. (Cárdenas Cruz, 2007).

Figura 2.4 Mira y nivel topográfico.



Fuente: Comercio de Importación y Exportación, 2019.

⁴ Contreras Sauñe, J. (2000). Evaluación superficial de pavimentos aplicación del Índice Internacional de Rugosidad IRI. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: Consorcio Digital del Conocimiento MebLatam

2.9.1.2. Perfilómetro de barra del TRRL. - Este equipo fue desarrollado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL) con el objetivo de reducir el esfuerzo y tiempo requerido en el levantamiento de datos para el perfil longitudinal por lo cual, se buscó que sea portátil, sólido y totalmente integrado.

Consiste en una barra de aluminio de 3 m de longitud, apoyada en cada extremo sobre trípodes ajustables usados para la nivelación. Un carro que se desliza sobre la barra hace contacto con el suelo mediante una rueda seguidora de 250 mm de diámetro mientras recorre la barra en toda su longitud. Los instrumentos de medida instalados en el carro detectan los desplazamientos verticales, los miden y transforman las medidas en valores digitales con 1 mm de resolución, y registran los valores numéricos a intervalos constantes. Para obtener un perfil continuo de la huella de la rueda, la barra se reubica sucesivamente sobre segmentos consecutivos.

El instrumento contiene un microcomputador que almacena los datos en cinta magnética y calcula automáticamente un índice de rugosidad. (Cárdenas Cruz, 2007)

Para obtener un perfil continuo de la huella de la rueda, la barra se reubica sucesivamente sobre segmentos consecutivos. El instrumento contiene un microcomputador que almacena los datos en cinta magnética y calcula automáticamente un índice de rugosidad. (Cárdenas Cruz, 2007)

Como requisito es indispensable que dos personas midan las cotas del perfil en intervalos de 100 mm sobre dos huellas de rodadura de 320 m de longitud. Se estima que la productividad del perfilómetro oscila entre 160 m/h, valor por el cual se debe emplear para trayectos de corta longitud.

2.9.1.3. Face Dipstick. - Instrumento desarrollado y patentado por Face Company para que al igual que el perfilómetro de barra, su función es reducir el tiempo y esfuerzo de la recolección de datos sobre el perfil longitudinal. Este equipo incluye una batería y computadora para recolectar y procesar, automáticamente, la información obtenida para producir un perfil. Consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300 mm – 305 mm, los cuales registran la elevación de un apoyo relativo respecto al otro. A través de un acelerómetro, se mide la inclinación del aparato (ver Figura 2.5).

⁵ Cárdenas Cruz, C. (2007). Procesamiento de Datos, Diseño y Construcción de un Analizador Electrónico de Rugosidad de Pavimentos. Tesis para el título de Ingeniero Eléctrico, Universidad Nacional de Ingeniería,

Conociendo la inclinación y la separación entre los apoyos, es posible determinar la diferencia de altura entre ellos. (Cárdenas Cruz, 2007)

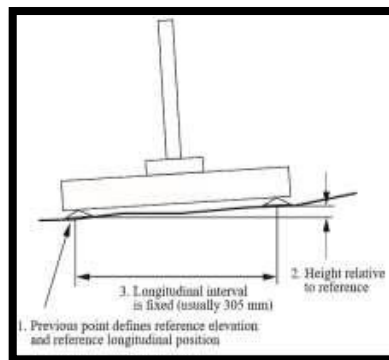
Figura 2.5 Equipo Dipstick



Fuente: Badilla Vargas, Elizondo Arieta, & Barrantes Jiménez, 2008.

El rendimiento de las mediciones del *Dipstick* puede sobrepasar los 250 m por hora en una sola huella. Las ventajas de este dispositivo son su bajo costo inicial y su simplicidad de operación. Su principal desventaja sigue siendo la lentitud; por lo cual, es aplicable especialmente para la evaluación de secciones cortas de pavimento. (Sayers & Karamihas, 1998).

Figura 2.6 Diseño funcional de equipo Dipstick.



Fuente: Sayers & Karamihas, 1998.

2.9.1.4 Machine for Evaluating Roughness (Merlín).

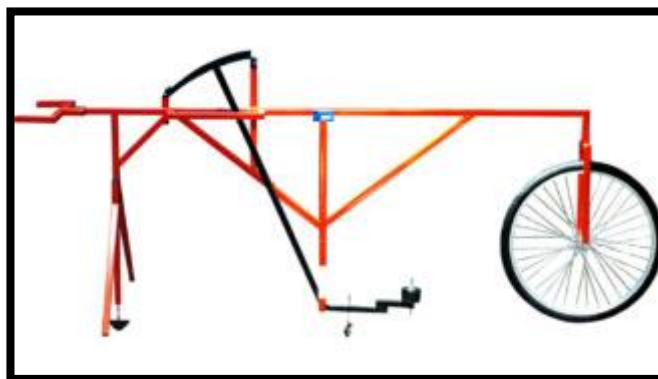
Este equipo fue desarrollado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL). Consiste en una estructura metálica de 1.8 m de longitud, con una rueda al frente de circunferencia 2.15 m, un pie de apoyo fijo atrás y un apoyo central oscilante. Este último mide la desviación vertical de la superficie respecto de una cuerda promedio definida por la rueda y el apoyo fijo.

El apoyo central está unido a un brazo que en su extremo superior posee un puntero que permite registrar estas desviaciones en una planilla de papel, siendo la relación de brazo entre los segmentos pivote-extremo, de 1:10. En cada vuelta de la rueda se realiza una observación de acuerdo con la posición del puntero hasta completar las 200 observaciones. Durante la recolección de datos, se va llenando un histograma de distribución de frecuencias con los resultados de 200 mediciones, posteriormente se elimina el 5% de los datos que corresponden a errores. (Cundill, 1991)

La estimación del valor IRI se realiza mediante ecuaciones de correlación que utilizan el rango de distribución de frecuencias de las mediciones obtenidas, así se utilizan las siguientes expresiones:

- Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 D$
- Cuando $IRI < 2.4$, entonces $IRI = 0.0485 D$

Figura 2.7 Equipo Merlín.



Fuente: Del Águila Rodríguez, 1999.

2.9.2 Equipos dinámicos

Proporcionan perfiles a gran velocidad que, aunque no son réplica exacta del perfil longitudinal del camino, si son exactos en la zona de longitudes de onda que influyen en la regularidad superficial.

1.9.2.1. Los perfilógrafos. - Este equipo permite obtener el perfil longitudinal de la superficie para el futuro cálculo de su rugosidad. Consiste en un arco metálico rígido, unos carros de carga ubicados en los extremos del marco y una llanta sensible, en el centro del marco para mantener el movimiento vertical libre (ver Figura 2.8). La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible.

Dentro de sus requisitos de uso se encuentra que los tramos de medición no deben de ser menores a 200 metros. Para calcular el índice de perfil de pavimento, se suman todas las protuberancias mayores de 10 mm dividido sobre la longitud de evaluación y multiplicado por 1000; las unidades con las que se presenta el coeficiente obtenido serán en cm/Km.

Figura 2.8 Equipo Perfilógrafo.



Fuente: Montoya Goicochea, 2013.

Las ventajas de los perfilógrafos incluyen su bajo costo inicial, simplicidad de operación y su buena repetitividad. Sus desventajas son su baja velocidad de operación, su baja disponibilidad en el mercado y su incapacidad para medir rugosidad en longitudes de onda distintos a múltiplos del largo del patín. (Montoya Goicochea, 2013).

Tabla 2.4 Clasificación de equipos

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Muy Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipo tipo repuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo
Perfilómetro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de red viales grandes

Fuente: Adaptado de Ventura, J. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Face Dipstick y el Merlín de mayor uso en nuestro país. (**Manual de Diseño de conservación vial ABC**)

⁶ Badilla Vargas, G., Elizondo Arieta, F., & Barrantes Jiménez, R. (2008). Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI. San José.

2.10 RUGOSÍMETRO DE MERLÍN

Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

Figura 2.9 Uso del rugosímetro de Merlín

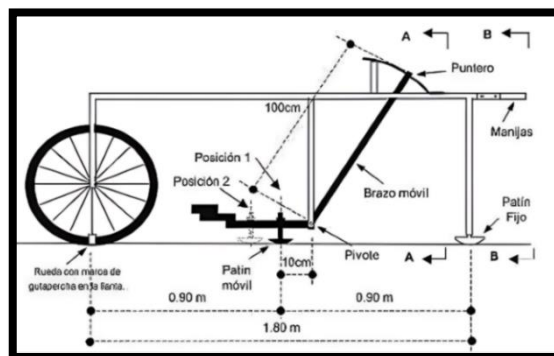


Fuente: Manual de diseño de conservación ABC

El método de medición que utiliza el Merlín, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el Merlín, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0,98$).

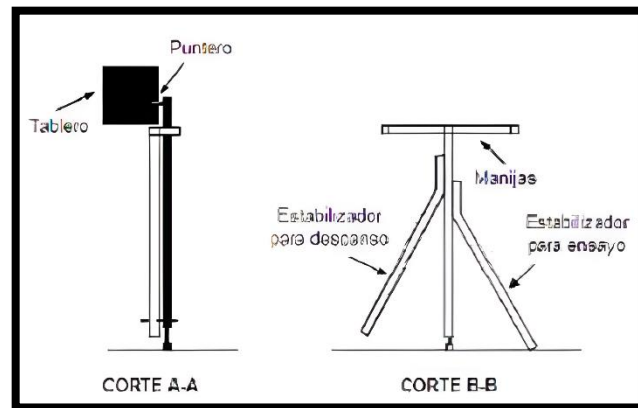
Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus Rugosímetros. (Del Aguila, 1999)

Figura 2.10 Detalles del instrumento Merlín



Fuente: (Del Aguila, 1999)

Figura 2.11 Detalles en corte del Rugosímetro de Merlín



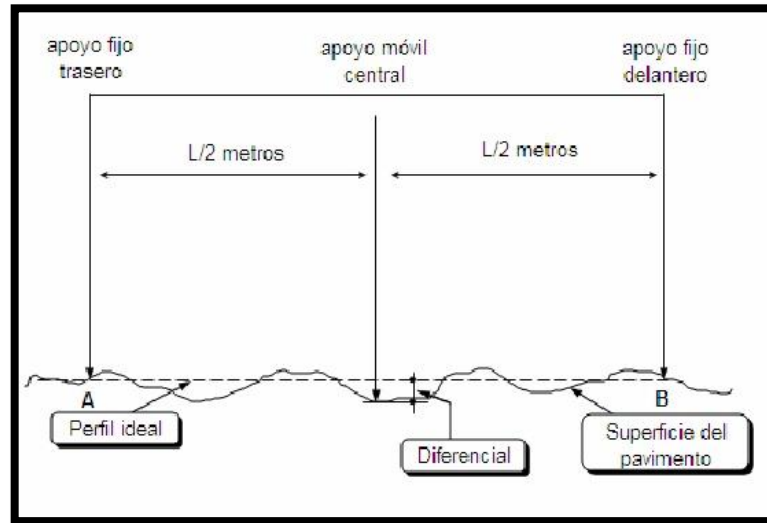
Fuente: Del Águila (1999)

El Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación con respecto a la cuerda promedio”.

El Merlín tiene dos pies, separados uno de otro una distancia de 1.8m, el cual se apoya en la superficie del camino cuya rugosidad será medida a lo largo de la wheeltrack (marca hecha por las ruedas). Un patín de prueba móvil se pone a media-vía sobre la superficie de camino entre los dos pies y el Merlín mide la distancia vertical “y” entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante que une la base de los dos pies.

El resultado se registra en un formato montado sobre la máquina, tomando medidas repetidas a lo largo de la huella de la rueda cuando se han completado las observaciones, se remueve el formato, en el cual se habrá generado un histograma. El “ancho” del histograma (D), expresado en milímetros representa la rugosidad en la escala de Merlín. (Del Águila, 1999)

Figura 2.12 Medición de desviaciones del pavimento respecto a la cuerda AB.



Fuente: Del Águila (1999)

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero. (Del Águila, 1999)

⁷ Pablo del Águila Rodríguez, (2019). Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro MERLIN.

Figura 2.13 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones del pavimento



Fuente: Del Águila (1999)

2.10.1 Modo de Uso

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que los anota.

Asimismo, debe seleccionarse un tramo de 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico. (Del Águila, 1999)

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil del Merlín, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.

Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2 m de distancia, en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del Merlín, que es aproximadamente esa

dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda. (Del Águila, 1999)

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como es mostrado en la figura 2.14. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. (Del Águila, 1999).

Figura 2.14 Formato para recolección de datos de campo

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO : _____ OPERADOR : _____
 SECTOR : _____ SUPERVISOR : _____
 TRAMO : _____ FECHA : _____
 CARRIL : _____

ENSAYO N° KM + HORA :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											AFIRMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
9											SELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : _____

Fuente: Del Águila (1999)

⁸ Ing. Pablo del Aguila Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión pág. 8

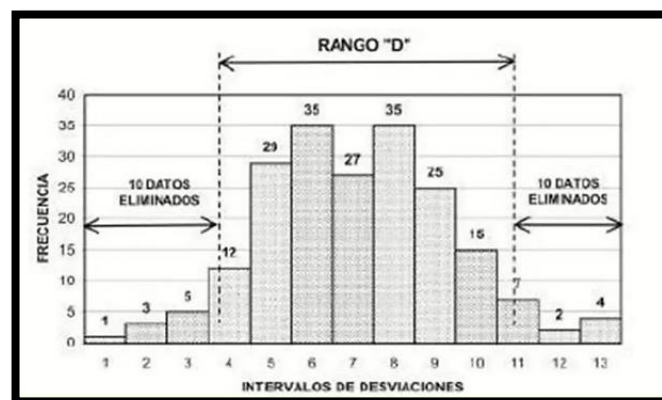
2.10.2 Cálculo de la Rugosidad con el Rugosímetro de Merlín

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del Rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil.

La división N^a 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N^o25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada). (Del Aguila, 1999).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura 20). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. (Del Águila, 1999).

Figura 2.15 Histograma de la distribución de frecuencias.



Fuente: Del Águila (1999)

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura 2.15, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia, resulta una unidad fraccionada igual a $11/12 = 0,92$.

Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a $3/7 = 0,43$.

Se tiene en consecuencia un Rango igual a $0,92 + 6 + 0,43 = 7,35$ unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros. Rango D = $7,35 \times 5 \text{ mm} = 36,75 \text{ mm}$.

Factor de corrección

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

Donde:

Ep = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial del puntero.

Lf = Posición final del puntero.

Cálculo del Rango D corregido

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

Cálculo de IRI

- Cuando $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$

(ecuación empleada para la evaluación de pavimentos en servicio)

- Cuando $\text{IRI} < 2.4$, entonces $\text{IRI} = 0.0485 D$

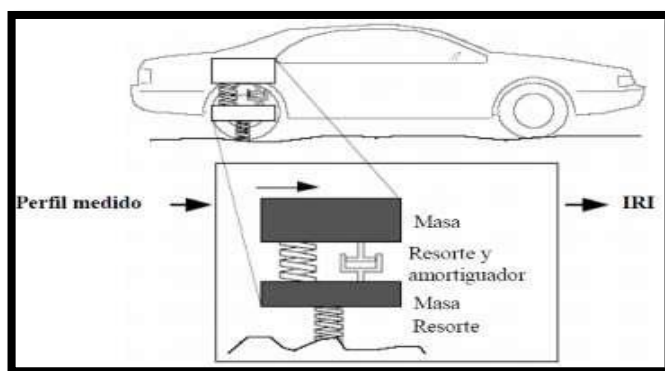
(ecuación empleada para la evaluación de pavimentos nuevos)

2.11 APLICATIVO ABAKAL IRI

Calcula el IRI utilizando los sensores de vibración y el GPS del Smartphone con sistema Android, realiza graficas e informe del valor IRI cada 100 m., a la vez se puede calibrar. Por otro lado, el modelo que utiliza es el modelo de cuarto de carro.

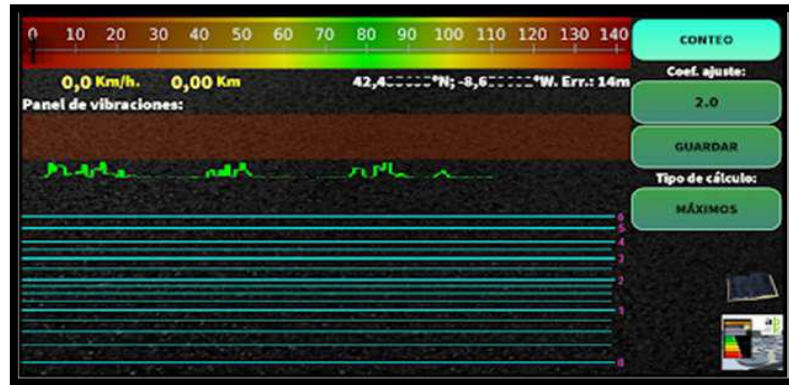
El modelo es una representación de una rueda posterior de un automóvil, mediante masas, resortes y amortiguadores con coeficientes patrón, representa la masa del vehículo, la masa de la rueda, el amortiguador y la flexibilidad de la llanta. (Figura 2.16) En el modelo medimos los movimientos verticales atribuibles a las irregularidades en el perfil longitudinal.

Figura 2.16 Modelo de cuarto de carro



Fuente: Sayers, M. & Karamidas, S. (1988)

Figura 2.17 Aplicativo Abakal IRI



Fuente: Abakal (2020)

2.11.1 Velocidad de ensayo

La velocidad debe ser constante, según la imagen podemos usar 70-80-90 km/h, por ese motivo el velocímetro marca en verde los alrededores de dicha velocidad.

2.11.2 Ubicación del Smartphone

Puede colocarse apoyado en el parabrisas para la operación adecuada de los ajustes, ya sean los métodos estadísticos o los máximos.

Figura 2.18 Ubicación del teléfono en el vehículo



Fuente: Abakal (2020)

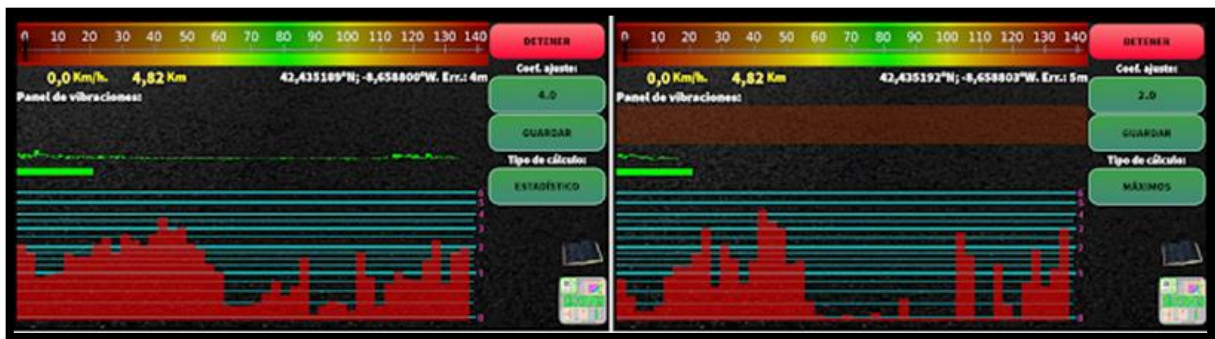
2.11.3 Cálculo de la rugosidad con el aplicativo Abakal IRI

Están definidos dos métodos de cálculo diferente, estadísticos y máximos.

El método estadístico deriva de la ponderación relativa de primer y segundo orden de la vibración transmitida por el vehículo al dispositivo. El coeficiente de ajuste eleva (o reduce) dicha ponderación. El método por máximos establece unos valores límite, a partir de los cuales pondera el ensayo. Bajar el límite equivale a elevar el ensayo, por ello el coeficiente de ajuste es inverso a la ponderación del ensayo.

No se puede establecer con precisión cuál es el mejor sistema que se adapte al tándem vehículo-Smartphone, por ese motivo, es necesario comparar los resultados con otro IRI externo y elegir el mejor en cada caso. Si se cambia de vehículo o de Smartphone hay que repetir estas operaciones. Mientras se realiza el ensayo, éste se irá dibujando en la gráfica inferior con la escala vertical de tipo logarítmica.

Figura 2.19 Métodos de cálculo Abakal



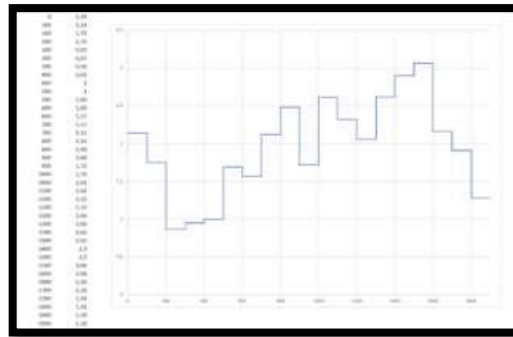
Fuente: Abakal (2020)

2.11.4 Generación de informe

El aplicativo genera como resultados tres tipos de archivos, los cuales son guardados en el directorio “/storage/0/Abakal/IRI”

- El archivo informe IRI.csv, se puede abrir como una hoja de cálculo, es importante porque podemos graficar.
- El archivo informe IRI2.csv, es más una tabla de control.
- El archivo informe IRI.kml, es para abrir en Google Earth.

Figura 2.20 Informe IRI.csv



Fuente: Abakal (2020)

Tabla 2.5 Ejemplo de Resultados Informe IRI

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI
42,453633	-8,677348	110	75,35	0	2,14
42,454028	-8,676213	108	75,82	100	1,75
42,454396	-8,675086	114	72	200	0,87
42,454814	-8,673987	119	73,3	300	0,95
42,455341	-8,672945	124	76,32	400	1
42,456012	-8,671988	129	80,24	500	1,69
42,456741	-8,671048	137	78,12	600	1,57
42,457411	-8,670161	142	71,78	700	1,59
42,458005	-8,66923	146	73,55	800	2,12

Fuente: Abakal (2020)

Figura 2.21 Ejemplo Informe IRI.



Fuente: Abakal (2020)

2.12 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

a) **Rehabilitación**

Actividades con el que se busca mejorar o restaurar las condiciones actuales presentes en la edificación, pavimento, puentes, etc. El objetivo es recuperar su funcionalidad extendiendo así su vida útil.

b) **Abakal IRI**

Aplicativo español creado para Smartphone o teléfonos inteligentes, esta aplicación utiliza las herramientas preinstaladas en los teléfonos, de tal manera que sea capaz de medir la rugosidad en pavimentos de manera precisa y económica.

c) **Transitabilidad**

Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

d) **IRI**

Índice de Rugosidad Internacional, es el parámetro que mide el estado más característico de la condición funcional de la capa de rodadura de un pavimento.

e) **Rugosímetro de Merlín**

Instrumento diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático.

Acabado en pintura electrostática de color amarillo y negro. Plegable, para fácil embalaje y transporte.

f) **Smartphone**

Teléfono celular con pantalla táctil, que permite al usuario conectarse a internet, gestionar cuentas de correo electrónico e instalar otras aplicaciones y recursos a modo de pequeño computador.

g) **GPS**

Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema que permite localizar cualquier objeto (una persona, un vehículo, etc.) sobre la Tierra.

CAPÍTULO III

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN,
PROCESO Y CONSIDERACIONES
PARA LA DETERMINACIÓN DEL
ÍNDICE DE RUGOSIDAD**

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN, PROCESO Y CONSIDERACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es aplicada y cuantitativa, busca la aplicación de conocimientos y se centra en estrategias que permitan lograr un objetivo concreto, conocer el nivel de servicio del pavimento y cuantitativa, por que recogen los datos cuantitativos mediante la medición superficial del pavimento flexible, con los dos métodos distintos como son el equipo de Merlín y el aplicativo Abakal IRI, en la avenida los Molles y San Luis.

3.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es descriptiva-exploratoria porque consiste en examinar, describir y relatar acontecimientos para obtener nuevos conocimientos de forma sistemática y metódica.

Además, es exploratoria y pretende ampliar los ámbitos de investigación, proporcionando objetivos para futuras investigaciones. Los datos de campo se recogerán sobre el terreno utilizando un formato de evaluación de registros como base del estudio.

Se utilizan gráficos circulares, de barras y otros formatos matemáticos para mostrar los resultados.

3.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance se centra en la comparación de las dos herramientas de medición, Abakal y el rugosímetro de Merlín, en términos de su precisión y eficacia para calcular el índice de rugosidad. Se realizará un análisis detallado de los resultados obtenidos con cada una de estas herramientas, evaluando su capacidad para medir con precisión la rugosidad.

En el ensayo se empleará un vehículo modelo Ipsum de Toyota y un teléfono Xiaomi Redmi 9S para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). El teléfono se colocará en el parabrisas y se registrarán automáticamente los datos de vibración mientras se recorren los tramos. Para el Rugosímetro de MERLIN, se medirán 200 desviaciones

consecutivas en tramos de 400 metros a lo largo de la vía investigada. Posteriormente, se utilizará Microsoft Excel para procesar los datos y realizar los cálculos correspondientes.

Se analizará la incidencia de la velocidad a 30 km/h, presión de llantas y otros posibles factores que puedan influir en los resultados.

Se elaborará una guía del usuario de la metodología Abakal IRI, con recomendaciones para garantizar la correcta utilización de esta herramienta y obtener pruebas consistentes y confiables en los valores el IRI.

3.4 POBLACIÓN

La población examinada abarca el primer tramo, la Avenida Los Molles, que conecta los barrios, B/ Los Tajibos con el B/ Senac. comprendido desde el Parque barrio Tajibos, hasta la intersección del pasaje 6 de Agosto. Y el segundo tramo, la avenida San Luis comprendido desde la intersección av. Alto de la Alianza hasta el colegio Alemán del Sud.

3.5 MUESTRA

La muestra de estudio es la Avenida los Molles, específicamente en el tramo, parque barrio Tajibos con coordenadas, latitud $21^{\circ}32'37.92''S$; longitud $64^{\circ}46'12.81''W$, hasta la intersección del pasaje 6 de Agosto. Latitud $21^{\circ}32'5.35''S$; longitud $64^{\circ}44'45.29''W$; En el cual se presentan fallas que vienen afectando la superficie del pavimento flexible.

La segunda muestra de estudio es la avenida San Luis, comprendido desde la intersección av. Alto de la Alianza con coordenadas, latitud $21^{\circ}33'21.35''S$; longitud $64^{\circ}42'32.34''W$; hasta aproximadamente el colegio Alemán del Sud, latitud $21^{\circ}34'23.43''S$; longitud $64^{\circ}41'41.34''W$; parada del micro S.

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1 Técnicas

La rugosidad de un pavimento es un factor crucial para determinar su estado y rendimiento. Para recopilar los datos necesarios, se emplea el aplicativo Abakal IRI, el cual permite realizar mediciones de la rugosidad utilizando la tecnología de estos teléfonos inteligentes.

Además, se utiliza el Rugosímetro de Merlín, un dispositivo especializado, para obtener mediciones adicionales y complementar la información recopilada en campo.

Después de completar la recolección de datos en el lugar de estudio, se procederá a realizar los cálculos en un entorno de oficina para determinar los valores de la rugosidad. Esto se llevará a cabo utilizando la aplicación Abakal IRI y el Rugosímetro de Merlín. Una vez que tengamos los resultados de la rugosidad obtenidos mediante estas dos metodologías, realizaremos una comparación para identificar similitudes entre ellos.

3.6.2 Instrumentos

Para que un instrumento cumpla con su cometido, es decir constituya el medio más eficaz para la recolección de los datos en una investigación, debe cumplir con dos requisitos esenciales: la validez y la confiabilidad.

3.7 MÉTODO MERLÍN

Se describen los siguientes materiales y su recopilación de datos.

A) MATERIALES

✓ Equipo de Merlín

Figura 3.1 Equipo de Merlín



Fuente: Elaboración propia.

✓ Chalecos reflectores

Figura 3.2 Chalecos de seguridad



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Conos de seguridad**

Figura 3.3 Conos de seguridad



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Pintura Spray**

Figura 3.4 Pintura en spray



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Destornillador**

Figura 3.5 Destornillador



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Llave 12**

Figura 3.6 Llave 12



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Inflador**

Figura 3.7 Inflador



Fuente: Elaboración propia.

B) TOMA DE DATOS

Se llevó a cabo las siguientes acciones para recopilar los datos:

- Se procedió a calibrar adecuadamente el equipo Merlín en el laboratorio, con la supervisión del personal técnico. Se colocó en una superficie plana y se ajustaron los soportes hasta que el marcador se ubicó en la posición 25. Ver figura 3.8

Figura 3.8 Calibración del equipo de Merlín.



Fuente: Elaboración propia.

Nos dirigimos al punto de partida designado en nuestra avenida y ubicamos el equipo en esa posición para dar inicio al ensayo. Una vez que todo estaba listo, procedimos a recopilar los datos necesarios, siguiendo meticulosamente el procedimiento establecido. Tal como se observa en la figura 3.9

Figura 3.9 Posición del equipo en el punto de partida.



Fuente: Elaboración propia.

El ensayo se llevó a cabo con un equipo de tres personas, cada una con roles específicos. Uno de ellos se encargó de la seguridad vial y también tomó fotografías como parte del proceso. Otro miembro del equipo fue responsable de manipular el equipo Merlín, mientras que el tercero se encargó de registrar las lecturas obtenidas por dicho equipo. Antes de iniciar el ensayo de campo, se realizó una coordinación previa, la cual se puede apreciar en detalle en la figura 3.10

Figura 3.10 Coordinación para la toma de datos.



Fuente: Elaboración propia.

El ensayo realizado con el equipo Merlín se lleva a cabo bajo la condición de que un operador levante verticalmente el artefacto sobre el pavimento y lo desplace horizontalmente, calculando que la rueda realice una rotación completa de 360°, como se ilustra en la figura 3.11

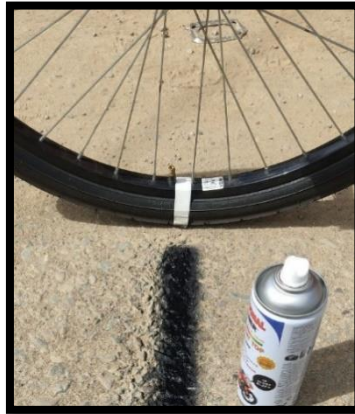
Figura 3.11 Desplazamiento del equipo.



Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de obtener una mayor precisión, se colocó una cinta masking, en la válvula de la llanta del equipo Merlín como punto de referencia. Posteriormente, se descarga el equipo apoyándolo en sus soportes y se lee el valor indicado por el puntero del equipo Merlín, anotándolo en el formato estándar. El trabajo se realiza en tramos de 400 m para completar las 200 lecturas.

Figura 3.12 Punto de referencia en la rueda del Merlín



Fuente: Elaboración propia.

C) PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se completaron 24 planillas y se traspasaron a hojas de cálculo de Microsoft Excel para su procesamiento y análisis.

- Se cuenta el número de repeticiones de los mismos valores en cada formato registrado en el campo.
- Después de recibir los datos, procedemos a graficar el histograma.
- Luego calculamos el IRI a partir de las ecuaciones dadas en el marco teórico.
- Los resultados obtenidos se introducen en una tabla junto con su resumen.

Figura 3.13 Hoja de campo con el equipo de Merlín

**EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)
RUEDA DE MERLÍN**

Tramo: Avenida los Molles, ciudad de Tarija

Solicitante: Marco Antonio Cardozo Flores **Fecha:** 23 / 03 / 23

Progresiva: 0 + 400 a 0 + 800 **Sentido:** Ida

Datos de Campo 3

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

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

1. Se registra los valores obtenidos con el tablero de Merlín.

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)

Tabla 3.1 Datos de campo con la rueda de Merlín

Datos de campo con la Rueda de Merlín										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	6	3	25	4	3	2	2	6	5
2	5	1	3	3	3	6	13	6	1	5
3	8	11	3	4	11	17	25	21	3	2
4	4	1	1	11	9	25	20	7	11	20
5	5	4	14	7	1	17	12	17	4	7
6	25	6	3	8	11	10	1	14	13	6
7	11	12	7	9	2	25	3	25	23	18
8	1	25	5	3	8	6	14	12	25	7
9	5	1	1	6	25	12	13	8	25	25
10	16	17	16	3	25	4	12	9	8	12
11	1	5	6	3	30	20	8	14	9	28
12	25	25	6	25	14	25	9	3	4	2
13	6	9	7	16	10	11	22	22	1	50
14	50	24	8	14	8	5	8	14	4	25
15	25	12	18	5	13	14	25	11	25	24
16	20	20	25	25	25	3	5	10	6	25
17	3	8	8	6	12	5	12	15	9	7
18	25	2	10	25	11	5	25	10	25	4
19	6	13	50	9	3	5	1	8	18	50
20	50	25	1	2	25	7	6	5	6	25

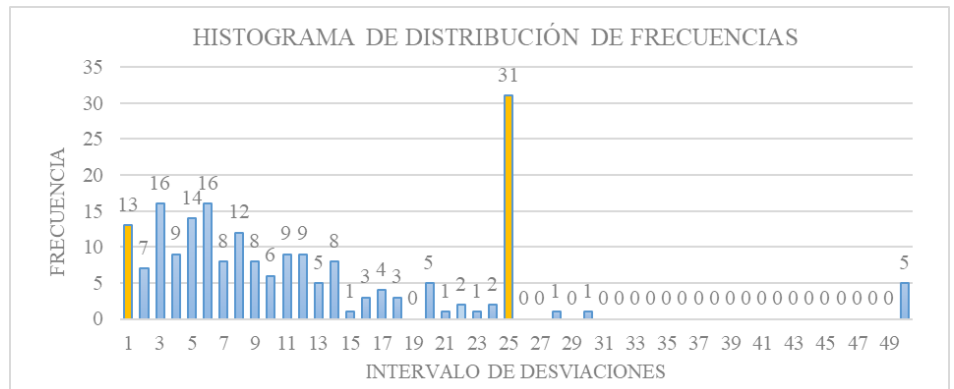
Fuente: Elaboración propia.

2. Se realiza el conteo de los datos repetidos y se lo coloca en una tabla de frecuencias, después se grafica de acuerdo a la tabla.

Tabla 3.2 Distribución de frecuencias

Lecturas	Frecuencia
1	13
2	7
3	16
4	9
5	14
6	16
7	8
8	12
9	8
10	6
11	9
12	9
13	5
14	8
15	1
16	3
17	4
18	3
19	0
20	5
21	1
22	2
23	1
24	2
25	31
26	0
27	0
28	1
29	0
30	1
31	0
32	0
33	0
34	0
35	0
36	0
37	0
38	0
39	0
40	0
41	0
42	0
43	0
44	0
45	0
46	0
47	0
48	0
49	0
50	5
Total	200

Figura 3.14 Histograma de Distribución de frecuencias



Fuente: Elaboración propia.

Frecuencias	
Valor a dividir izq. (di) =	13
Existente izq. (ei) =	0
Faltante izq. (fi) =	10
Valor a dividir der.(dd) =	31
Existente der. (ed) =	7
Faltante der. (fd) =	3
rango medio (dm) =	19

3. Cálculo de en rango “D”

$$D = \left(\frac{(d_i - f_i)}{d_i} + d_m + \frac{(d_a - f_a)}{d_a} \right) * 5 [mm]$$

$$D = \left(\frac{(13 - 10)}{13} + 19 + \frac{(31 - 3)}{31} \right) * 5 [mm]$$

$$D = 100,7 [mm]$$

4. Cálculo del factor de corrección.

Donde:

$$E_p = 6,2$$

$$L_i = 25$$

$$L_f = 10$$

$$f_c = \left(\frac{(E_p * 10)}{(L_i - L_f) * 5} \right)$$

$$f_c = \left(\frac{(6,2 * 10)}{(25 - 10) * 5} \right)$$

$$f_c = 0,827$$

5. Cálculo del rango corregido Dc:

$$D_c = D * f_c$$

$$D_c = 83,22 \text{ mm}$$

6. Determinación del I.R.I.:

Para pavimentos nuevos:

$$\boxed{\text{I.R.I.} = 0,0485 * D_c} \longrightarrow (\text{IRI} < 2.4)$$

Para pavimentos en servicio :

$$\boxed{\text{I.R.I.} = 0,593 + 0,0471 * D_c} \longrightarrow (2.4 < \text{IRI} < 15.9)$$

Cálculo del I.R.I.:

Aplicando la fórmula para pavimentos en servicio:

$$I. R. I. = 0,593 + 0,0471 * D_c$$

$$I. R. I. = 0,593 + 0,0471 * 83,22$$

$$I.R.I.= 4,51 \text{ m/km}$$

3.8 MÉTODO ABAKAL

Se describen los siguientes materiales y su recopilación de datos.

A) MATERIALES

- ✓ **Celular inteligente**

Figura 3.15 Dispositivo móvil



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Soporte para sostener el dispositivo**

Figura 3.16 Soporte para celular



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Vehículo Toyota Ipsum modelo 1995**

Figura 3.17 Vehículo para el estudio



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Libreta de campo**

Figura 3.18 Libreta

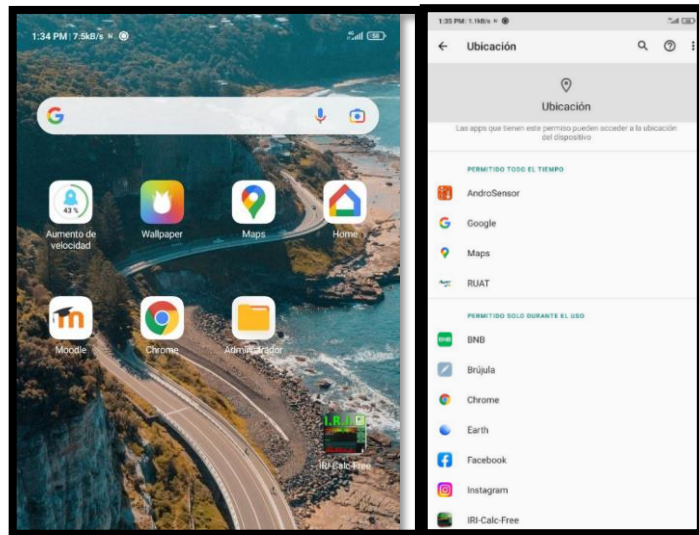


Fuente: Elaboración propia.

B) TOMA DE DATOS

- Instalar la aplicación Abakal IRI en un dispositivo móvil y activar la función GPS.

Figura 3.19 Instalación en el dispositivo



Fuente: Elaboración propia.

- Control de presión de llantas, a una presión de 40 bar cada una de las llantas.

Figura 3.20 Presión de llantas



Fuente: Elaboración propia.

- Montar el soporte del teléfono en el parabrisas para que quede fijo, estable y fácil de alcanzar con las manos.

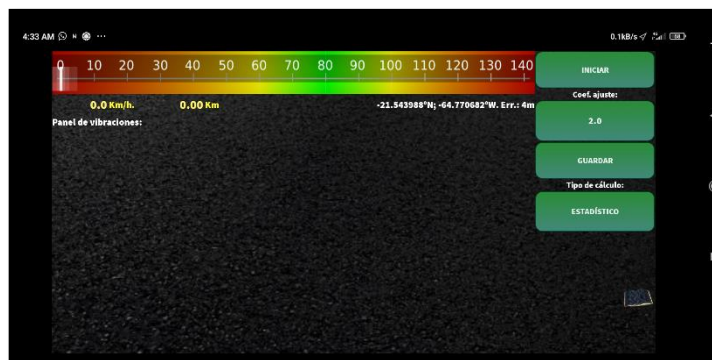
Figura 3.21 Posición del soporte



Fuente: Elaboración propia.

- Abra la aplicación Abakal IRI en el dispositivo, importante verificando antes los datos móviles y el GPS. Pulse el botón iniciar.

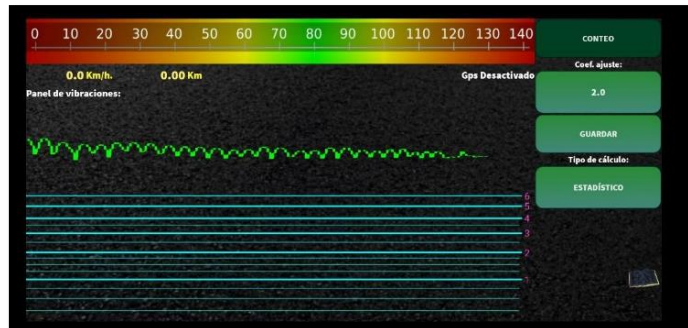
Figura 3.22 Dar inicio al programa



Fuente: Elaboración propia.

- Presione el botón CONTEO, para que empiece a registrar los datos, en ese momento el programa registrará de acuerdo al método que esté activo ya sea método estadístico o método máximo.

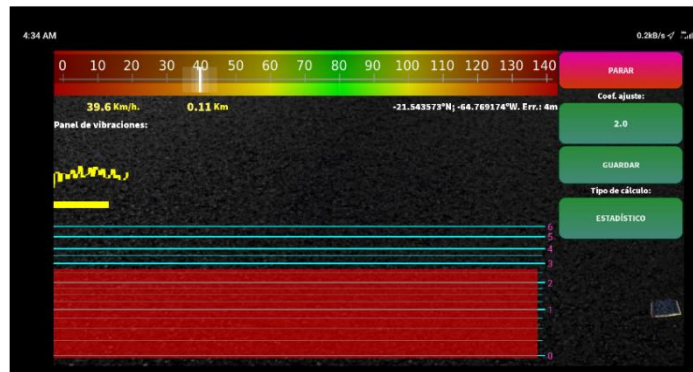
Figura 3.23 Botón para la toma de datos



Fuente: Elaboración propia.

- Cuando se haya completado el estudio de la ruta, seleccionaremos PARAR y luego pulsaremos el botón DETENER.

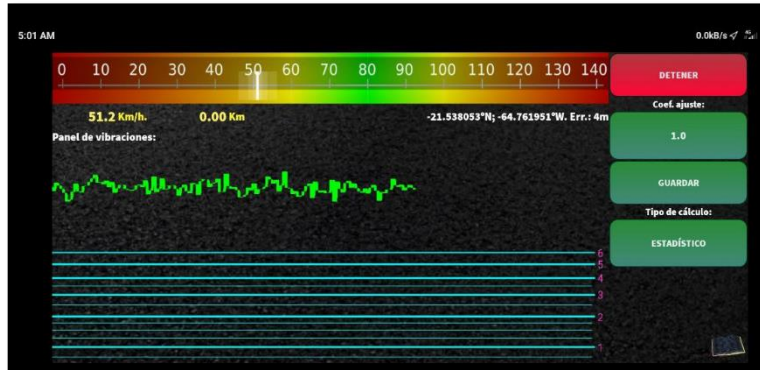
Figura 3.24 Botón para parar la toma de datos



Fuente: Elaboración propia.

- Para finalizar con la toma de datos pulsaremos el botón de GUARDAR, para que los datos se transfieran a una carpeta específica en el dispositivo.

Figura 3.25 Botón para detener y Guardar los datos



Fuente: Elaboración propia.

Para una comprensión más detallada, consulte el **(ANEXO VII) MANUAL DE USUARIO ABAKAL**

3.9 COSTOS Y BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

3.9.1 Costos

1. Adquisición de equipos: dependiendo del equipo si es Merlín, se necesita alquilar el dispositivo, y tener un medio de transporte para llevar a la zona de estudio. Para el software Abakal, se necesita un dispositivo celular y un vehículo para realizar las mediciones.

2. Auxiliar: Es necesario contar con un personal encargado para el apoyo en la manipulación de estos dispositivos de medición.

Tabla 3.3 Costos de la implementación de los equipos

Presupuesto General						
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Numeral)	Precio (Bs/Km)	Precio Total (Bs)
1	Levantamiento De Perfil Con Mira Y Nivel	m	2400,00	2,70	2700,00	6.480,00
2	Medición Con Rugosímetro De Merlín	m	5200,00	1,28	1280,00	6.656,00
3	Abakal Iri	km	5,20	45,36	45,36	235,87

Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que los costos pueden variar según la ubicación, disponibilidad de equipos, la experiencia del usuario y las condiciones específicas del proyecto.

La elección del método dependerá de diversos factores, incluido el presupuesto disponible y la urgencia de los resultados. Abakal es la opción más económica y rápida, mientras que la mira y nivel es la más costosa, y con mayor tiempo de recolección de datos, por otro lado, el método del rugosímetro de Merlín, se encuentra en un punto intermedio en términos de costo y tiempo.

3.9.2 Beneficios

1. Mayor eficiencia en la medición del IRI: Abakal permite realizar la medición de forma rápida y precisa, lo que ahorra tiempo y recursos en comparación con el rugosímetro de Merlín y el método tradicional. Esto se traduce en una mayor eficiencia en los proyectos y mantenimiento de avenidas y carreteras.
3. Seguridad vial: La medición del IRI proporcionada por Abakal y el rugosímetro de Merlín ayuda a identificar las áreas de la avenida que presentan condiciones peligrosas debido a una superficie rugosa. Esto permite tomar acciones preventivas y mejorar la seguridad vial.
4. Reducción de costos a largo plazo: La detección temprana de problemas de rugosidad en las avenidas mediante la medición del IRI puede ayudar a evitar daños mayores y costos de reparación más elevados en el futuro.

Tabla 3.4 Ventajas y desventajas Abakal

Ventajas y desventajas de la Metodología Abakal	
1. Portabilidad. - Disponible como una aplicación en dispositivos móviles, lo que facilita su transporte y uso en diferentes ubicaciones.	1. Dependencia de la tecnología. - Requiere de dispositivos móviles y tecnología GPS, lo que puede implicar problemas de funcionamiento en áreas con señal débil o nula.
2. Facilidad de uso. - Interfaz intuitiva que permite a los usuarios registrar y analizar datos de manera sencilla.	2. Limitaciones en la precisión. - Aunque ofrece mediciones precisas, puede no ser tan exacto como otros equipos especializados.

<p>3. Registro automático de datos. - Permite el registro automático de datos de manera precisa y en tiempo real, lo que reduce errores humanos.</p>	<p>3. Dependencia de la calibración. - Requiere una calibración adecuada para garantizar la precisión de los resultados.</p>
<p>4. Análisis rápido. - Proporciona análisis instantáneos de los datos recopilados, lo que facilita la toma de decisiones rápidas.</p>	<p>4. Posibles problemas de compatibilidad. - Puede enfrentar problemas de compatibilidad con ciertos dispositivos móviles.</p>
<p>5. Actualizaciones y mejoras. - Recibe actualizaciones periódicas que añaden nuevas funcionalidades para mejorar el rendimiento del software.</p>	<p>5. Limitaciones en la capacidad de almacenamiento. - La cantidad de datos que puede almacenar puede estar limitada por la capacidad del dispositivo móvil utilizado.</p>

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 RESULTADOS NIVEL MIRA Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 40PSI

TABLA COMPARATIVA

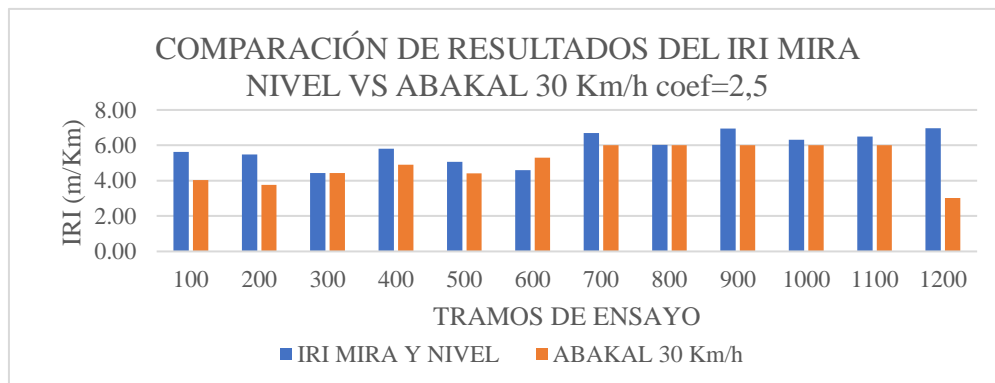
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 40 psi
 Coeficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.1 Resultados Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 40psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	5,62	4,03	1,59
200	5,48	3,76	1,72
300	4,43	4,44	0,01
400	5,81	4,91	0,90
500	5,07	4,42	0,65
600	4,59	5,30	0,71
700	6,69	6,00	0,69
800	6,02	6,00	0,02
900	6,94	6,00	0,94
1000	6,32	6,00	0,32
1100	6,50	6,00	0,50
1200	6,96	3,03	3,93
IRI	5,87	4,99	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.27 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

TABLA COMPARATIVA

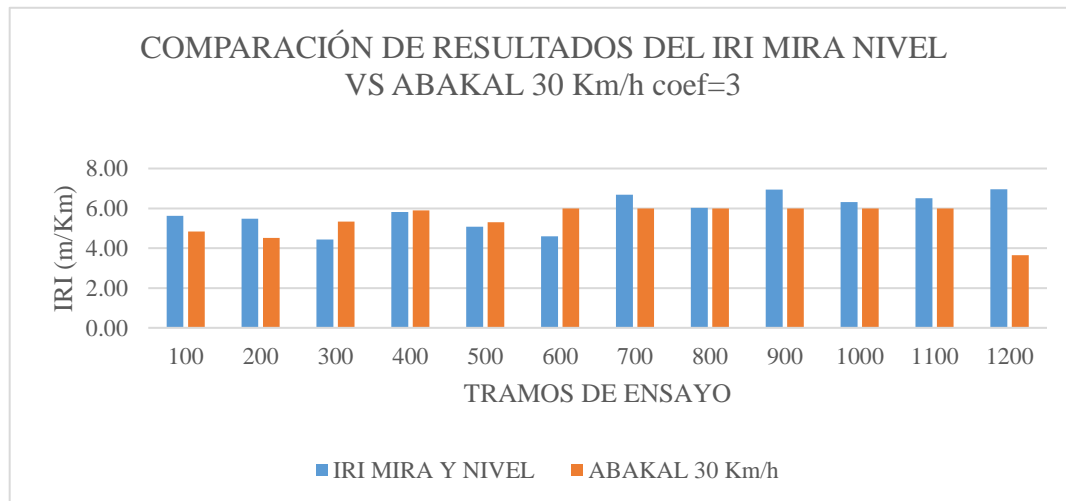
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 40 psi
 Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.2 Resultados Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =3; 40psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	5,62	4,83	0,79
200	5,48	4,51	0,97
300	4,43	5,33	0,90
400	5,81	5,90	0,09
500	5,07	5,31	0,24
600	4,59	6,00	1,41
700	6,69	6,00	0,69
800	6,02	6,00	0,02
900	6,94	6,00	0,94
1000	6,32	6,00	0,32
1100	6,50	6,00	0,50
1200	6,96	3,64	3,32
IRI	5,87	5,46	0,85

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.28 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados de la avenida Los Molles, de la tabla comparativa entre MIRA_NIVEL y ABAKAL, con una velocidad de 30 km/h y con un coeficiente de 3, se pueden observar las siguientes similitudes en los valores:

En las primeras progresivas (100, 200 y 300), ambos métodos muestran valores cercanos entre sí, aunque MIRA_NIVEL tiende a tener valores ligeramente superiores a ABAKAL.

A partir de la progresiva + 500 hasta la +700, se aprecian diferencias un poco más significativas entre los dos métodos. MIRA_NIVEL presenta valores más altos que ABAKAL, esto debido a las pendientes que presenta la zona de estudio.

En comparación con el valor de referencia IRI, tanto MIRA_NIVEL como ABAKAL presentan valores cercanos.

El valor promedio del IRI para MIRA_NIVEL es de 5,87 m/km, mientras que para ABAKAL es de 5,46 m/km. Esto indica que, en promedio, MIRA_NIVEL tiende a mostrar valores ligeramente superiores al IRI en comparación con ABAKAL.

4.2 RESULTADOS NIVEL MIRA Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 40PSI

TABLA COMPARATIVA

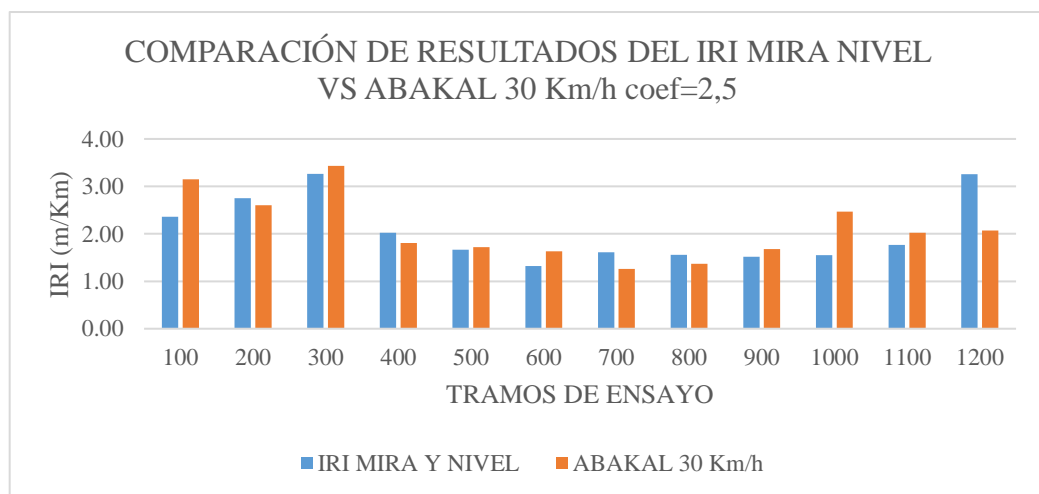
Método: Estadístico
Presión en llantas = 40 psi
Coefficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.3 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 40psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	2,36	3,15	0,79
200	2,75	2,60	0,15
300	3,26	3,43	0,17
400	2,02	1,81	0,21
500	1,67	1,72	0,05
600	1,32	1,63	0,31
700	1,61	1,26	0,35
800	1,56	1,37	0,19
900	1,52	1,68	0,16
1000	1,55	2,47	0,92
1100	1,77	2,02	0,25
1200	3,26	2,07	1,19
IRI	2,05	2,10	0,39

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.29 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 2,5; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Método: Estadístico
Presión en llantas = 40 psi
Coefficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.4 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =3; 40psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	2,36	3,78	1,42
200	2,75	3,13	0,38
300	3,26	4,11	0,85
400	2,02	2,17	0,15
500	1,67	2,06	0,39
600	1,32	1,95	0,63
700	1,61	1,51	0,10
800	1,56	1,64	0,08
900	1,52	2,02	0,50
1000	1,55	2,97	1,42
1100	1,77	2,42	0,65
1200	3,26	2,48	0,78
IRI	2,05	2,52	0,61

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los resultados de la avenida San Luis se observa una similitud en los valores entre MIRA_NIVEL y ABAKAL en la mayoría de las progresivas.

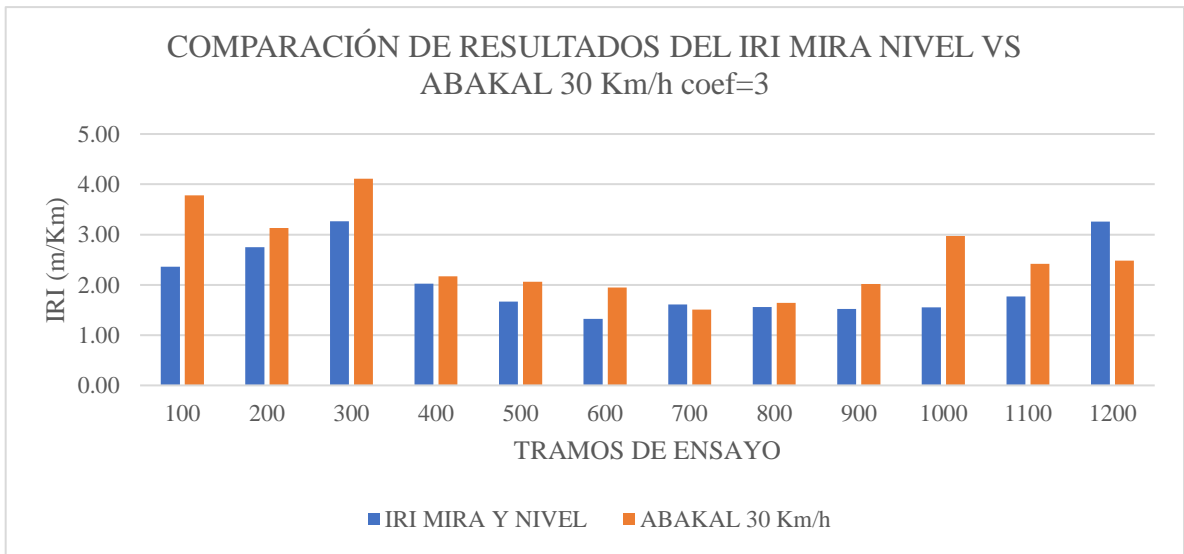
En las primeras progresivas (100, 200 y 300), los valores de MIRA_NIVEL y ABAKAL varían, pero se mantienen cercanos entre sí.

A partir de la progresiva 400, los valores de MIRA_NIVEL y ABAKAL muestran una mayor similitud, con diferencias mínimas entre ellos.

En las últimas progresivas (1000, 1100 y 1200), los valores de MIRA_NIVEL y ABAKAL vuelven a mostrar diferencias, pero siguen siendo relativamente cercanos.

El valor promedio del IRI para MIRA_NIVEL es de 2,05 m/km, mientras que para ABAKAL es de 2,52 m/km. Esto indica que, en promedio, MIRA_NIVEL tiende a mostrar valores ligeramente inferiores al IRI en comparación con ABAKAL.

Figura 3.30 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

4.3 RESULTADOS MERLÍN Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 40PSI

TABLA COMPARATIVA

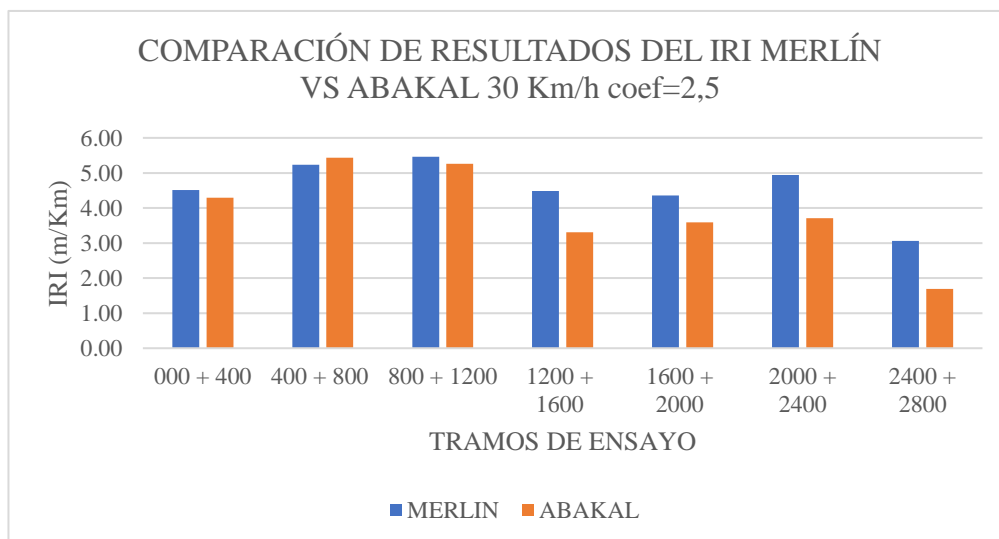
Método: Estadístico
Presión en llantas = 40 psi
Coefficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.5 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef =2,5; 40psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	4,51	4,29	0,22
400 + 800	5,23	5,43	0,20
800 + 1200	5,46	5,26	0,20
1200 + 1600	4,49	3,31	1,18
1600 + 2000	4,36	3,59	0,77
2000 + 2400	4,94	3,71	1,23
2400 + 2800	3,06	1,69	1,37
IRI	4,58	3,90	0,74

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.31 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

TABLA COMPARATIVA

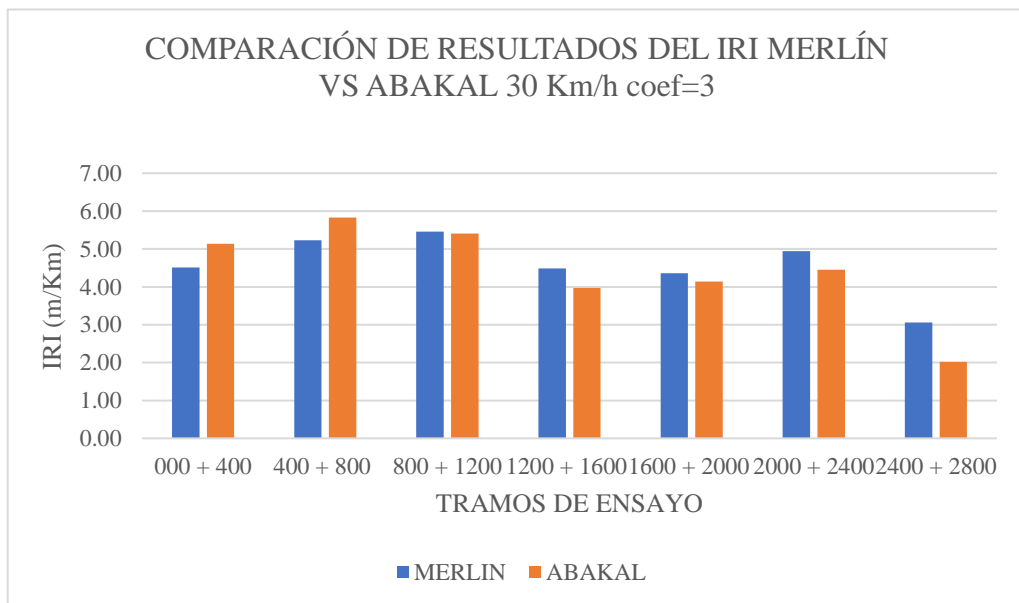
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 40 psi
 Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.6 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi

Progresiva	Merlin	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	4,51	5,14	0,63
400 + 800	5,23	5,83	0,60
800 + 1200	5,46	5,41	0,05
1200 + 1600	4,49	3,97	0,52
1600 + 2000	4,36	4,14	0,22
2000 + 2400	4,94	4,45	0,49
2400 + 2800	3,06	2,02	1,04
IRI	4,58	4,42	0,51

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.32 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados de la tabla comparativa entre los métodos MERLIN y ABAKAL en la avenida Los Molles, a una velocidad de 30 km/h con coeficiente de 3, se pueden realizar las siguientes observaciones:

En las primeras dos progresivas (0+400 y 400+800), los valores de MERLIN y ABAKAL son cercanos entre sí, con una ligera diferencia.

En las siguientes progresivas (800+1200, 1200+1600 y 1600+2000), nuevamente se observa una similitud en los valores, aunque en algunos casos existen diferencias más significativas.

En las últimas progresivas (2000+2400 y 2400+2800), se aprecia una diferencia más notable entre los valores de MERLIN y ABAKAL.

4.4 RESULTADOS MERLÍN Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 40PSI

TABLA COMPARATIVA

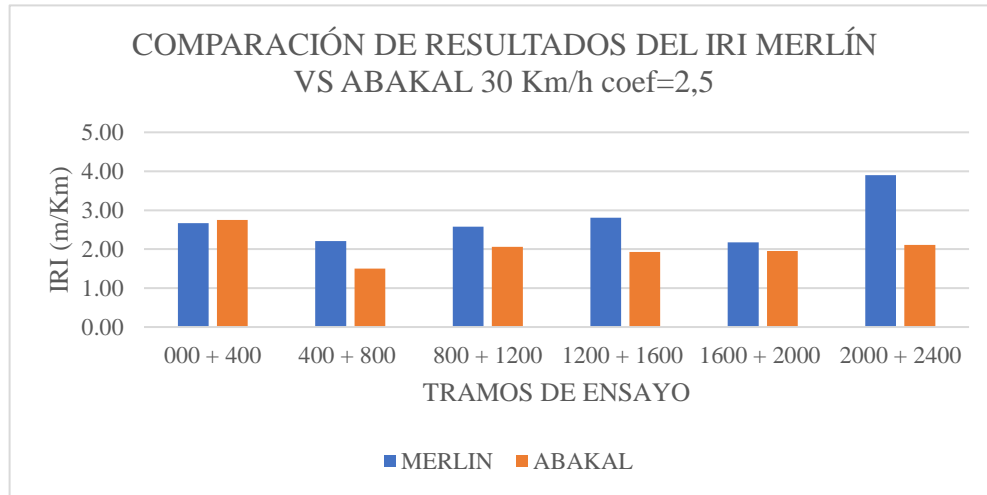
Método: Estadístico
Presión en llantas = 40 psi
Coefficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.7 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef =2,5; 40psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	2,67	2,75	0,08
400 + 800	2,21	1,50	0,71
800 + 1200	2,57	2,06	0,51
1200 + 1600	2,80	1,93	0,87
1600 + 2000	2,17	1,95	0,22
2000 + 2400	3,90	2,11	1,79
IRI	2,72	2,05	0,70

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.33 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

TABLA COMPARATIVA

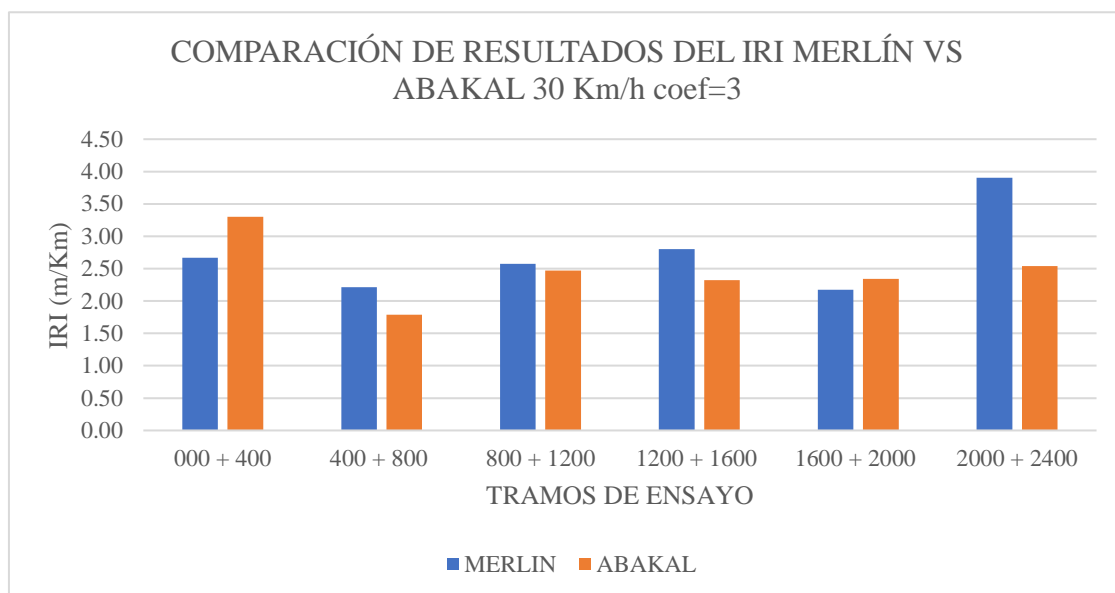
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 40 psi
 Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.8 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0+000 0+400	2,67	3,30	0,63
400 + 800	2,21	1,79	0,42
800 + 1200	2,57	2,47	0,10
1200 + 1600	2,80	2,32	0,48
1600 + 2000	2,17	2,34	0,17
2000 + 2400	3,90	2,54	1,36
IRI	2,72	2,46	0,53

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.34 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Al observar los resultados de la tabla comparativa de la avenida San Luis entre los métodos MERLÍN y ABAKAL, se puede identificar:

En las primeras progresivas (0+400 y 400+800), los valores de MERLIN y ABAKAL son cercanos entre sí, con una diferencia relativamente pequeña.

En la progresiva 800+1200, se mantiene una similitud en los valores, con una diferencia también pequeña.

En las progresivas 1200+1600 y 1600+2000, nuevamente se aprecia una similitud en los valores entre ambos métodos, aunque pueden existir ligeras diferencias.

4.5 RESULTADOS NIVEL_MIRA Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 35PSI

TABLA COMPARATIVA

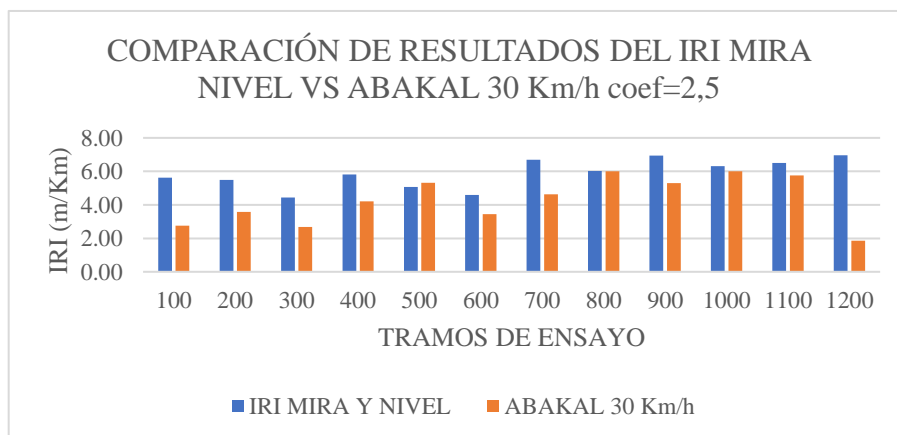
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 35 psi
 Coeficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.9 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 40psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	5,62	2,75	2,87
200	5,48	3,57	1,91
300	4,43	2,68	1,75
400	5,81	4,21	1,60
500	5,07	5,31	0,24
600	4,59	3,44	1,15
700	6,69	4,63	2,06
800	6,02	6,00	0,02
900	6,94	5,29	1,65
1000	6,32	6,00	0,32
1100	6,50	5,76	0,74
1200	6,96	1,85	5,11
IRI	5,87	4,29	1,62

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.35 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

TABLA COMPARATIVA

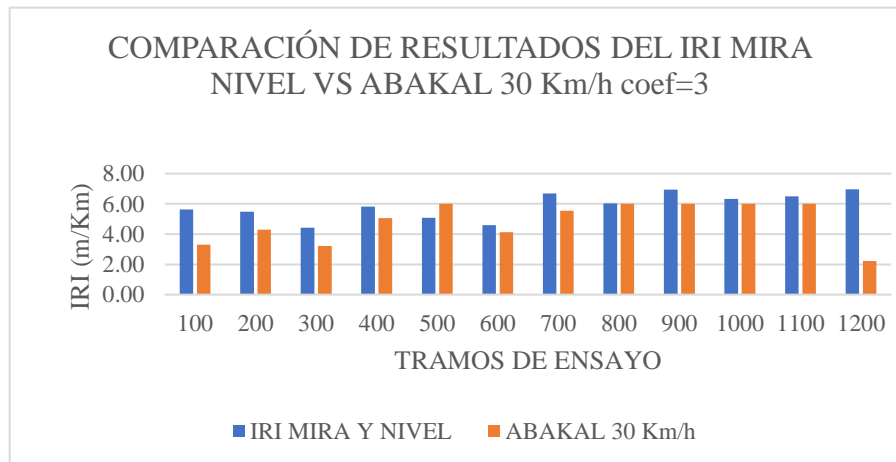
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 35 psi
 Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.10 Resultados Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 35psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	5,62	3,30	2,32
200	5,48	4,29	1,19
300	4,43	3,22	1,21
400	5,81	5,05	0,76
500	5,07	6,00	0,93
600	4,59	4,13	0,46
700	6,69	5,55	1,14
800	6,02	6,00	0,02
900	6,94	6,00	0,94
1000	6,32	6,00	0,32
1100	6,50	6,00	0,50
1200	6,96	2,23	4,73
IRI	5,87	4,81	1,21

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.36 Gráfica Av. Los Molles; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

4.6 RESULTADOS NIVEL_MIRA Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 35PSI

TABLA COMPARATIVA

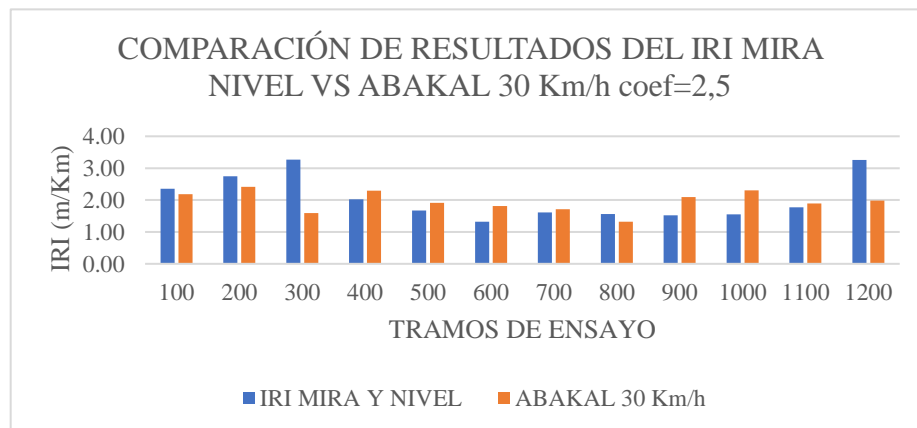
Método: Estadístico
Presión en llantas = 35 psi
Coefficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.11 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =2,5;

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	2,36	2,18	0,18
200	2,75	2,41	0,34
300	3,26	1,59	1,67
400	2,02	2,29	0,27
500	1,67	1,91	0,24
600	1,32	1,81	0,49
700	1,61	1,71	0,10
800	1,56	1,32	0,24
900	1,52	2,09	0,57
1000	1,55	2,30	0,75
1100	1,77	1,89	0,12
1200	3,26	1,98	1,28
IRI	2,05	1,96	0,52

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.37 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 2,5; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

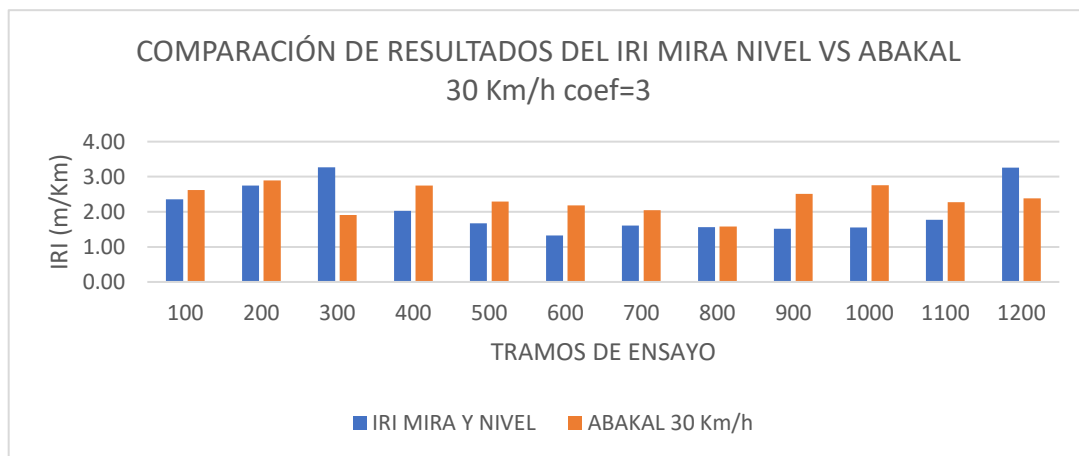
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 35 psi
 Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.12 Resultados Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef =3; 35psi

Progresiva	Mira Nivel	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
0	-	-	-
100	2,36	2,62	0,26
200	2,75	2,89	0,14
300	3,26	1,91	1,35
400	2,02	2,75	0,73
500	1,67	2,29	0,62
600	1,32	2,18	0,86
700	1,61	2,05	0,44
800	1,56	1,58	0,02
900	1,52	2,51	0,99
1000	1,55	2,76	1,21
1100	1,77	2,27	0,50
1200	3,26	2,38	0,88
IRI	2,05	2,35	0,67

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.38 Gráfica Av. San Luis; Mira Nivel/Abakal Coef = 3; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

4.7 RESULTADOS MERLÍN Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 35PSI

TABLA COMPARATIVA

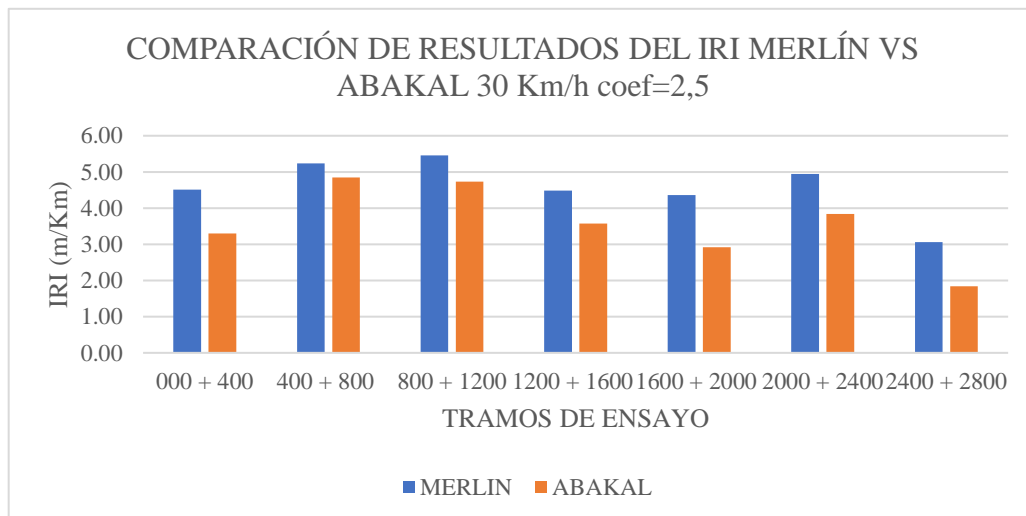
Método: Estadístico
Presión en llantas = 35 psi
Coefficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.13 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef =2,5; 35psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	4,51	3,30	1,21
400 + 800	5,23	4,85	0,38
800 + 1200	5,46	4,73	0,73
1200 + 1600	4,49	3,57	0,92
1600 + 2000	4,36	2,92	1,44
2000 + 2400	4,94	3,84	1,10
2400 + 2800	3,06	1,84	1,22
IRI	4,58	3,58	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.39 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

TABLA COMPARATIVA

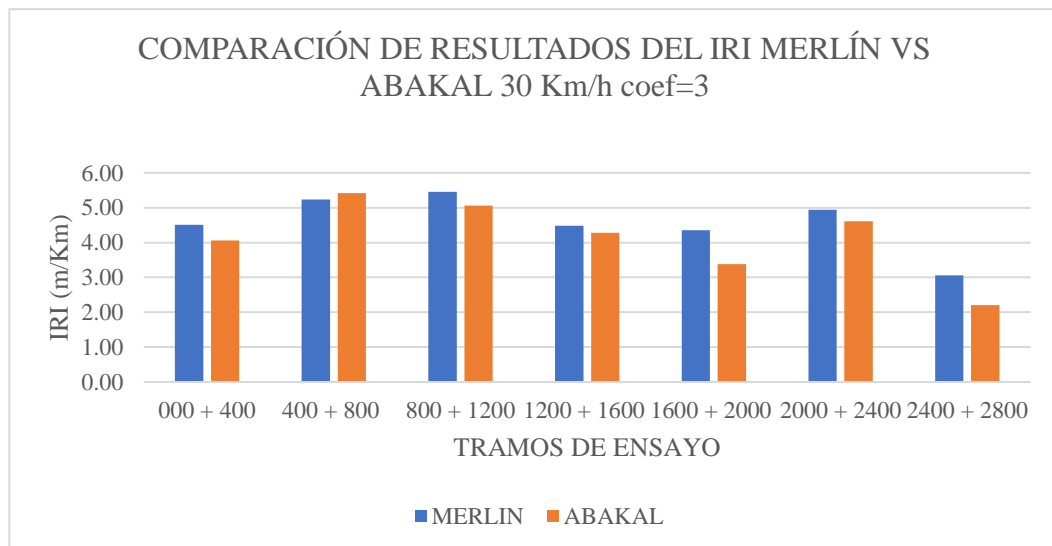
Método: Estadístico
Presión en llantas = 35 psi
Coefficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.14 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	4,51	4,06	0,45
400 + 800	5,23	5,42	0,19
800 + 1200	5,46	5,06	0,40
1200 + 1600	4,49	4,28	0,21
1600 + 2000	4,36	3,38	0,98
2000 + 2400	4,94	4,61	0,33
2400 + 2800	3,06	2,21	0,85
IRI	4,58	4,15	0,49

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.40 Gráfica Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

4.8 RESULTADOS MERLÍN Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 35PSI

TABLA COMPARATIVA

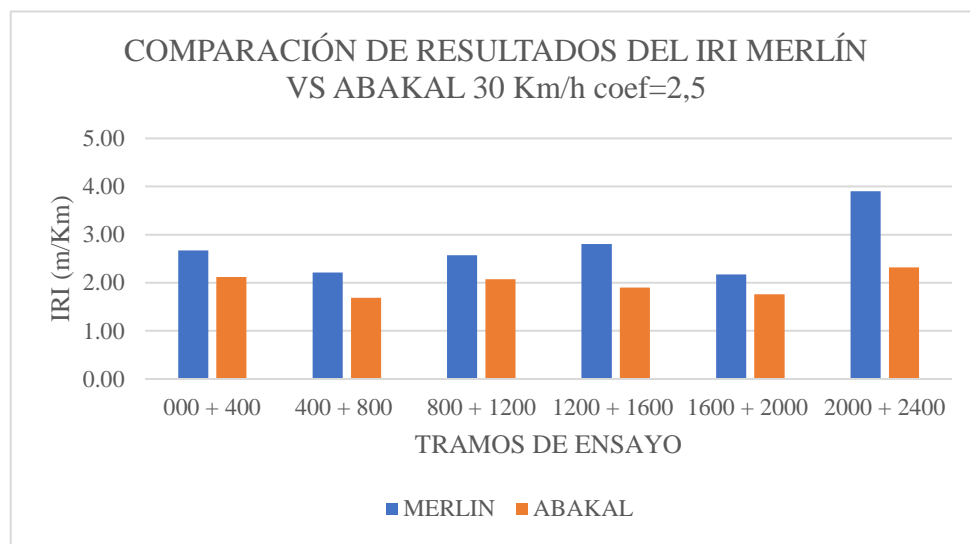
Método: Estadístico
Presión en llantas = 35 psi
Coefficiente de Ajuste = 2,5

Tabla 4.15 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef =2,5; 35psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	2,67	2,12	0,55
400 + 800	2,21	1,69	0,52
800 + 1200	2,57	2,07	0,50
1200 + 1600	2,80	1,90	0,90
1600 + 2000	2,17	1,76	0,41
2000 + 2400	3,90	2,32	1,58
IRI	2,72	1,98	0,75

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.41 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 2,5; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

TABLA COMPARATIVA

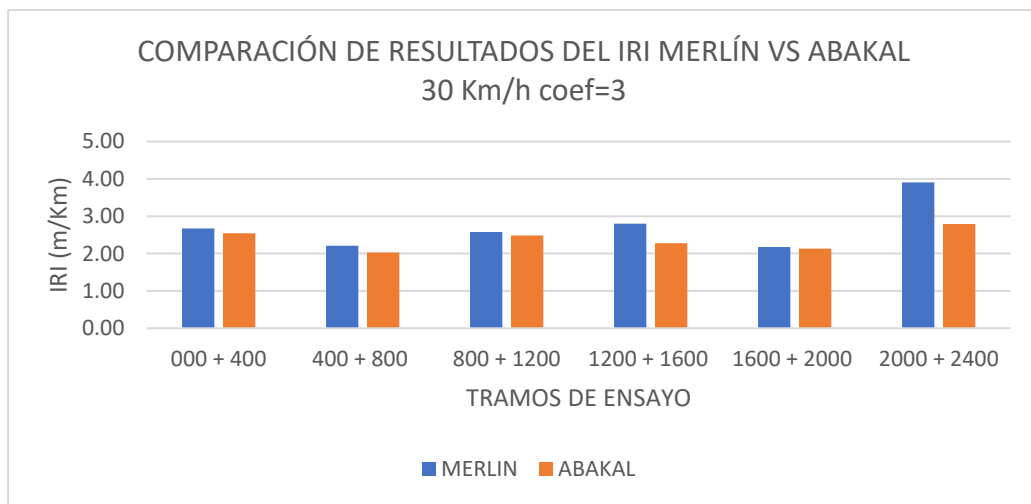
Método: Estadístico
 Presión en llantas = 35 psi
 Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.16 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi

Progresiva	Merlín	Abakal	Diferencia
		30 km/ h	
000 + 400	2,67	2,54	0,13
400 + 800	2,21	2,03	0,18
800 + 1200	2,57	2,48	0,09
1200 + 1600	2,80	2,28	0,52
1600 + 2000	2,17	2,13	0,04
2000 + 2400	3,90	2,79	1,11
IRI	2,72	2,38	0,35

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.42 Gráfica Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 35psi



Fuente: Elaboración propia.

4.9 RESULTADOS PORCENTAJE DE SIMILITUD, MERLÍN Y ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 40PSI

Tabla 4.17 Resultados Av. Los Molles; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi

Progresiva	Merlín	Condición del pavimento	Abakal IRI	Condición del pavimento
000 + 400	4,51	Regular	5,14	Malo
400 + 800	5,23	Malo	5,83	Malo
800 + 1200	5,46	Malo	5,41	Malo
1200 + 1600	4,49	Regular	3,97	Regular
1600 + 2000	4,36	Regular	4,14	Regular
2000 + 2400	4,94	Regular	4,45	Regular
2400 + 2800	3,06	Bueno	2,02	Bueno
IRI Promedio	4,58	Regular	4,42	Regular
Eficiencia				
% De Similitud	96,60 %			

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que, se tiene una eficiencia del método ABAKAL IRI en comparación al método MERLIN del 96.60 %, en los valores de rugosidad entre ambas metodologías, para el Rugosímetro de Merlín, el IRI promedio es de 4.58 (m/km) clasificándose como una condición del pavimento como Regular. y para el Método Abakal IRI es de 4.42 (m/km) clasificándose como una condición de pavimento Regular, en el tramo de estudio.

4.10 RESULTADOS PORCENTAJE DE SIMILITUD, MERLÍN Y ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 40PSI.

Tabla 4.18 Resultados Av. San Luis; Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi

Progresiva	Merlín	Condición del pavimento	Abakal IRI	Condición del pavimento
000 + 400	2,67	Bueno	3,30	Bueno
400 + 800	2,21	Bueno	1,79	Excelente
800 + 1200	2,57	Bueno	2,47	Bueno
1200 + 1600	2,80	Bueno	2,32	Bueno
1600 + 2000	2,17	Bueno	2,34	Bueno
2000 + 2400	3,90	Regular	2,54	Bueno
IRI Promedio	2,72	Bueno	2,46	Bueno
Eficiencia				
% De similitud	90,35 %			

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que, se tiene una eficiencia del método ABAKAL IRI en comparación al método MERLIN del 90.35 %, en los valores de rugosidad entre ambas metodologías para el Rugosímetro de Merlín, el IRI promedio es de 2.72 (m/km) clasificándose como una condición del pavimento como Bueno. y para el Método Abakal IRI es de 2.46 (m/km) clasificándose de la misma manera como una condición de pavimento Bueno.

4.11 RESULTADOS NIVEL MIRA, MERLÍN, ABAKAL AVENIDA LOS MOLLES, 40PSI

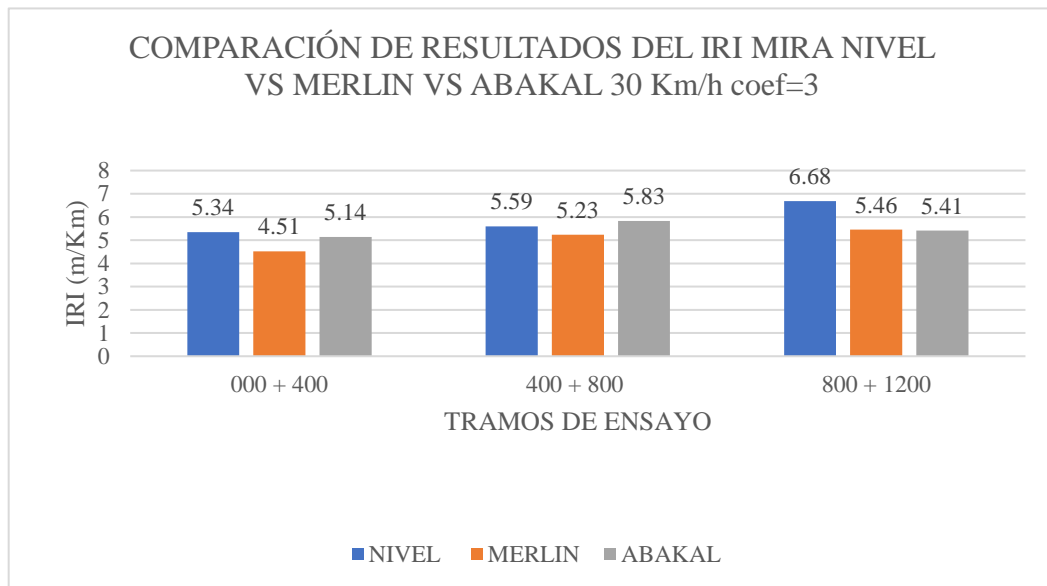
Método: Estadístico; Presión en llantas = 40 psi; Coeficiente de Ajuste = 3

Tabla 4.19 Resultados Av. Los Molles; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi

Progresiva	Nivel	Merlín	Abakal
			30 km/ h
000 + 400	5,34	4,51	5,14
400 + 800	5,59	5,23	5,83
800 + 1200	6,68	5,46	5,41
IRI	5,87	5,07	5,46

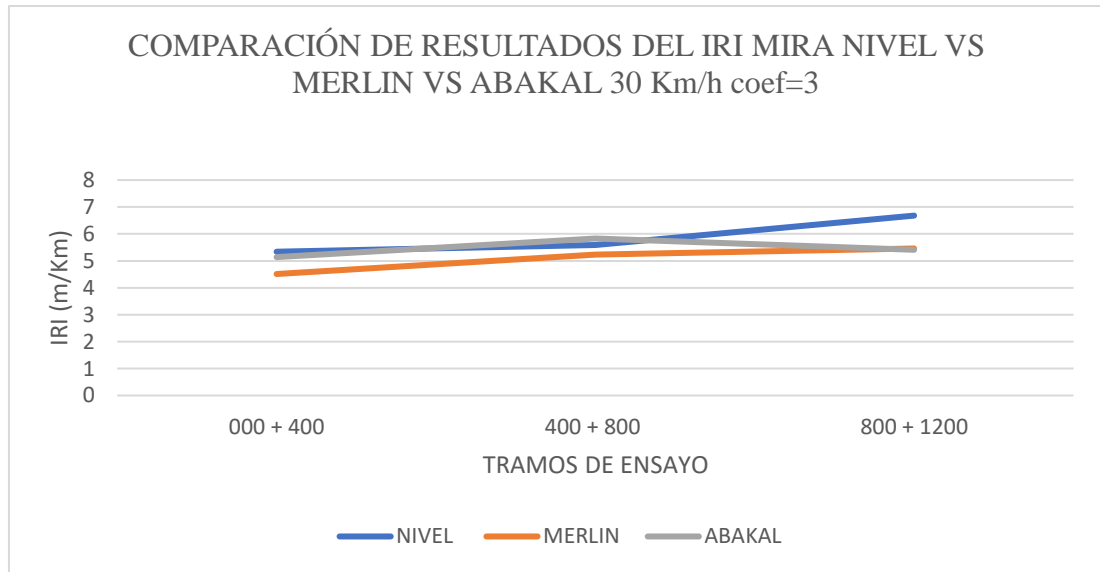
Fuente: Elaboración

Figura 3.43 Gráfica Av. Los Molles; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.44 Gráfica Av. Los Molles; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

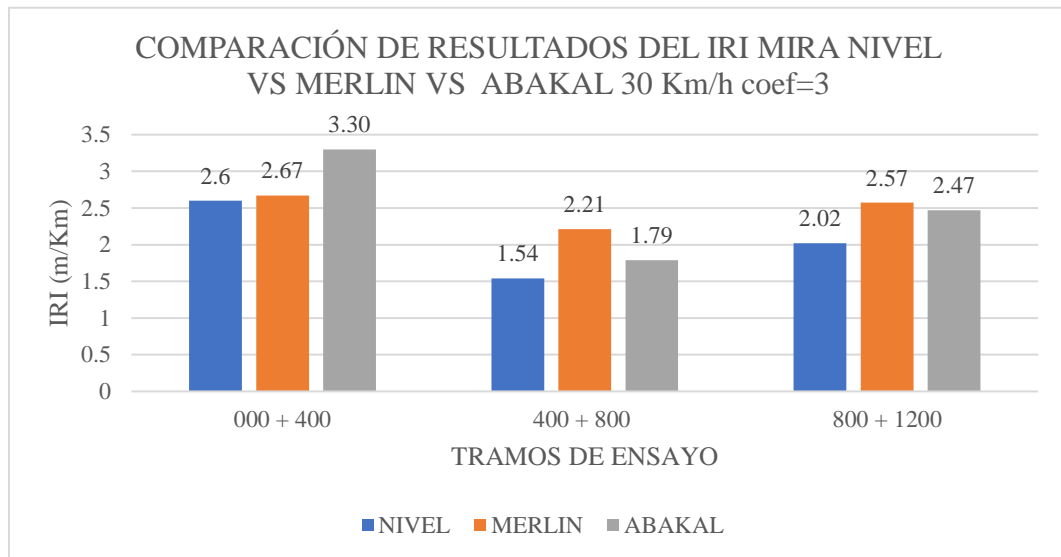
4.12 RESULTADOS NIVEL MIRA, MERLÍN, ABAKAL AVENIDA SAN LUIS, 40PSI

Tabla 4.20 Resultados Av. San Luis; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3;40psi

Progresiva	Nivel	Merlín	Abakal
			30 km/ h
000 + 400	2,6	2,67	3,30
400 + 800	1,54	2,21	1,79
800 + 1200	2,02	2,57	2,47
IRI	2,05	2,49	2,52

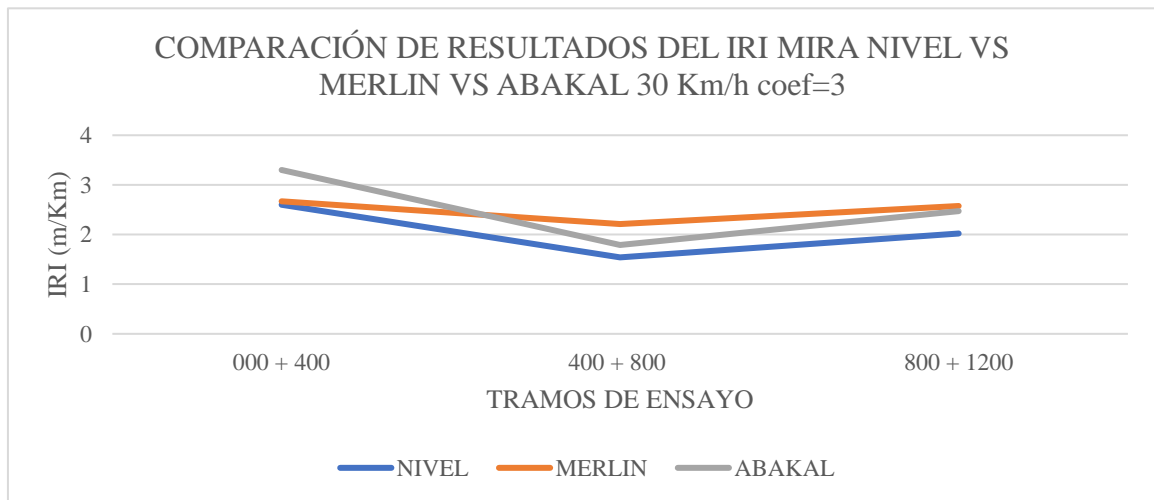
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.45 Gráfica Av. San Luis; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.46 Gráfica Av. San Luis; Nivel/Merlín/Abakal Coef = 3; 40psi



Fuente: Elaboración propia.

Se compararon las mediciones del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando un vehículo a diferentes presiones de llantas, que, observando los resultados de las tablas anteriores, a presiones de 35 psi y 40 psi. Se determinó que los valores aproximados a los reales del IRI, se obtuvieron a una presión de llanta de 40 psi, un coeficiente de ajuste igual a 3 y a una velocidad constante de 30 km/h.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2 CONCLUSIONES

- El Pavimento en las avenidas Los Molles, en las mayorías de sus tramos presenta fallas superficiales las cuales afectan su uso, y la avenida San Luis se encuentra en buen estado, ambas avenidas fueron analizadas su serviacibilidad mediante las metodologías del Iri.
- Realizada la evaluación se logró determinar que la velocidad y la presión de las llantas tienen un efecto significativo en las mediciones del índice de rugosidad utilizando Abakal Iri, porque a una mayor velocidad, el tiempo de contacto entre la llanta y la superficie del pavimento reduce. Una presión inadecuada puede afectar la estabilidad y el contacto del vehículo con el pavimento, si la presión de la llanta es demasiado baja, el neumático puede deformarse más, lo que aumentaría la sensación de rugosidad. Una presión demasiado alta, el neumático puede no deformarse lo suficiente para adaptarse a las pequeñas imperfecciones del pavimento, lo que podría resultar en mediciones de IRI más bajas de lo esperado.
- Los resultados de Rugosidad en la avenida Los Molles 2.8km, se obtuvo un Iri de 5.87 m/km, para la Mira nivel y 5.46 m/km para el Abakal, clasificándose ambos como una condición de pavimento mala. Según el manual de la ABC. Para la avenida San Luis 2.4km, se obtuvo los siguientes valores, 2.05m/km con Mira y nivel, y 2.52 m/km con el Abakal, clasificándose ambos como una condición de pavimento buena, según el manual de la ABC.

Los resultados de Rugosidad en Ambas avenidas con el Rugosímetro de Merlín y Abakal, se obtuvo en la Avenida Los Molles, 4.58 m/km Merlín y 4.42 m/km para el Abakal, condición de pavimento Regular en ambos casos. Avenida San Luis, 2.72 m/km Merlín y 2.46 m/km Abakal, lo que nos da una condición de pavimento buena, según el Manual de la ABC.

- La precisión de las mediciones realizadas con las metodologías. (Merlín y Abakal IRI) es alta, ya que los valores del Índice de Rugosidad Internacional. muestran una coherencia en las diferentes condiciones del pavimento. Como se indica en las Tablas (4.17) y (4.18).

La eficiencia del proceso de medición se refleja en el alto porcentaje de similitud del IRI promedio obtenido con ambos dispositivos, que alcanza el 96,60%. En la Av. Los molles y 90,35% en la Av. San Luis, Esto indica que los resultados de Abakal IRI son altamente comparables con los del rugosímetro Merlín. Lo que sugiere que ambos dispositivos son igualmente eficaces.

Se requiere la calibración del Abakal Iri, con alguna metodología tradicional, se han estos el rugosímetro de Merlín o la mira nivel. En comparación con el rugosímetro de merlín, se requiere un mayor cuidado del personal; ambas metodologías requieren un análisis del tráfico y obstáculos presentes en las vías.

- Se realizó el presupuesto para la implementación de las tres metodologías. Para la Mira Nivel, costó 2700 bs/km; para el rugosímetro de Merlín, 1280 bs/km y por último para emplear el Abakal Iri nos da 45,36 bs/km. Lo que nos da a entender que el Abakal Iri es más económico y por ende se incentiva su uso en la práctica profesional.

5.3 RECOMENDACIONES

- Establecer parámetros claros y estandarizados para la velocidad y la presión de llantas durante las mediciones con el fin de obtener resultados consistentes y comparables.
- Se sugiere la implementación de mejoras técnicas y el establecimiento de procedimientos de mantenimiento y calibración periódica de los equipos para optimizar su uso y garantizar la detección precisa.
- Realizar un análisis de costo-beneficio específico a fin de tomar decisiones informadas sobre su implementación.
- Recolectar los datos para el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), durante las primeras horas de la mañana porque habrá poco tráfico vehicular en ese momento, lo que podrá facilitar alcanzar la velocidad constante de 80 km /h como lo recomienda el desarrollador del software. Sin embargo, se podrá estudiar otras velocidades.
- Considerar la velocidad y la presión de las llantas, al utilizar Abakal IRI para medir la rugosidad de las vías, se debe tener en cuenta esta influencia de la velocidad y la presión de las llantas en las medidas.
- Durante la toma de datos en las avenidas, es necesario tomar en cuenta las medidas adecuadas de seguridad.
- Continuar investigando nuevas técnicas de medición, la optimización de procesamiento de datos y la incorporación de mejoras del equipo.

