

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Nuestro país enfrenta una serie de problemas o fallas en los pavimentos que en cierta forma son factores que van obstaculizando tanto al transporte como a la sociedad al no brindar seguridad y comodidad.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un parámetro estandarizado que representa las características de rugosidad en los pavimentos a partir del perfil longitudinal obtenido por la medición de las cotas en las huellas del camino, el IRI ha sido el indicador de rugosidad aceptado mundialmente para determinar la calidad de pavimentos en términos de comodidad y confort para el usuario.

El nivel de servicio es la medida de la calidad del flujo vehicular, ya que es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo vehicular, estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad y la seguridad vial.

El trabajo de aplicación lleva a cabo una evaluación de metodologías para determinar el IRI con énfasis de funcionalidad y aplicable a través de un proceso de evaluación que permita dar un buen resultado, y la influencia que tiene el nivel de servicio que presenta cada tramo seleccionado, tres en la provincia Cercado, uno en la provincia Avilés y uno en la provincia Méndez del departamento de Tarija, realizando una inspección visual y los correspondientes métodos para determinar el IRI y establecer el estado en el que se encuentran el pavimento en los diferentes tramos estudiados.

Para llevar adelante esta evaluación se realizará tres metodologías para la determinación del coeficiente IRI (Índice de rugosidad Internacional):

El software denominado INPACO, para tal efecto aplicaremos el nivel de ingeniero, con el fin de obtener las cotas del perfil de la superficie del pavimento, pues estos son esenciales para la ejecución del programa.

El método del rugosímetro de Merlín siendo este un instrumento versátil sencillo y económico que según la clasificación del Banco Mundial tiene mayor exactitud en sus resultados.

El método de la aplicación ROADROID, una necesidad de aplicar consistentemente tecnologías nuevas para la evaluación de pavimentos y que la tecnología a nivel de consumidor puede ser una plataforma adecuada para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Se procederá a realizar el aforo de volúmenes de tráfico para calcular la capacidad vehicular y así poder conocer el nivel de servicio que presenta cada tramo.

Con los resultados obtenidos definiremos en que características de nivel de servicio y condición del pavimento se encuentran los tramos en estudio.

El aporte se fundamenta en la importancia de conocer y evaluar las ventajas técnicas de las diferentes metodologías para determinar el IRI en esta evaluación, que nos brinda la información actual del estado del pavimento y las posibles acciones de mantenimiento.

El buen estado de la infraestructura de un tramo carretero resulta vital para la eficiencia del transporte, el cual influye en lo económico y así también es de mucha importancia para el usuario ya que le brinda desplazamientos rápidos, cómodos, económicos y sobre todo seguridad.

La finalidad de esta evaluación es determinar el IRI y la influencia que presenta el nivel de servicio en el pavimento de los diferentes tramos estudiados.

1.2. Justificación del proyecto de aplicación

En la actualidad, se evidencia que en algunas carreteras fundamentales como también calles céntricas del departamento de Tarija sufren deterioro en el pavimento, esto es visible en la capa de rodadura, el mal estado del pavimento flexible hace que un viaje por una carretera sea una mala experiencia y la perspectiva de comodidad del usuario es pésima, que son causados por muchos factores como ser el tráfico vehicular y la rugosidad superficial que presentan estos pavimentos.

Esto repercute en el deterioro de sus vehículos o retrasos para sus centros de trabajo, es por ello, que se debe tener en cuenta el nivel de servicio de un pavimento y su influencia que presenta en el índice de rugosidad para luego llevar a un adecuado mantenimiento periódico y rutinario.

Se menciona que las vías se encuentran con un nivel de deterioro elevado y presenta tres factores que se ven afectados:

- La comodidad y la seguridad del viaje se ven afectadas.
- Los costos de operación y los tiempos de viaje de los vehículos que utilizan la carretera aumentan sensiblemente.
- La inversión en las vías aumenta, pues los procesos de reposición que se requieren cuando los pavimentos han alcanzado un nivel de deterioro extremo, son mucho que cuando el mantenimiento se realiza oportunamente.

La importancia de esta evaluación radica en la profundización del estudio de cada tramo, determinando el IRI estableciendo el estado actual del pavimento, para tener un conocimiento de las condiciones funcionales de las vías, que aporte a la entidad pública como: administradora boliviana de carreteras (ABC), Dirección de administración vial (DAV) con la finalidad que se realice un mantenimiento en las vías y así evitar accidentes y brindar seguridad y comodidad a los usuarios.

La evaluación del nivel de servicio de pavimentos en los diferentes tramos se realiza por el estado de deterioro en que se encuentra la vía esto supone mayor conocimiento de las condiciones funcionales de la vía en estudio.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

Hace referencia a la necesidad de aplicar diferentes métodos que nos permitan la calificación de la rugosidad superficial de los pavimentos, de una manera eficaz y económica, ya que todos los pavimentos sufren procesos de degradación, esto puede ser visible en la capa de rodadura impidiendo así desplazamientos rápidos y expeditos,

afectando a la población, lo cual repercute en el deterioro de sus vehículos, retrasos para sus trabajos y lo más importante la seguridad lo cual puede ocasionar accidentes.

Es por ello que se debe tomar en cuenta el nivel de servicio de un pavimento en consideración a su índice de rugosidad, para tal efecto existen técnicas para el mantenimiento periódico y rutinario de las carreteras.

En la red vial es necesario contar con un control de calidad eficiente con el que tenga la historia de las obras y saber si en la construcción se cumplió el proyecto en forma parcial o total y si hubo deficiencia grave en alguna intervención en la etapa de conservación.

Con dicho control, también es posible conocer el tipo de rehabilitaciones que se realicen, así como en el incremento del tránsito en número y cargas, con lo cual se pueden hacer los ajustes racionales y necesarios a la tecnología del proyecto y aún a la calidad de los materiales que se usen.

Para identificar qué técnicas de mantenimiento y reparación son las adecuadas para mejorar el servicio del pavimento; se debe en primer lugar, evaluar la vía y conocer el estado real en que se encuentra. Para ello, existen varios métodos de evaluación superficial de pavimentos, uno de ellos es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que va a ser estudiado y aplicado en el presente estudio.

Aplicaremos tres métodos para evaluar la rugosidad en la que se encuentra el pavimento.

En los tramos elegidos no existe un estudio de su estado actual razón por lo cual este tema es una propuesta destinada a verificar si este pavimento aún puede soportar cargas de tráfico o es posible alargar su vida útil para ello se utilizarán tres métodos en cada tramo para obtener con mayor precisión y comparar los resultados de cada método y así obtener el índice de rugosidad del pavimento y conocer la condición en la que se encuentra y la influencia que tiene en el nivel de servicio.

Se podrá verificar si estos tramos estudiados requieren un mantenimiento, así mismo será de interés para investigaciones futuras de esta temática.

1.3.2. Problema

Analizando la situación problemática podemos expresar el siguiente problema:

¿Cómo influye el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) determinado por diferentes métodos, en los tramos de pavimento flexible del departamento de Tarija en el Nivel de servicio?

1.4. Objetivos de proyecto de aplicación

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar las metodologías para determinar el índice de rugosidad internacional en tramos de pavimento flexible del Departamento de Tarija, y verificar su influencia en el nivel de servicio.

1.4.2. Objetivo específico

- Describir los procesos metodológicos que se realizan para determinar el índice de rugosidad internacional aplicables a los pavimentos flexibles.
- Establecer los tramos de estudio donde se determine el índice de rugosidad internacional con las tres metodologías.
- Determinar el índice de rugosidad internacional aplicando tres métodos en los tramos en estudio.
- Recopilar información para encontrar el volumen y capacidad vehicular.
- Realizar el aforo de volúmenes de tráfico para determinar la capacidad vehicular y nivel de servicio en los diferentes tramos en estudio.
- Clasificar según los resultados obtenidos la condición actual del pavimento en los diferentes tramos de estudio y verificar la influencia en el nivel de servicio.
- Establecer resultados, conclusiones y recomendaciones sobre los tramos en estudio

1.5. Hipótesis

Si se hacen mediciones en campo del IRI con tres metodologías: Nivel de Ingeniero, Rugosímetro de Merlín y la aplicación ROADROID y se realiza un aforo vehicular para determinar el nivel de servicio de un tramo carretero con pavimento flexible, entonces se podrá verificar si existe una influencia del IRI en el nivel de servicio.

1.6. Definición de variables independientes y dependientes

1.6.1. Variable independiente

- Índice de rugosidad internacional (IRI), mediante los cuales son medidos por tres métodos:
 - Mira y Nivel de Ingeniero
 - Rugosímetro de Merlín
 - Aplicación ROADROID
- Nivel de servicio.

1.6.2. Variable dependiente

- Estado actual del pavimento flexible.

1.6.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla N° 1 Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Conceptualización	Proceso	Medición	Unidad
Independiente				
Índice de rugosidad internacional (IRI)	El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un parámetro estandarizado que representa las características de rugosidad superficial en los pavimentos.	Nivel de ingeniero y mira más un programa INPACO	Se toma 100 m del tramo en estudio se lo divide en 0,5 m se toma los puntos por donde pasa la rueda de vehículo y se obtiene las cotas en los cuatro puntos, para luego introducirlos al programa INPACO y obtener el valor del IRI.	La unidad de medida del indicador de estado será m/km
		Rugosímetro de merlín	Se tomará todo el tramo se lo dividirá cada 400 m de longitud se sacará las lecturas en las huellas de cada carril de la vía en cada sentido, las lecturas obtenidas se las anotará en un formato de campo se realizará a una velocidad promedio de 1km/h	Su unidad de medida será m/km
		Aplicación ROADROID	<p>* Se seleccionará un Smartphone de alta gama disponible en el mercado regional.</p> <p>* Se seleccionará un vehículo de características mecánicas óptimas de tamaño mediano se debe mantener una velocidad entre 50 m/s a 80m/s.</p> <p>* Se usará un montaje de ventana ya que brinda más estabilidad al Smartphone.</p>	Su unidad de medida será m/km

Dependiente				
Estado actual del pavimento flexible.	Un pavimento es una estructura constituida por capas de materiales cuya función es permitir la operación rápida, cómoda y segura de los vehículos en una carretera.	Mediante el índice de rugosidad internacional IRI lo cual evalúa el estado de la superficie del pavimento, en qué condiciones se encuentra el pavimento.	Se define de acuerdo al valor del resultado del IRI de cada método aplicado.	<ul style="list-style-type: none"> • Bueno • Regular • Malo • Muy malo

Fuente: Elaboración propia

1.7. Alcance

El alcance del presente estudio está referido a la evaluación de las metodologías para determinar el índice de rugosidad internacional y su influencia en el nivel de servicio.

Por lo cual se realizará una inspección visual de cada tramo para tener una referencia del estado de la rugosidad del pavimento y las circunstancias que puede pasar al momento de empezar la evaluación, se tiene como finalidad aplicar tres métodos para recolectar toda la información necesaria para realizar el estudio de determinación del índice de rugosidad internacional, y posteriormente realizar un análisis comparativo de los métodos empleados, de tal manera que el análisis del valor del índice de rugosidad internacional nos permita verificar su influencia en el nivel de servicio en cada tramo en estudio.

En el primer capítulo inicialmente se describen los aspectos importantes del estudio, nos servirá de base para el conocimiento en general sobre el tema en estudio y cada uno de sus puntos importantes sobre el conocimiento del problema a solucionar, los objetivos y alcances del estudio. Además de los medios que se utilizaran y la metodología que se seguirá en la aplicación práctica.

Posteriormente en el siguiente capítulo se procederá a desarrollar el fundamento teórico del estudio, se determinará los conceptos más relevantes con referencia al tema de estudio, conceptos que colaboren y corroboren los objetivos propuestos del proyecto. En tal sentido se desarrollará desde los tipos de pavimento y sus componentes, la evaluación del pavimento, haciendo énfasis en lo que respecta a la evaluación superficial, y dentro de ella en la evaluación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional). Por otra parte, como establece nuestro objetivo es importante desarrollar la metodología para el cálculo del índice de rugosidad internacional.

En forma teórica como fundamento se describirán los diferentes equipos y sus metodologías para medir el índice de rugosidad internacional.

El capítulo de aplicación práctica debido a que es nuestro objetivo realizar la aplicación cuya realización de cada uno de los puntos para la determinación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional), en este trabajo se inicia con la ubicación de los tramos de estudio para luego realizar una inspección visual de la superficie del pavimento, para luego

procesar esa información para determinar el índice de rugosidad internacional que nos proporcionan la información de campo, lo cual también se realizará un aforo en cada tramo durante un determinado tiempo para obtener el volumen y capacidad vehicular y determinar el nivel de servicio de cada tramo.

Finalmente establecemos las conclusiones y recomendaciones a las que estará referido nuestro estudio serán producto de lo obtenido en todo el estudio realizado a lo largo del desarrollo de cada uno de los puntos tratados en cada fase del proyecto.

CAPÍTULO II

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y NIVEL DE SERVICIO

2.1. Pavimentos

Un pavimento es una estructura constituida por capas de materiales cuya función es permitir la operación rápida, cómoda y segura de los vehículos en una carretera. (Acosta, 2015)

Figura N° 1 Capa de materiales encontrados al excavar un pavimento



Fuente: Corro, 1992

2.1.1. Pavimentos flexibles

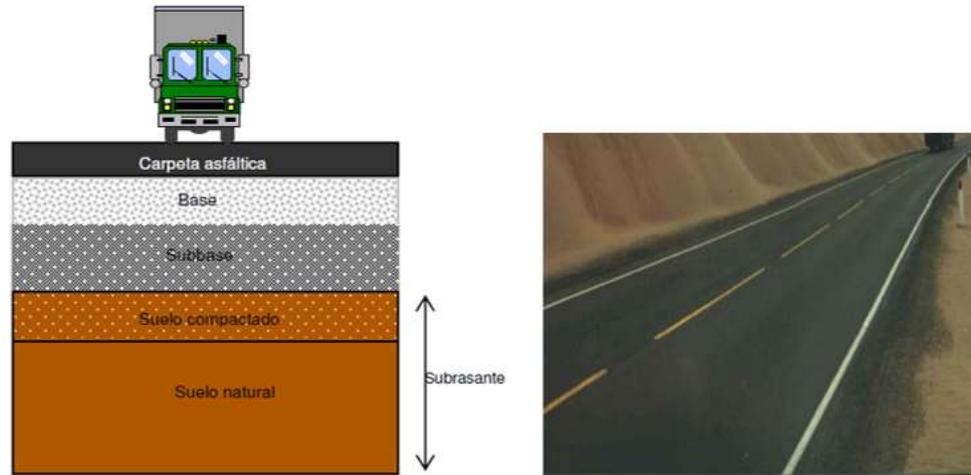
Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. (Zambrano,2019)

Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa¹.(Guerrero,2019)

¹ Calderón Guerrero, L., J. (2019, 6 de junio). Historia y tipos de pavimentos. Likendin. <https://es.linkedin.com/pulse/historia-y-tipos-de-pavimentos-luis-javier-guerrero-calderon>

Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y súbbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

Figura N° 2 Estructura de un pavimento flexible



Fuente: Corro, 1992

Carpeta asfáltica

Es un material aglomerante de color oscuro, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre, denominados Asfaltos Naturales, o por medio de procesos de destilación industrial cuyo componente predominante es el Bitumen.

Los asfaltos destilados del petróleo son producidos ya sea por destilación por vapor o sopladados.

La destilación por vapor produce un excelente asfalto para pavimentos, mientras que el producto de destilación por aire o soplado tiene una escasa aplicación en pavimentación.²

Obtención y tipos

Según el origen del petróleo crudo la composición de base se divide en:

² Álzate, J., A. (2020). Pavimentos flexibles. Scribd
<https://www.scribd.com/document/444902048/PAVIMENTOS-FLEXIBLES>

- Base Asfáltica
- Base Parafínica
- Base Intermedia

Los asfaltos de base asfáltica, es decir, asfaltos obtenidos de petróleos asfálticos, son más deseables para pavimentación, ya que tienen buenas características ligantes y de resistencia al envejecimiento por acción del clima.

Los asfaltos de base parafínica, se oxidan lentamente expuestos a la intemperie, dejando un residuo escamoso y de poco valor como ligante. (Miranda, 2020)

Base

La base es la capa situada debajo de la carpeta (pavimento flexible). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante.

Sub- Base

En los pavimentos flexibles, la subbase es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento. Cuando se trate de un pavimento rígido, esta capa se ubica inmediatamente abajo de las losas de hormigón, y puede ser no necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte.

Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una acción drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales usados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria.

Esta capa no debe ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las máquinas pavimentadoras. En los casos que el tránsito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa subrasante.

Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.

Subrasante

Esta capa debe ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento. Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento. Proporciona en nivel necesario para la subrasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes.

Con respecto a los materiales que constituyen la capa subrasante, necesariamente deben utilizarse suelos compactables y obtener por lo menos el 95% de su grado de compactación.³

2.2. Evaluación de pavimentos

Las vías terrestres se planean y se construyen para que estén en servicio un determinado número de años (como mínimo), que se llama vida útil de la obra.

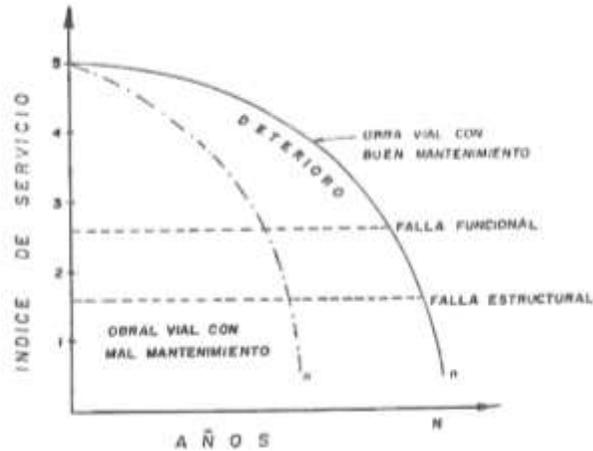
Al estar en operación una obra vial, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra vial, que aceleren su falla, por lo que para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

El deterioro que se va teniendo en las obras viales, se va observando y se le asigna una calificación, dándole un valor de 1 a 5 que se llama índice de servicio. Cuando una obra se pone a funcionar, recién construida, debe tener una calificación entre 4,5 y 5, la cual va

³ Valdivia Rebolledo, R., J. (2010). Deterioros en pavimentos Flexibles y rígidos. Cybertesis <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>

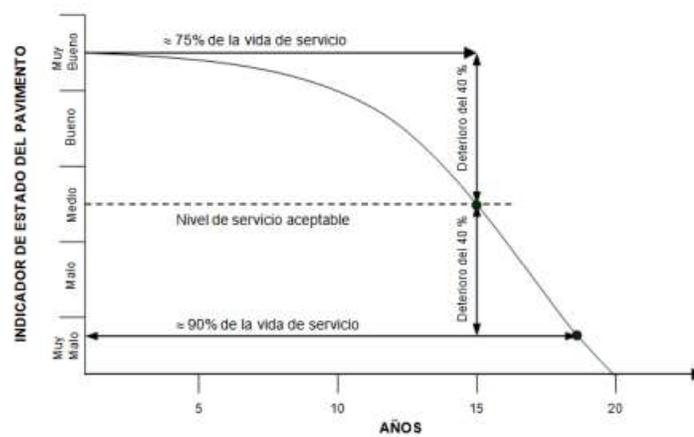
disminuyendo conforme pasa el tiempo (n), y según el tipo de mantenimiento que este tenga.⁴

Figura N° 1 Índice de servicio



Fuente: Curva de deterioros en las obras viales a través del tiempo

Figura N° 2 Ejemplo de evaluación del índice de estado de un firme



Fuente: La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro

La evaluación de pavimentos es una tarea muy importante, que cada institución dedicada al mantenimiento y conservación de las vías (camino, calles, autopistas) debe realizar, con el único propósito de detectar las posibles fallas o anomalías que pudiera

⁴ Buenrostro Chang, J., L. (2020, 12 de mayo). Conservación de pavimentos flexibles. Scribd. <https://es.scribd.com/document/461069474/3-7-Conservacion-de-pavimentos-flexibles-1>

presentar una determinada vía, para luego ver la mejor alternativa de solución en caso de necesitarla, de tal forma poder seguir dando una continuidad de operación a dicha vía.⁵

2.2.1. Evaluación superficial

El trabajo de la evaluación superficial de un pavimento flexible, implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento, vale decir la capa asfáltica, desde el momento que este pavimento se pone en servicio.

Este tipo de evaluación debe basarse en:

- Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.
- Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

Por otro lado, se debe tener en cuenta una inspección visual continua, porque un pavimento flexible no falla instantáneamente, sino que su deterioro va aumentando en forma continua.

Con una inspección visual sistemática se detecta las fallas existentes en la superficie del pavimento, dichas fallas pueden ser originadas por solicitaciones de los vehículos, fallas constructivas y por efectos climáticos.⁶

2.3. La rugosidad

La rugosidad de la superficie del pavimento, significa que esta presenta asperezas, arrugas o desigualdades en su superficie.

Cuando el conductor se encuentra en el interior de su automóvil, se pone en marcha el vehículo, al avanzar este sobre la carretera, se desplaza hacia su destino, y también se mueve hacia arriba y hacia abajo. El movimiento vertical no deseado es consecuencia de:

⁵ Miranda Shimura, K. (2015). Aplicación de un modelo para la determinación del índice de rugosidad internacional con base en daños superficiales de pavimento. UAJMS.

https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=6155

⁶ Sivila Montes, G., I. (2017). Evaluación superficial y estructural tramo Tomatitas – La Victoria. UAJMS.

https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=14654

- Las rugosidades de la carretera.
- La magnitud del movimiento en función de las características y velocidades del vehículo.
- La magnitud de las rugosidades de la carretera.

Si la carretera está muy mal, tiene mucha rugosidad, el usuario se mueve mucho y opina que la carretera está mal.

Si la carretera está bien, con poca rugosidad, el usuario se mueve poco, se siente más cómodo y piensa que la carretera es buena.

El ejemplo anterior, para su mejor análisis de cuál sería una rugosidad aceptable, o cual es perjudicial al conductor como al pasajero, se debe determinar primeramente esta rugosidad.

Las mediciones de rugosidad de una carretera se efectúan por varias razones, entre ellas se tienen:

- Relaciona la rugosidad con la calidad de servicio que se prevé, constituyéndose en un buen parámetro para ser usado en la evaluación del comportamiento de un pavimento y los niveles de servicio de los usuarios.
- Los costos de operación de los vehículos son relacionados a la rugosidad de la superficie del camino: por lo tanto, muchos análisis económicos relacionados al ciclo de rehabilitaciones, requerimientos de conservación puede ser objetivamente evaluados si se dispone de la medida de la rugosidad de una carretera. A ello debe agregarse la evaluación estructural para decidir cuándo corresponde una rehabilitación para rescatar un valor remanente de la carretera.
- La rugosidad afecta a la seguridad de una carretera, esta es otra consideración que hay que tomar en cuenta para la toma de decisiones sobre programas de mejoramiento.⁷

⁷ Choque Duran, E., H. (2017). Estudio de patologías de pavimentos rígidos en calles urbanas, aplicado a la Localidad de Entre Ríos. UAJMS.
https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=14618

2.3.1. Índice de rugosidad internacional

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un parámetro estandarizado que representa las características de rugosidad superficial en los pavimentos a partir del perfil longitudinal obtenido por la medición de las cotas en las huellas del camino. (Torres, 2020)

Durante años, el IRI ha sido el indicador de rugosidad aceptado mundialmente para determinar la calidad de pavimentos en términos de comodidad y confort para el usuario.

Al igual que en otros países, se han establecido umbrales de IRI como uno de los parámetros más importantes en la evaluación de niveles de servicio exigibles en carreteras concesionadas y caminos sujetos a contratos de conservación.

Dadas las características geográficas, la infraestructura vial se desarrolla atravesando zonas de cordillera, caracterizadas por una topografía de pendientes pronunciadas y geometría restringida, que se traducen en un perfil geométrico longitudinal irregular y de alineamiento horizontal sinuoso. Desde el punto de vista del IRI, estas condiciones geométricas se manifiestan en valores de IRI típicamente altos, independientemente de la condición del pavimento o técnica constructiva de la plataforma, definiendo sectores singulares que tendrán valores elevados de IRI debido solamente al diseño geométrico.

Esta problemática ha sido observada empíricamente en mediciones de IRI realizadas en caminos de geometría accidentada, aunque puede ser evaluada desde un punto de vista analítico a partir de la aplicación del modelo de IRI sobre el perfil longitudinal teórico correspondiente al diseño geométrico del camino.⁸

⁸ Torres, J. (2020, 29 de junio) IRI pavimentos. Scribd
<https://www.scribd.com/document/467309641/iri-pavimentos>

Figura N° 3 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos



Fuente: Jornadas sobre la calidad en el proyecto y la construcción de carreteras

Tabla N° 2 Índice de rugosidad internacional según el tipo de carretera

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el período de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: Carreteras de IMDA Mayor de 6000 veh/día, de calzada separadas, Cada una con dos o más carriles	2,00	2,50	3,50	Rugosidad característica, para una confiabilidad del 95%
Carretera Duales carreteras de IMD entre 6000 y 4001 veh/día, de calzada separadas, cada una con dos o más carriles	2,00	2,50	3,50	Rugosidad característica, para una confiabilidad del 95%
Carretera de Primera Clase: carreteras con un IMD entre 4000 - 2001 veh/día de una calzada de dos	2,50	3,00	4,00	Rugosidad característica, para una confiabilidad del 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMD entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2,50	3,00	4,00	Rugosidad característica, para una confiabilidad del 90%
Carretera de Tercera clase: carreteras con un IMD entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3,00	3,50	4,50	Rugosidad característica, para una confiabilidad del 90%
Carretera de Bajo Volumen de Tránsito: carretera con un IMD <= 200 veh/día. De una calzada.	3,00	3,50	4,50	Rugosidad característica, para una confiabilidad del 85%

Fuente: Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos MTC

Se tiene el IRI Índice de rugosidad internacional nos permitirá definir el instante en el cual se debe implementar la intervención de la conservación periódica para ello según MTC se han fijado los siguientes valores.⁹

Tabla N° 3 Estado vial según rugosidad

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

Fuente: Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos MTC, que representa la rugosidad máxima según el tipo de carpeta asfáltica.

2.3.1.1. Características del IRI

- El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento.
- Se determina a partir de las cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas con cualquier técnica de medición.
- Se calcula mediante una integración matemática de los efectos dinámicos del perfil analizado sobre un modelo mecánico estandarizado que representa un cuarto de auto circulando por un tramo de una vía a una velocidad determinada (Reference Quarter Car Simulation) Se asume que la velocidad de desplazamiento de este modelo es de 80 Km/h. (Saldarriaga, 2017)

2.3.1.2. Ventajas del uso del IRI

Este indicador presenta las siguientes ventajas respecto a otros métodos de medición:

- Es un indicador objetivo de la irregularidad superficial de un camino circulando a una velocidad típica de operación (80 km/h).

⁹ Choque Duran, E., H. (2017). Estudio de patologías de pavimentos rígidos en calles urbanas, aplicado a la Localidad de Entre Ríos. UAJMS.
https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=14618

- Se obtiene a partir de un perfil longitudinal cuya técnica de obtención no influye sobre el resultado.
- Presenta buena correlación con otras unidades de rugosidad, obtenidas usando aparatos de medición por respuesta.
- El IRI es actualmente el indicador de irregularidad longitudinal más ampliamente aceptado en el ámbito vial internacional, y todo el resto de mediciones trata de correlacionarse con él.

La objetividad del IRI es una de sus ventajas más importantes, ya que no depende de valoraciones subjetivas como ocurre con la serviciabilidad. Además, no necesita calibración ya que, conociendo el perfil, la metodología de cálculo arroja necesariamente un valor único para este indicador. Deben calibrarse los métodos de registro del perfil, en todo caso, para lo cual pueden usarse pistas de prueba con perfil previamente conocido por métodos de alta precisión.

Cabe mencionar que, desde el punto de vista de la gestión vial, es muy importante conocer los valores de IRI luego de construcción, recapado o reconstrucción de un pavimento, ya que nunca valen cero, y por lo general estos valores no son adecuadamente controlados en su momento por las organizaciones a cargo de la administración (salvo en caminos concesionados), y después tienen gran incidencia sobre la evolución posterior del IRI, cuando es modelado dentro del SGP.¹⁰

¹⁰ Miranda Shimura, K. (2015). Aplicación de un modelo para la determinación del índice de rugosidad internacional con base en daños superficiales de pavimento. Biblioteca UAJMS. https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=6155

Figura N° 4 Relación entre los valores del IRI y algunas características de circulación

IRI (m/km)	
0	*Conducción confortable a más de 120 km/h. En el rango de 1,3 – 1,8
2	Ondulaciones apenas perceptibles a 80 km/h. Asfalto de alta calidad Típico: 1,4 – 2,3; tratamiento superficial de alta calidad: 2,0 – 3,0
4	*Conducción confortable hasta 100 – 120 km/h, hay movimientos moderadamente perceptibles o pueden notarse las grandes ondulaciones.
6	*Conducción confortable hasta 70 – 90 km/h, hay movimientos fuertemente perceptibles y balanceo.
8	*Conducción confortable hasta 50 – 60 km/h, hay sacudones o balanceos frecuentes.
10	*Es necesario reducir la velocidad por debajo de km/h.

Fuente: Índice de regularidad internacional

Se debe tener cuidado al seleccionar la tecnología para medición de rugosidad. En algunos casos, más simples, tales como algunas tecnologías de rugosidad pueden obtener mejores resultados que los más sistemas sofisticados, ya que reflejan los efectos de toda la zona de contacto del neumático con el pavimento de superficie. La textura del pavimento se presenta a menudo como un problema con las mediciones. ¹¹

2.4. Equipo para determinar el IRI

2.4.1. Rugosímetro de Merlín

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el Rugosímetro MERLÍN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables. La gran ventaja en el uso del MERLÍN es la exactitud en los resultados que solo puede ser superado por el método de Nivel de ingeniero y mira. (Vilte, 2011)

¹¹ Miranda Shimura, K. (2015). Aplicación de un modelo para la determinación del índice de rugosidad internacional con base en daños superficiales de pavimento. UAJMS.
https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=6155

El Ing. Pablo del Águila en sus diferentes publicaciones sobre la utilización del equipo MERLÍN hace hincapié en las bondades del equipo como son: la gran exactitud en los resultados obtenidos, en comparación con cualquier método dinámico y como también en el aspecto económico, siendo solamente necesario dos personas para su operación, lo cual resulta barato en comparación a los equipos dinámicos que necesitan para su operación de vehículos adicionales y el costo mantenimiento y calibración de estos su vez es relativamente alto.(Del Águila, 1999)

Figura N° 5 Equipo de Merlín



Fuente: Elaboración propia

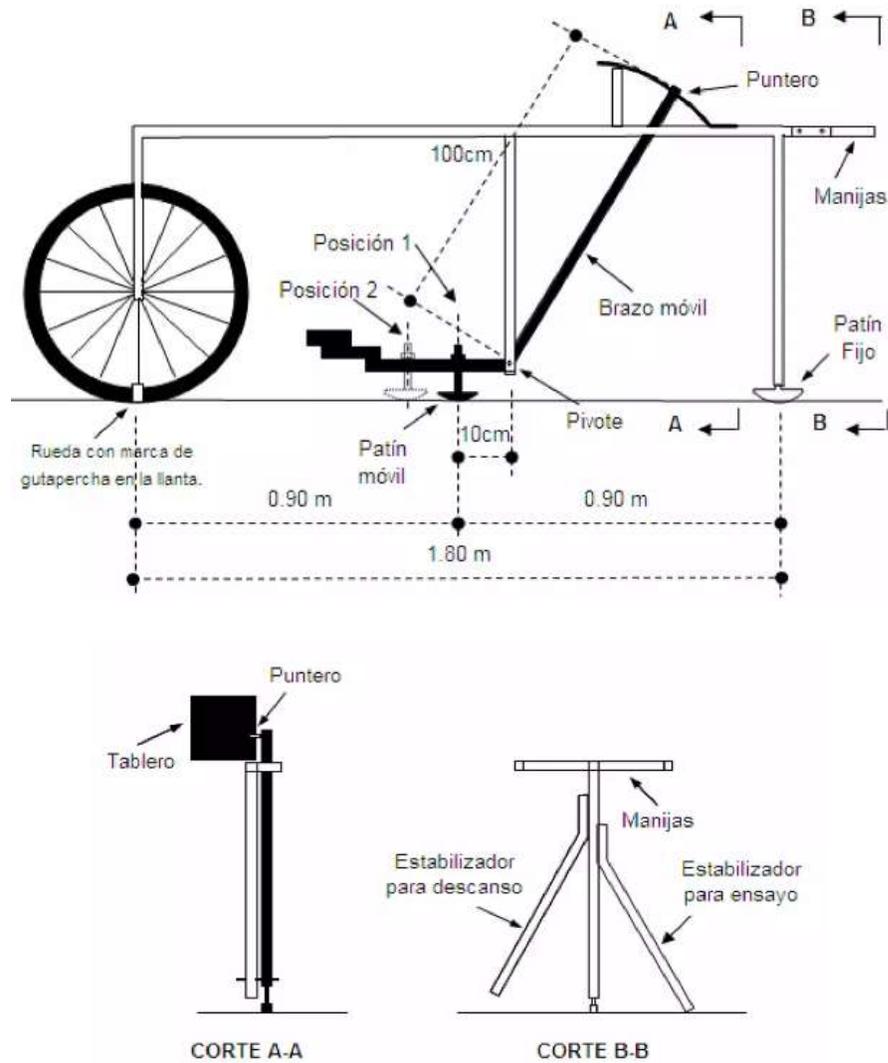
2.4.1.1. Diseño del rugosímetro de Merlín

El rugosímetro de Merlín consta de las siguientes partes:

- Rueda de bicicleta, con su horquilla delantera.
- Patín móvil
- Brazo móvil.
- Puntero.
- Manijas.
- Patín Fijo.

- Tablero.
- Estabilizador de descanso.
- Estabilizador de ensayo.

Figura N° 6 Modelo del diseño de Merlín



Fuente: Pablo del Águila

- Una barra horizontal de metal de 2 metros aproximadamente de largo.
- Una rueda de bicicleta al frente adjuntando a la barra a través de una horquilla delantera de bicicleta. La parte inferior de la cubierta actúa como pie delantero

- Una pata vertical de metal adjunto a partes de atrás de la barra. Una pieza en forma de metal en la parte inferior de la pata que actúa como pie trasero.
- Una pata central a mitad de camino a lo largo de la barra que llega hasta cerca de la superficie del camino.
- Un brazo movable adjunto al centro de la pata por un ejemplo el brazo es escalonado para evitar el riesgo que toque la superficie de los caminos muy accidentados.
- La sonda, una pieza de metal con forma pata de la parte trasera que se une a la parte inferior del brazo móvil hace contacto con la carretera a mitad del camino entre los pies delanteros y traseros.
- Un peso adjunto al final del brazo movable que fuerza la sonda hacia abajo hasta que toque la superficie del camino o el extremo superior del brazo que alcanza su tope final.
- Un apuntador adjunto al extremo superior del brazo movable que se mueve sobre un soporte para mapas. Las dimensiones son tal que un movimiento de la sonda de 1 mm. Dara lugar a un movimiento del puntero de 1 cm.
- Una tabla de datos preparado con cinta al soporte para mapas, compuestos por columnas de 5 mm. De ancho y divididas en cajas.
- Un estabilizador en un lado de la parte trasera que impide que el merlín se caiga a la hora de tomar las mediciones.
- Dos asas al final de la barra que permite al operador levantar el merlín y rueda a lo largo del camino.
- Un marcador sobre la rueda o neumático. Cuando el marcador está en la parte inferior, como el de la figura, se dice que la rueda está en posición inicial o normal.

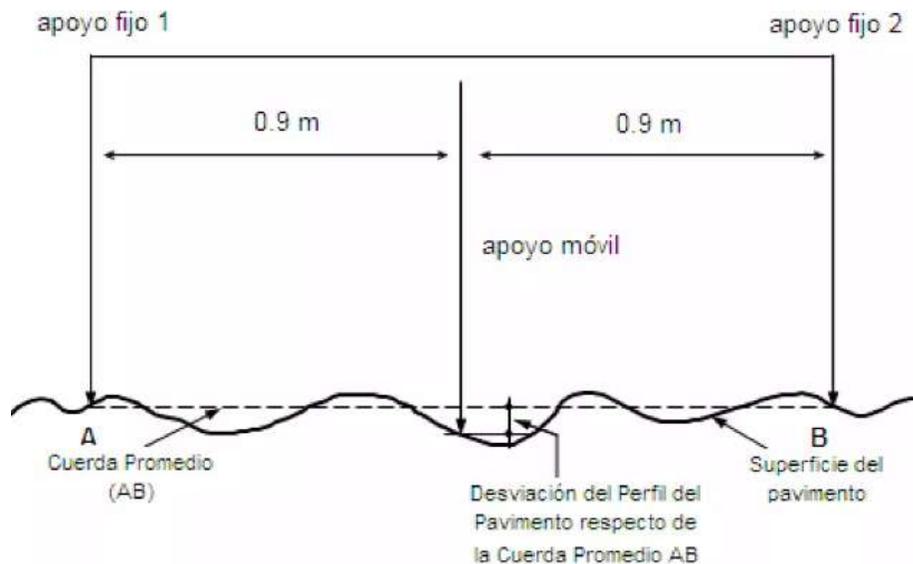
Para su fácil elaboración, la barra horizontal, la pata trasera y central, brazo movable, el estabilizador y las dos asas todas son echo de tubos de acero en sección cuadrada.

Las uniones son soldadas donde sea posible, sin embargo, el estabilizador y las azas son fijados por pernos de modo que se puedan ser removidas para una transportación más fácil. Para fortalecer las uniones entre la barra principal y las patas. (Del Aguila,1999)

2.4.1.2. Metodología para determinación del IRI con Rugosímetro de Merlín

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. 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 respecto a la cuerda promedio”. (Vilte, 2011)

Figura N° 7 Desviación del pavimento de acuerdo a la cuerda promedio



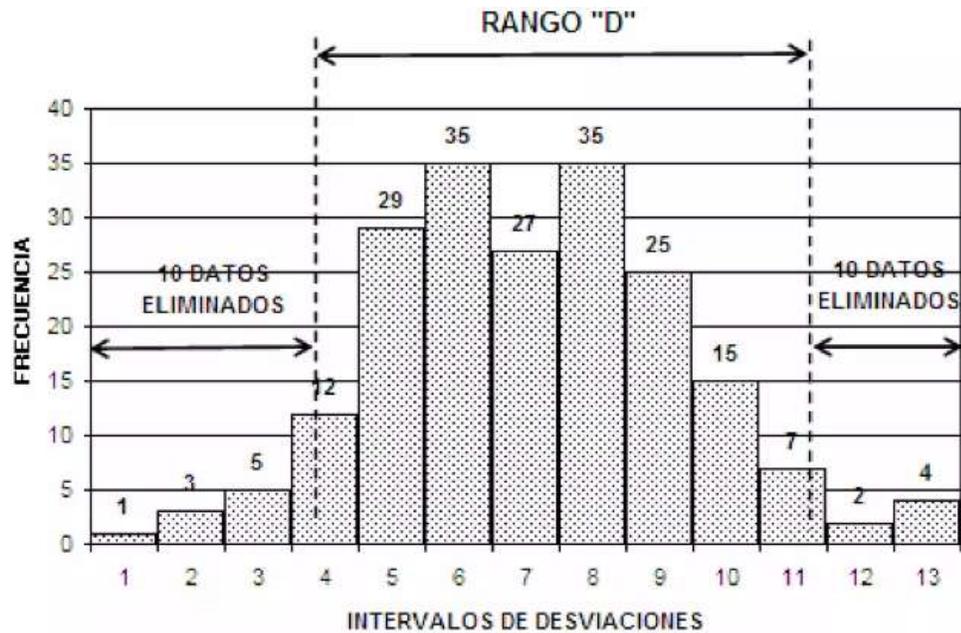
Fuente: Pablo del Águila

2.4.1.3. Histograma de la distribución de frecuencias

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de distribución de frecuencias, en el histograma existe la posibilidad de medir dispersión de las desviaciones, en la figura que sigue se muestra el parámetro estadístico “D” que representa la rugosidad del pavimento en escala MERLÍN, luego de hacer la depuración

de 5% (10 datos) a cada lado (cola) del histograma, el máximo rango “D” debe ser convertido a unidades IRI mediante ecuaciones de correlación.¹²

Figura N° 8 Histograma de frecuencias



Fuente: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

2.4.1.4. Correlaciones D vs IRI

A partir de las investigaciones por encargo del Banco Mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI.

Para relacionar la rugosidad obtenida con el MERLÍN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

¹² Dávila Guzmán, A. (2018). Evaluación de rugosidad del pavimento. Slideshare. <https://es.slideshare.net/AlbertDavilaGuzman/evaluacion-de-rugosidad-del-pavimento-expo>

Figura N° 3 Ecuaciones para hallar el IRI

$$\text{Cuando } 2.4 < \text{IRI} < 15.9, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \text{ (1)}$$

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2.4, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.0485 D \text{ (2)}$$

Fuente: Research Revist 301, “The Merlin low-cost road Roughness measuring machine”

La primera ecuación es una ecuación primigenia del TRRL, resultado de las investigaciones del Banco Mundial en el año 1982, la segunda ecuación es el resultado de las investigaciones en el Perú, el cual debe ser aplicado a pavimentos nuevos o en buen estado, tal como indica la condición de su utilización en la expresión segunda.¹³

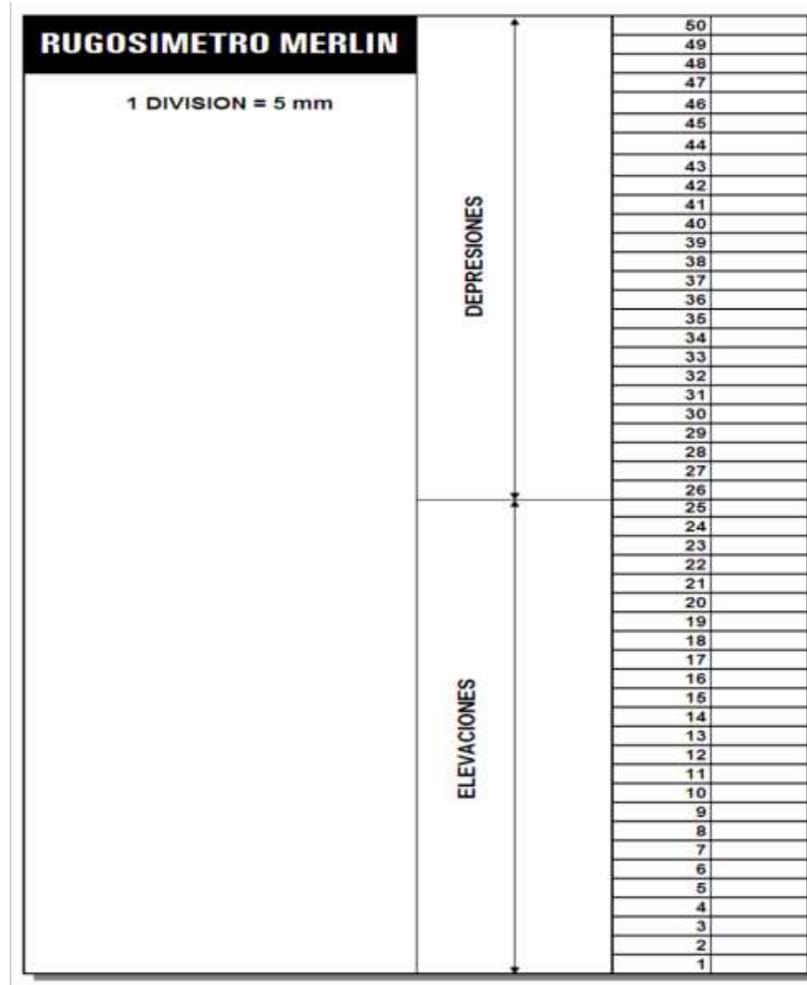
2.4.1.5. El Tablero del Merlín

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.¹⁴

¹³ Del Águila, P., M. (2019). Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro MERLIN. Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano.

¹⁴ 11 Sayers, M. et al. (1989). “The International Road Roughnes Experiment: establishing correlations and a calibration standard for measurements”. Bank Technical Paper N° 45. Washington D.C.

Figura N° 9 Escala grafica para determinar dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento



Fuente: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio

2.4.2. Nivel y mira topográfica

Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o ft), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal. Debido a que el proceso de recolección de datos es relativamente lento, en comparación con otros equipos, es considerado de bajo rendimiento. Tiene una gran precisión y permite obtener una medida exacta del perfil del pavimento, generalmente utilizado cuando se miden pocos perfiles. (Aramayo, 2023)

Figura N° 10 Nivel y mira topográfica



Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008

2.4.2.1. Introducción al programa INPACO

Se realizará un análisis del programa INPACO, el programa fue elaborado en la República de Colombia, por la Universidad del Cauca Instituto de vías, donde es propuesto por el Ministerio de Transporte de Instituto de Vías Nacional, para la Investigación Nacional de Pavimentos.

Donde se pueden determinar los valores para los siguientes ensayos:

- **TRANSITO**, análisis del Tránsito.
- **IRI**, índice de rugosidad internacional método nivel de ingeniero y mira.
- **APL**, coeficiente de APL.
- **DEFLEXIÓN**, deflexión de pavimentos método viga Benkelman.
- **PDC**, penetrómetro dinámico de cono.
- **DEPAV**, esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles.

Este programa fue elaborado en el año 1994, por los ingenieros ALFONSO MURGUEITIO VALENCIA, EDUARDO CASTAÑEDA Y EFRAIN DE J. SOLANO FAJARDO, en el marco de la investigación nacional de pavimentos.

Donde se usó para la presente investigación el programa para la determinación del IRI para el método de nivel de ingeniero y mira, que para la determinación se sigue los siguientes pasos de acuerdo a los datos necesarios para la obtención del IRI. Por el programa.

2.4.2.2. Metodología para determinar el IRI con el programa INPACO

- **Delta (X)**, el programa requiere primeramente determinar la distancia entre punto a punto, donde se realiza la medición. Se tiene que el programa funciona con las siguientes distancias de separación:
- **Identificación del Tramo**, el programa solicita la información de la identificación del tramo como se indica en la siguiente tabla:
- **Entrada de Información**, el programa requiere la entrada de la información, es decir, las diferentes cotas de cada punto determinadas previamente y se coloca como se presenta en la siguiente tabla que está de acuerdo a la impuesta por el programa:
- **Cálculo del IRI**, se procede para finalizar el uso del programa INPACO para la obtención del IRI por la parte que indica “cálculo del IRI” usando los datos ya anteriormente introducidos al programa y nos arroja el valor del IRI en m/km.¹⁵

2.4.3. Aplicación ROADROID

ROADROID es un "app" para medir la calidad de las carreteras. La "aplicación" está diseñado para teléfonos inteligentes Android. Se puede medir y controlar fácilmente la calidad de las carreteras y también utilizar la cámara de fotos con etiquetas GPS.

¹⁵ https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=15022

La aplicación se basa en varios años de investigación para la Administración de Carreteras de Suecia en cooperación con Roadroid Inventor and Engineers.

Por un inicio de sesión en la página de Roadroid, puede supervisar los datos, planificar, ejecutar y hacer seguimiento del mantenimiento de carreteras. Roadroid se correlaciona con la norma internacional IRI y puede proporcionar a los usuarios una imagen diaria de la calidad de las carreteras y ser una ayuda poderosa en los seguimientos operativos. No es un sustituto de los métodos avanzados o encuestas oculares, pero es un gran complemento, al ser capaz de generar grandes cantidades de datos, Roadroid crea estadísticas que ninguno de los otros métodos permite. (Forslof Lars, 2012).

El índice de rugosidad Internacional (IRI) es un índice de rugosidad de carreteras comúnmente obtenida a partir de las mediciones de perfiles longitudinales de carreteras.

Desde su introducción en 1986, el IRI se ha convertido en un parámetro comúnmente usado en todo el mundo para evaluar y gestionar sistemas de carreteras, sin embargo, la medición de la rugosidad en carreteras ha sido utilizada desde principios de 1960 para expresar las condiciones de la carretera y la calidad de rodado. Desde finales de la década de 1960, sin embargo, la mayoría de perfiles de carreteras se miden con instrumentos de alta velocidad.

Las modernas técnicas tradicionales para la medición de la rugosidad pueden ser categorizadas como construcciones especiales de vagones con escáneres láser, pero estos equipos especialmente contruidos son muy costosos, debido al hardware complejo y pesado que llevan, su baja producción y la necesidad de sofisticados sistemas y accesorios.

2.4.3.1. Visualización de datos

Faltaba contar con un dispositivo de suministro de datos, por lo que se necesitaba un visor adecuado de la información. Entonces, se creó en el internet un lenguaje de programación (HTML5) que consiste en un mapa que permite mostrar el estado de la carretera.

Los datos (que están codificados) son comprimidos y enviados desde el dispositivo a través de un servicio de transferencia de archivos a un servidor de web Amazon en la nube.

Los archivos de datos cargados desde diferentes unidades son importados y posiblemente coinciden con la geometría de las carreteras del Open Street Maps (OSM) o Google Maps. Los datos de la condición de carretera están divididos en 4 diferentes niveles para la visualización: verde para buenos, amarillo para satisfactorios, rojo para insatisfactorios y negro para pobres. (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Figura N° 11 Condición de la carretera mediante colores

Condición de la carretera	eIRI	Color
Bueno	< 2.2	
Satisfactorio	2.2 – 3.8	
No Satisfactorio	3.8 – 5.4	
Pobre	> 5.4	

Fuente: Manual ROADROID

2.4.3.2. Uso de datos del IRI con la aplicación del ROADROID

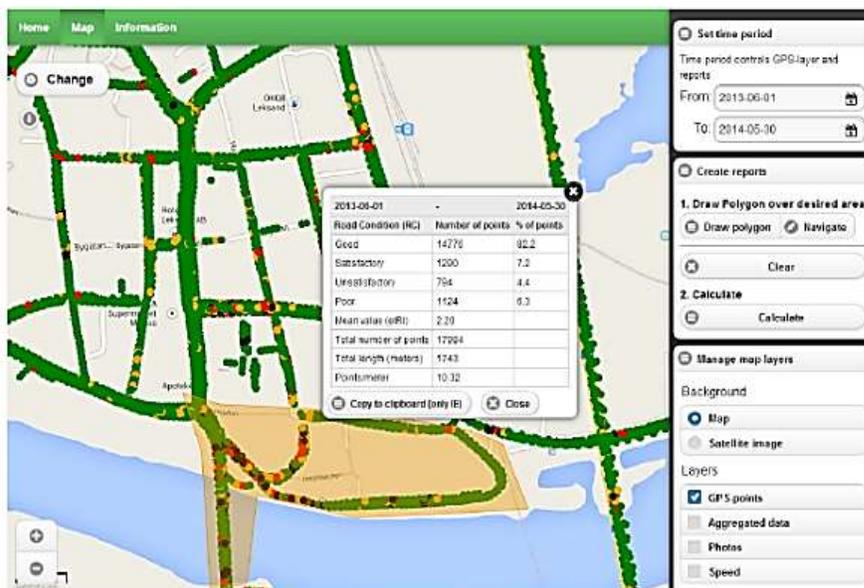
Se llevaron a cabo estudios sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI); usando el sistema cuarto de coche (QCS) para obtener el valor del cIRI, pero utilizar el medio más complejo como es el modelo de cuarto de coche tiene beneficios limitados, pero valores casi idénticos.

Agregaron datos de varias mediciones a lo largo del tiempo y compararon los resultados de manera flexible, también generaron automáticamente informes para un camino específico y comparar los caminos con cada uno de ellos y así hacer comparaciones dentro de regiones enteras.

La solución fue utilizar el porcentaje de cada clase de carretera para los distintos puntos de muestreo que se han recogido dentro de un área.

Llamamos a esto el Roadroid Índex (IR), el IR es un parámetro que puede ser usado para una parte del camino, un camino entero, una ciudad, una región o incluso el mundo entero (Forslof, Lars; Jones, Hans, 2014).

Figura N° 12 Filtro, selección y análisis de datos en la web utilizando el índice ROADROID (IRI)



Fuente: Forslöf, Lars; Jones, Hans, 2014

Para hacer un seguimiento continuo de la vía a lo largo del tiempo, también se necesitaba una manera de producir informes. La recolección de datos puede hacerse mediante los oficiales o guardias de carretera que están realizando inspecciones visuales de 1-3 veces por semana, o por operadores como un distribuidor de periódicos. El IRI es muy adecuado para hacer informes a partir de los datos de la condición de carretera.

2.5. Procedimiento estadístico

2.5.1. Según SAMPIERI-1997

Las medidas de tendencia central son puntos en la distribución, los valores medios o centrales de esta y nos ayudara a ubicar dentro de la escala de medición, las principales medidas de tendencia central son tres: moda, mediana y media.

La moda: Es la categoría o puntuación que ocurre con mayor frecuencia.

La mediana: Es el valor que divide a la distribución por la mitad. Esto es la mitad de los que caen por debajo de la mediana y la otra mitad se ubican x encima de la mediana.

La mediana refleja la posición intermedia de la distribución.

La media: Es la mediana de la tendencia central más utilizada y puede definirse como el promedio aritmético de una distribución. Se simboliza como: \bar{X} , y la suma de todos los valores dividida por el número de casos, su fórmula es:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}$$

La fórmula simplificada de la media es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{N}$$

Las medidas de la variabilidad nos indican la dispersión de los datos en la escala de medición de la tendencia central son valores en una distribución y las medidas de la variabilidad son intervalos, designan distancias o un número de unidades en la escala de medición. Las medidas de la variabilidad más utilizadas son el rango, la desviación estándar y la varianza.

Varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \mu)^2}{N} = \overline{(x - \mu)^2}$$

El rango de la diferencia entre la puntuación mayor y la puntuación menor, indica el número de unidades en la escala de medición necesaria para incluir los valores máximo y mínimo.

La desviación estándar es el promedio de desviación de las puntuaciones con respecto a la media.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \mu)^2}{N}}$$

Correlación

El análisis de correlación tratara de establecer el grado de relación entre dos variables es decir se trata de medir cuan dependiente es la variable de la otra.

Cuando se trata de la relación entre dos variables, se llama correlación simple. A la relación entre tres o más variables se llama correlación múltiple.

Cuando la relación entre dos variables se la representa por una recta se llama correlación lineal. Si la correlación se la representa por una curva cualquiera, se tiene la correlación no lineal.

2.6. Tránsito

Del análisis de la variable tránsito, interesa conocer:

- Tipo de vehículos
- Peso total de los vehículos
- Tipos de ejes de los vehículos
- Carga por eje
- Presión y área de contacto
- Velocidad de aplicación de las cargas
- Impacto
- Numero de repeticiones de carga, ejes equivalentes o espectros de carga

2.6.1. Volúmenes de tráfico

Se denomina volumen de tráfico al número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal ya sea de una carretera o de una calle, en un periodo de tiempo determinado, siendo los periodos de tiempo más usados los de un día y una hora. (Sanchez, 2012)

En función de los periodos de tiempo se establecen diferentes tipos de medición de volúmenes de tráfico, los más empleados son:

- Tráfico promedio diario (T.P.D.)
- Tráfico promedio horario (T.P.H.)

Tráfico promedio diario (T.P.D.). - Se define el volumen de tránsito promedio diario como el número total de vehículos que pasan por una sección longitudinal de una calle o carretera en el tiempo de un día, este es un valor importante como valor referencial debido a que nos muestra las variaciones horarias dentro del día.

Tráfico promedio horario (T.P.H.). - Es la cantidad de vehículos que son registrados en una sección longitudinal de una calle o carretera en el periodo de tiempo de una hora. Este valor es mucho más representativo y significativo para el estudio de tráfico ya que nos muestra las variaciones horarias; pudiendo obtenerse las horas pico o críticas.

2.6.2. Capacidad

La capacidad se define como el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de una calle o carretera durante un tiempo determinado, bajo ciertas condiciones como la infraestructura vial, condiciones del tránsito y dispositivos de control.

El intervalo de tiempo más utilizado en los análisis de la capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que este es el más corto tiempo en el cual se puede presentar un flujo estable.

Como ya habíamos mencionado entre las condiciones prevalecientes de la capacidad tenemos a las condiciones de la infraestructura vial que se refiere a las características físicas de la carretera o calle (condición de tránsito continuo o discontinuo, número de carriles, etc.); las características geométricas (ancho de carriles, velocidad de proyecto, obstrucciones laterales, restricciones de paso, características de los alineamientos), y tipo de terreno donde se ubica la carretera o calle.

Entre las condiciones del tránsito podemos referirnos a la distribución del tránsito en el tiempo y el espacio, y la composición del mismo en vehículos livianos, camiones, autobuses, etc.

Y entre las condiciones de control tenemos a los semáforos y señales restrictivas (alto, ceda el paso, no estacionarse, etc.). El objetivo de obtener la capacidad es determinar el valor o la cantidad de vehículos que realmente pueden pasar por una sección en un tiempo

determinado, para de esta manera poder comparar este valor con el volumen de tráfico aforado en el momento actual y también poder proyectarlo hacia el futuro.

Las relaciones entre volumen y la capacidad nos permiten realizar un análisis del comportamiento del tráfico. Las condiciones que se pueden ser las siguientes:

- Si el volumen de tráfico es menor ($<$) a la capacidad, las condiciones de circulación pueden ser aceptables.
- Si el volumen de tráfico es igual ($=$) a la capacidad, las condiciones de circulación son críticas pero aceptables.
- Si el volumen de tráfico es mayor ($>$) a la capacidad, la condición de circulación ya no es aceptada.

Este análisis de calidad de circulación tanto en carreteras como en calles ha sido clasificado por el Manual de Capacidad a través de los Niveles de Servicio.¹⁶

2.7. Niveles de servicio

Se utiliza el concepto de nivel de servicio para medir la calidad del flujo vehicular, ya que es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo vehicular, estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad y la seguridad vial.

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, Special Report 209, traducido al español por la Asociación Técnica De Carreteras de España, ha establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E, F que van del mejor al peor, y los cuales describimos a continuación:¹⁷

¹⁶ https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=5805

¹⁷ Universidad nacional de ingeniería. (2008). Tema 05: Ingeniería de tránsito. Sjnavarro. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>

Figura N° 13 Nivel de servicio



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

Tabla N° 4 Clasificación del nivel de servicio

Nivel de servicio	Descripción del flujo	Factor
	Vehicular	
A	Flujo libre	0
B	Flujo estable	$\leq 0,1$
C	Flujo estable	$\leq 0,3$
D	Prox. A flujo inestable	$\leq 0,7$
E	Flujo inestable	= 1
F	Flujo inestable	> 1

Fuente: Highway Capacity Manual HCM

2.7.1. Nivel de servicio A

Representa una circulación a flujo libre, los usuarios considerados en forma individual, están virtualmente exentos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una gran libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito.

El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación a el motorista, pasajero o peatón, es excelente. (Cerquera, 2007)

Figura N° 14 Nivel de servicio A



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

2.7.2. Nivel de servicio B

Está dentro del rango de flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes en la circulación. La libertad de selección de las velocidades sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobras en relación con la del nivel de servicio de nivel A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno. (Cerquera, 2007)

Figura N° 15 Nivel de servicio B



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

2.7.3. Nivel de servicio C

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la

presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente. (Cerquera, 2007)

Figura N° 16 Nivel de servicio C



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

2.7.4. Nivel de servicio D

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento. (Cerquera, 2007)

Figura N° 17 Nivel de servicio D



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

2.7.5. Nivel de servicio E

El funcionamiento está en él, o cerca del límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a ceder el paso. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la

frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos. (Cerquera, 2007)

Figura N° 18 Nivel de servicio E



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

2.7.6. Nivel de servicio F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de paradas y arranque, extremadamente inestables. (Cerquera, 2007)

Figura N° 19 Nivel de servicio F



Fuente: Capacidad vial para carreteras de dos carriles, Manual Colombiano

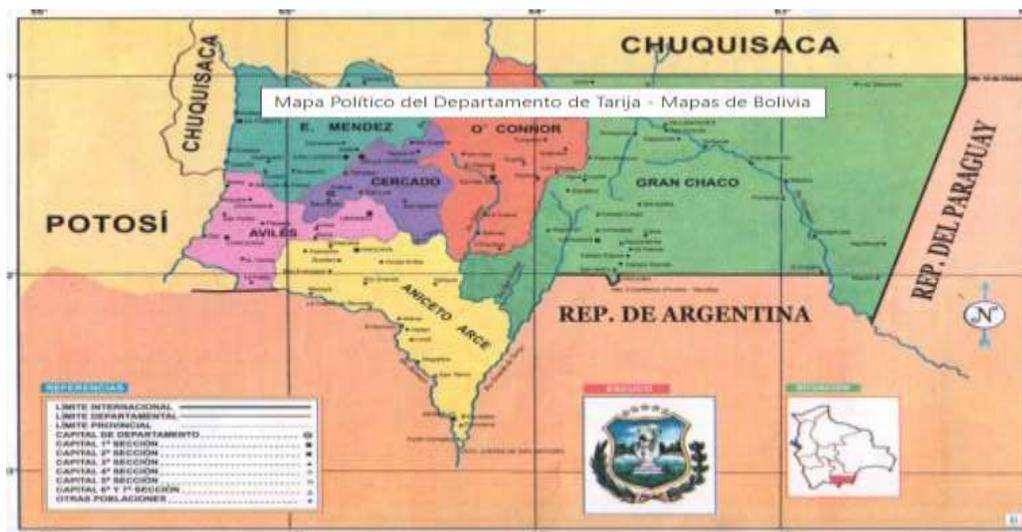
CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. Ubicación del área en estudio

El presente trabajo se desarrolló en el departamento de Tarija, en las provincias Cercado, Avilés y Méndez. Está definido en pavimentos flexibles en diferentes tramos: Zonas Urbanas y Zona Rurales.

Figura N° 20 Ubicación del área de estudio ciudad de Tarija



Fuente: <https://www.educa.com.bo/content/departamento-de-tarija>

Tramos urbanos. - Dentro de la mancha urbana de la ciudad Tarija en la provincia Cercado.

- **Tramo 1:** Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)
- **Tramo 2:** Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)

Tramos rurales. – Definidos en las provincias Cercado, Méndez y Avilés.

- **Provincia Cercado**

- **Tramo 3:** El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)

- **Provincia Méndez**
 - **Tramo 4:** Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)
- **Provincia Avilés**
 - **Tramo 5:** Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)

3.1.1. Zona Urbana

Figura N° 21 Mancha urbana de la ciudad de Tarija



Fuente: Foto satelital GOOGLE EARTH

Según datos brindados por la directiva de la Federación de Juntas Vecinas de la Provincia Cercado FEJUVE, 173 barrios y urbanizaciones conforman la ciudad de Tarija, siendo los distritos 7 y 10 los que contienen mayor cantidad de barrios. Por otro lado, el distrito 7, es el que tiene la mayor cantidad de urbanizaciones, lo que nos lleva a observar que la ciudad ha crecido hacia la parte norte. (ECAM TARIJA, 2017)

Tabla N° 5 Datos de cantidad de población en distritos, barrios y urbanizaciones de la ciudad de Tarija.

Distrito	Personas	Distrito 6	Personas	Distrito 7	Personas
Distrito 1 - El Molino	3 445	La Loma	5 165	3 de mayo	335
Distrito 2 - San Roque	3 559	Juan Pablo II	1 759	Defensores del Chaco	3 271
Distrito 3 - Las Panosas	3 158	Barrio 15 de Noviembre	175		
Distrito 4 - La Pampa	5 383	Barrio Guadalquivir	1 612	IV Centenario	2 746
Distrito 5 - Villa Fátima	6 773			4 de Julio	1 965
Total	22 318	Luis Pizarro	1 166	Los Chapacos	1 834
Distrito 8	Personas	Panamericana	1 135	12 de octubre	1 654
Eduardo Abaroa	5 988	El Paraíso	821	Otros distritos 7	1 412
Florida	4 293	Los Olivos	678	Las Pascuas	1 24
Lourdes	4 019	Barrio Los Álamos	674	101 familias	887
San Marcos	2 088	Carlos Wagner	580	Campesino	626
San José	2 005	Libertad	593	20 de enero	449
24 de Junio	913	Virgen de Chaguaya	500	María de los Ángeles	343
Total	19 306	Barrio El Carmen	369		
Distrito 9	Personas	Municipal	231	19 de marzo	188
Pedro Antonio Flores	4 231	La Unión	112	Total	19 965
Narciso Campero	375	Los Mecánicos	102	Distrito 11	Personas
San Bernardo	3 472	Total	17 247	San Gerónimo Lindo	2 112
Luis Espinal	2 522	Distrito 10	Personas	San Luis	1 955
Constructor	2 277	Juan XXIII	3 452	Petrolero y San Gerónimo Sur	517
Andaluz	1 593	Morros Blancos	2 909	El Temporal	298
2 de Mayo	1 199	San Jorge I	251	Total	4 882
Palmarcito	1 798	El Portillo	2 248	Distrito 12	Personas
Moto Méndez	1 185	San Jorge II	2 235	Miraflores	1 014
Salamanca	1 069	Simón Bolívar	1 623	Aranjuez	958
6 de Agosto	1 065	Torrecillas	1 258	German Busch	791
1 de Mayo	560	Las Retamas	1 238	San Martín	720
27 de Mayo Sur	269	Artisanal	687	Total	3 483
20 familias	51	El Portillo	127	Distrito 13	Personas
Total	25 041	San Salvador	555	Tabladita I	4 533
		Total	18 842	Méndez Arcos	3 879
				Senac	307
				Luis de Fuentes	2 351
				San Antonio	1 914
				Catedral	1 685
				Tabladita II	1 334
				Alto Senac	1 161
				Las Palmas	316
				Total	20 243

Fuente: ECAM Tarija, 2017

Observando los datos, de la Unidad de Estadística de la Universidad Privada Domingo Savio, el barrio más poblado en la ciudad es el barrio Villa Fátima, con 6773 vecinos y vecinas, mientras que el menos poblado es el barrio 20 Familias con 51 habitantes.

En el caso de los distritos, el Distrito 3 es el que tiene menor población con 3158 hab., mientras que el distrito 9 con 25041 hab., el que concentra mayor cantidad de población.

Figura N° 22 Distritos de la ciudad de Tarija



Fuente: PMOT Y POU de la ciudad de Tarija y la provincia Cercado

3.1.2. Zona Rural

3.1.2.1. Provincia Cercado

Tarija es la capital departamental y la única sección municipal de la provincia Cercado.

Se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija y limita al norte y oeste con la provincia Méndez, al este limita con la provincia O'Connor y al sur con las provincias Avilés y Arce. Su clima es templado, con una temperatura promedio de 18°C. Tarija tiene acceso vial hacia la frontera con la Argentina, y con las ciudades de Sucre y Potosí. Sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella, este último afluente del río Guadalquivir.

El municipio de Tarija ocupa todo el territorio de la provincia cercado, el área urbana de la ciudad de Tarija, que es la capital del departamento, está conformada por 13 distritos urbanos, identificados con números, y ocho distritos rurales: Lazareto, Tolomosa, san Mateo, santa Ana, yesera, san Agustín, Junacas y Alto España. Sin embargo, se hace notar que GAMT el aún no cuenta con la delimitación completa de distritos y barrios para el radio urbano.

Figura N° 23 Provincia Cercado del departamento de Tarija



Fuente: GAMT

3.1.2.2. Provincia Méndez

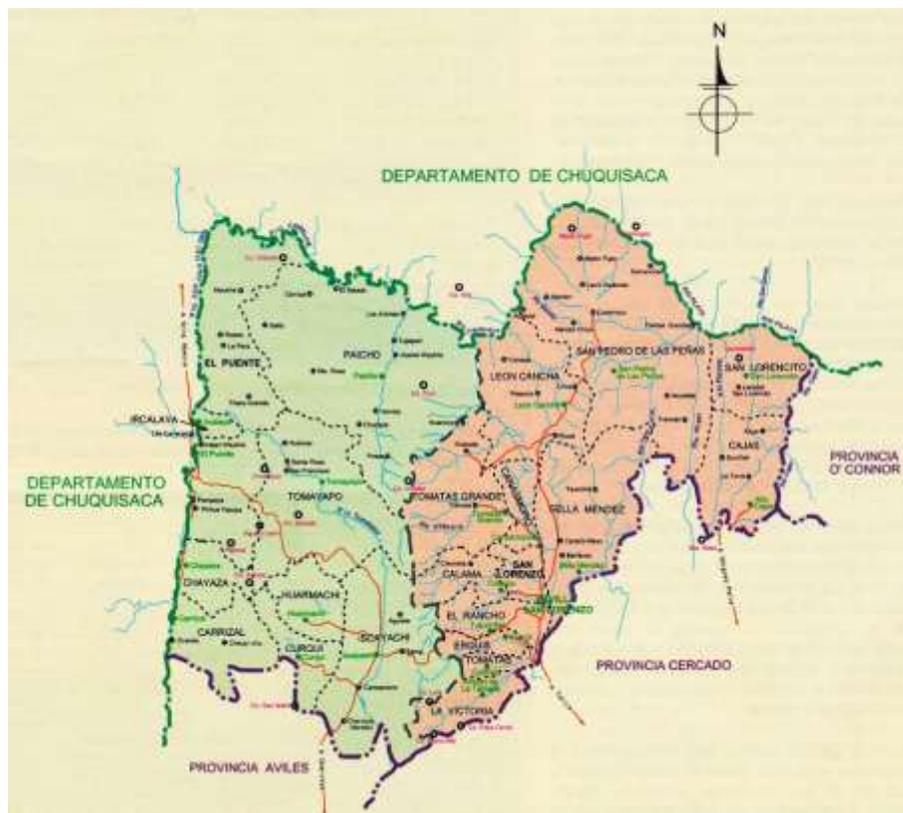
La provincia Eustaquio Méndez del Departamento de Tarija, tiene una extensión de 2742 Km² de superficie. Se halla rodeada al norte por el departamento de Chuquisaca, al sur por las provincias Avilés y Cercado, al este por las provincias Cercado y O'Connor y al oeste por el departamento de Chuquisaca.

En la provincia Eustaquio Méndez se encuentran los municipios de: San Lorenzo (c. Villa de San Lorenzo) y El Puente.

El mapa de la provincia cuenta con un pequeño mapa de referencia que señala la ubicación de la provincia dentro del Departamento. Incluye además fronteras nacionales, departamentales, municipales (seccionales) y cantonales, además puedes encontrar ríos perennes, caminos, vías, estaciones férreas, aeropuertos, pistas de aterrizaje y puertos; capitales departamentales, provinciales, cantonales; localidades; los principales cerros, puntos de control o mojones.

Cada sección municipal es mostrada en un color distinto, lo que permite una rápida identificación dentro de la provincia. En lugar de utilizar el nombre legal del municipio se ha preferido destacar el nombre del Cantón que concentra mayor población y por el que es comúnmente conocido el Municipio. Las localidades, comunidades y haciendas se muestran en forma indistinta y no se encuentran clasificadas.

Figura N° 24 Provincia Méndez del departamento de Tarija



Fuente: Gobierno Municipal de San Lorenzo

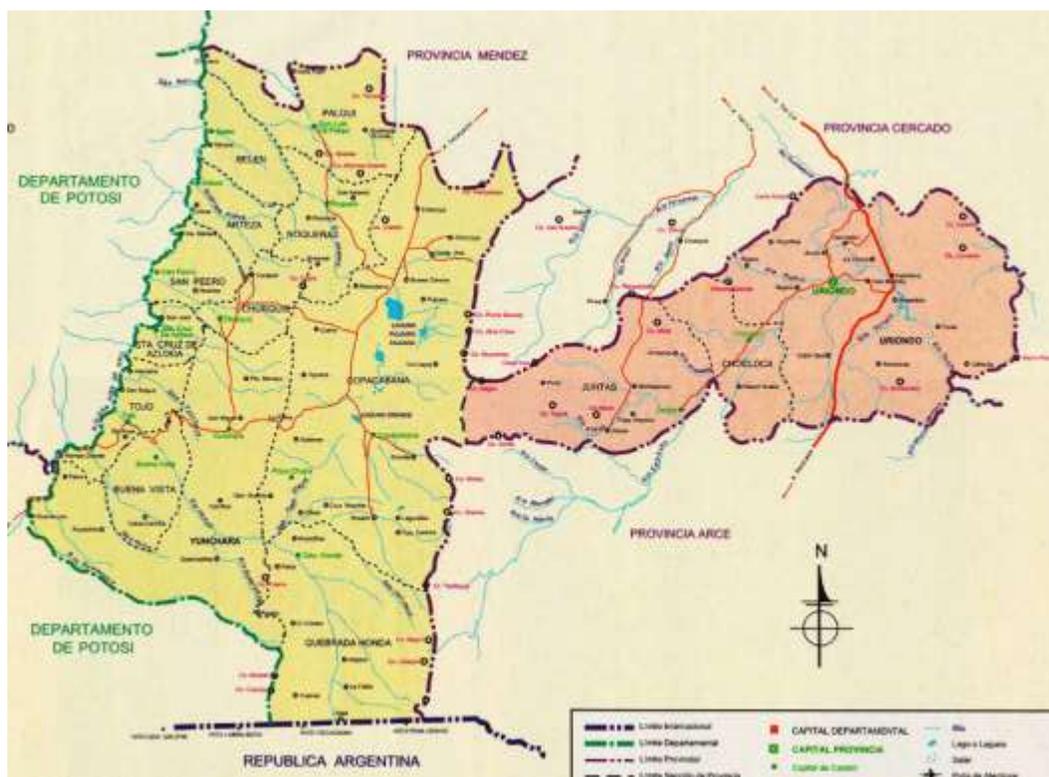
3.1.2.3. Provincia Avilés

La provincia José María Avilés del Departamento de Tarija, tiene una extensión de 2742 Km² de superficie. Se halla rodeada al norte por las provincias Méndez y Cercado, al sur por la provincia Arce, la República Argentina y el departamento de Potosí, al este por las provincias Cercado y Arce y al oeste por el departamento de Potosí.

En la provincia José María Avilés se encuentran los municipios de: Uriondo (a. Concepción) y Yunchara.

Cada sección municipal es mostrada en un color distinto, lo que permite una rápida identificación dentro de la provincia. En lugar de utilizar el nombre legal del municipio se ha preferido destacar el nombre del Cantón que concentra mayor población y por el que es comúnmente conocido el Municipio. Las localidades, comunidades y haciendas se muestran en forma indistinta y no se encuentran clasificadas.

Figura N° 25 Provincia Avilés del departamento de Tarija



Fuente: Gobierno autónomo del municipio de Uriondo

3.1.3. Coordenadas Geométricas de los tramos

3.1.3.1. Tramos urbanos

Tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)

Tabla N° 6 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 1 carril de ida

Punto A	Punto B
Latitud: 21°32'45,29'' (S)	Latitud: 21°32'52,49'' (S)
Longitud: 64°43'28,75'' (O)	Longitud: 64°43'22,62'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 26 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 1 carril de ida



Fuente: Google Earth

Tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)

Tabla N° 7 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 1 carril de vuelta

Punto A	Punto B
Latitud: 21°33'35,14'' (S)	Latitud: 21°33'39,28'' (S)
Longitud: 64°43'57,02'' (O)	Longitud: 64°43'17,41'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 27 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 1 carril de vuelta



Fuente: Google Earth

Tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)

Tabla N° 8 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 2 carril de ida

Punto A	Punto B
Latitud: 21°32'45,29'' (S)	Latitud: 21°33'52,49'' (S)
Longitud: 64°43'28,75'' (O)	Longitud: 64°43'22,62'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 28 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 2 carril de ida



Fuente: Google Earth

Tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)

Tabla N° 9 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona urbana tramo 2 carril de vuelta

Punto A	Punto B
Latitud: 21°32'56,5'' (S)	Latitud: 21°33'57,51'' (S)
Longitud: 64°43'23,5'' (O)	Longitud: 64°43'21,97'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 29 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 2 carril de vuelta



Fuente: Google Earth

3.1.3.2. Tramos rurales

Tramo 3: El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)

Tabla N° 10 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 3 carril de ida

Punto A	Punto B
Latitud: 21°32'27,79'' (S)	Latitud: 21°34'38,37'' (S)
Longitud: 64°39'53,31'' (O)	Longitud: 64°39'43,88'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 30 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 2 carril de ida



Fuente: Google Earth

Tramo 3: El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)

Tabla N° 11 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 3 carril de vuelta

Punto A	Punto B
Latitud: 21°34'31,82'' (S)	Latitud: 21°34'43,55'' (S)
Longitud: 64°39'38,42'' (O)	Longitud: 64°39'42,44'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 31 Zona urbana de la ciudad de Tarija tramo 3 carril de vuelta



Fuente: Google Earth

Tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

Tabla N° 12 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 4 carril de ida

Punto A	Punto B
Latitud: 21°27'45,05'' (S)	Latitud: 21°27'29,46'' (S)
Longitud: 64°44'35,37'' (O)	Longitud: 64°44'31,09'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 32 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 4 carril de ida



Fuente: Google Earth

Tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

Tabla N° 13 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 4 carril

Punto A	Punto B
Latitud: 21°27'36,23'' (S)	Latitud: 21°27'25,55'' (S)
Longitud: 64°44'41,54'' (O)	Longitud: 64°44'34,94'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 33 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 4 carril de vuelta



Fuente: Google Earth

Tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)

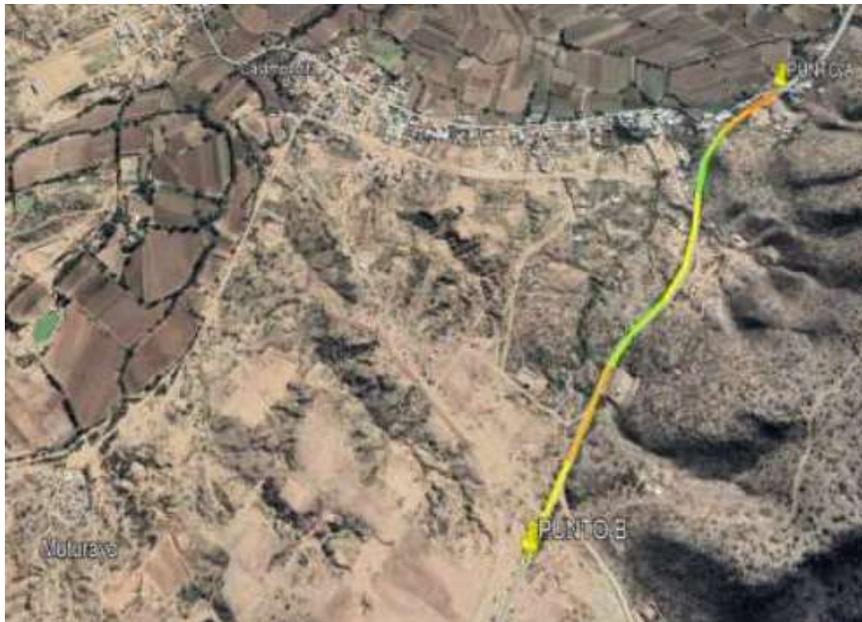
Tabla N° 14 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 5 carril de ida

Punto A	Punto B
Latitud: 21°42'45,05'' (S)	Latitud: 21°42'22,27'' (S)
Longitud: 64°36'43,74'' (O)	Longitud: 64°36'43,59'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 34 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 5 carril de ida



Fuente: Google Earth

Tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)

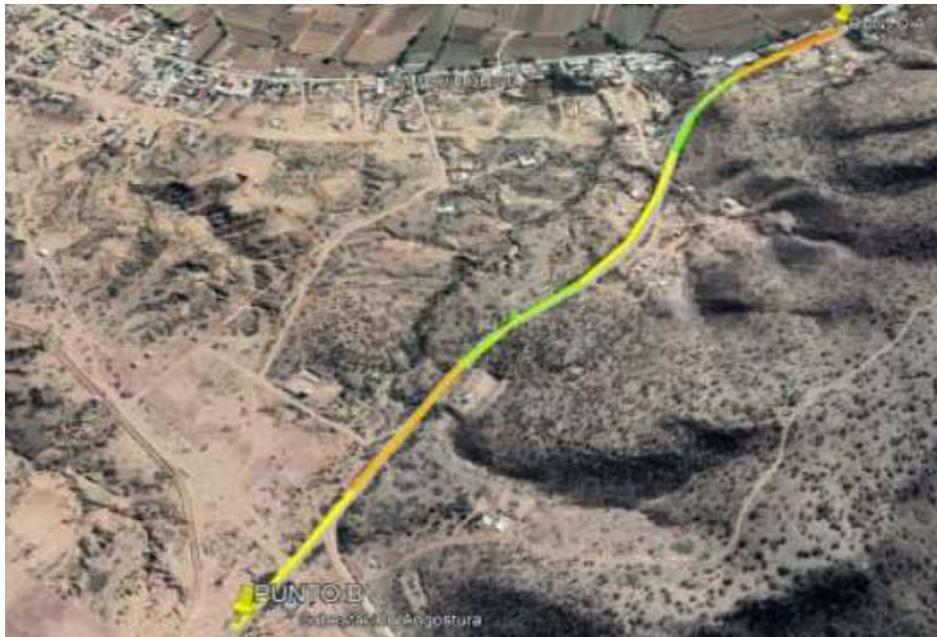
Tabla N° 15 Coordenadas de punto de inicio (A) y punto final (B) zona rural tramo 5 carril de vuelta

Punto A	Punto B
Latitud: 21°42'29,17'' (S)	Latitud: 21°42'57,12'' (S)
Longitud: 64°36'13,98'' (O)	Longitud: 64°36'24,26'' (O)

Fuente: Google Earth

Longitud del tramo: 1000 metros

Figura N° 35 Zona rural de la ciudad de Tarija tramo 5 carril de vuelta



Fuente: Google Earth

3.2. Equipos y procedimientos empleados para determinar el IRI

3.2.1. Equipo

- Equipo empleado en el método mira y nivel

Figura N° 36 Un Nivel de Ingeniero para efectuar la nivelación. Nivel Digital de Ingeniero Modelo (Sokkia SDL50)



Fuente: Elaboración propia

Se usó para encontrar los puntos y determinar el perfil de los tramos.

Figura N° 37 Mira graduada



Fuente: Elaboración propia

Una Mira para ayudar a realizar la nivelación.

Un Software denominado INPACO donde incluye el programa IRI (Método Mira y Nivel), para hallar el Índice de Rugosidad internacional.

- **Equipo empleado en el método equipo de Merlín**

Figura N° 38 Equipo del Merlín



Fuente: Elaboración propia

Diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento.

- **Equipo empleado en el método de la aplicación del ROADROID**

Figura N° 39 Celular Samsung A 52 usado para la toma de datos



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 40 Aplicación ROADROID versión 3.4.2



Fuente: Guía de usuaria de ROADROID

La aplicación ROADROID para teléfonos inteligente la cual determina el IRI.

3.2.2. Procedimientos empleados para determinar el IRI

Se explicará un cálculo del IRI por cada método y lo mismo se aplicó a todos los tramos para su respectiva determinación de sus resultados.

3.2.2.1. Método tradicional de medición IRI (Mira y Nivel de Ingeniero)

En este método se usa el Nivel de ingeniero y la mira, mediante cotas en un tramo seleccionado se realiza de la siguiente manera su aplicación en campo:

Determinación del Tramo: Para determinar la sección inicialmente se realizó una inspección visual en el lugar, tomando en cuenta las secciones más deterioradas en la cual se realizó el levantamiento con la mira y nivel de ingeniero, se tomó en cuenta la Norma ASTM E-950/E-950M que asume la HCM, lo cual nos indica que el 10% al 20% es suficiente para determinar los parámetros y realizar una evaluación, se determinó 100 m de longitud para los tramos de 1000 m, en la sección más afectada del tramo que presenta dos carriles ida y vuelta, y en cada carril las dos huellas a medir a cada 50 cm.

Se Mide la Distancia de medición: Se pasa a marcar el tramo cada 50 cm. De distancia para poder lecturas en dicho rango.

Figura N° 41 Marcado del pavimento a cada 500 mm



Fuente: Elaboración propia

Se Procede al levantamiento de Alturas: Una vez determinado y marcado del pavimento se dispone al armado del equipo de nivel de ingeniero.

Figura N° 42 Armado del Nivel de ingeniero



Fuente: Elaboración propia

Se determina la cota del primer punto, mediante el GPS y se lectura colocando la mira en el punto.

Figura N° 43 Lecturado de la cota y la altura del punto



Fuente: Elaboración propia

Determinación de las cotas: Después de haber lecturado las alturas correspondientes a cada punto, encontramos las cotas de cada punto aplicando las ecuaciones de Topografía.

Uso del Programa INPACO: Con el programa INPACO, es una herramienta auxiliar para determinar el IRI, donde se: Identifica el tramo, Longitud del tramo, se ajusta la distancia de punto a punto que es 500 mm. Y se procede al colocado de las cotas determinadas anteriormente.

Código del tramo: 04

Nombre del tramo: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

Abscisa del tramo inicial: 0 m. **Abscisa del tramo final:** 100 m.

Longitud del Tramo: 100 metros.

Se coloca las cotas para cada punto en este caso para la realización de la evaluación a cada 50 mm para 100 metros tendremos 201 puntos.

Con estos datos indicaremos las cotas y distancias para cada punto en las siguientes tablas:

Tabla N° 16 Resultados, distancia y cota de cada punto, para datos necesarios para programa INPACO.

N°	Punto	V.At	Al.Ins	V.Ad	Cota	N°	Punto	V.At	Al.Ins	V.Ad	Cota
1	0,00	0,79	1979,79		1979,00	51	25,00			1,10	1978,70
2	0,50			0,80	1978,99	52	25,50			1,10	1978,69
3	1,00			0,81	1978,99	53	26,00			1,11	1978,69
4	1,50			0,81	1978,98	54	26,50			1,12	1978,68
5	2,00			0,82	1978,98	55	27,00			1,12	1978,67
6	2,50			0,82	1978,97	56	27,50			1,14	1978,66
7	3,00			0,83	1978,97	57	28,00			1,15	1978,64
8	3,50			0,83	1978,96	58	28,50			1,16	1978,63
9	4,00			0,84	1978,96	59	29,00			1,17	1978,62
10	4,50			0,84	1978,95	60	29,50			1,18	1978,62
11	5,00			0,85	1978,95	61	30,00			1,19	1978,61
12	5,50			0,85	1978,94	62	30,50			1,20	1978,60
13	6,00			0,86	1978,94	63	31,00			1,21	1978,59
14	6,50			0,86	1978,93	64	31,50			1,22	1978,58
15	7,00			0,87	1978,93	65	32,00			1,22	1978,58
16	7,50			0,88	1978,92	66	32,50			1,22	1978,57
17	8,00			0,88	1978,91	67	33,00			1,22	1978,57
18	8,50			0,89	1978,91	68	33,50			1,23	1978,57
19	9,00			0,89	1978,90	69	34,00			1,24	1978,56
20	9,50			0,90	1978,90	70	34,50			1,24	1978,55
21	10,00			0,90	1978,89	71	35,00			1,25	1978,54
22	10,50			0,91	1978,89	72	35,50			1,26	1978,54
23	11,00			0,91	1978,89	73	36,00			1,27	1978,53
24	11,50			0,91	1978,88	74	36,50			1,28	1978,52
25	12,00			0,92	1978,88	75	37,00			1,29	1978,51
26	12,50			0,93	1978,87	76	37,50			1,29	1978,50
27	13,00			0,93	1978,86	77	38,00			1,30	1978,49
28	13,50			0,94	1978,86	78	38,50			1,31	1978,49
29	14,00			0,94	1978,85	79	39,00			1,32	1978,48
30	14,50			0,95	1978,85	80	39,50			1,32	1978,47
31	15,00			0,96	1978,84	81	40,00			1,33	1978,46
32	15,50			0,96	1978,83	82	40,50			1,34	1978,45
33	16,00			0,97	1978,83	83	41,00			1,35	1978,45
34	16,50			0,97	1978,82	84	41,50			1,36	1978,43
35	17,00			0,98	1978,82	85	42,00			1,37	1978,42
36	17,50			0,98	1978,81	86	42,50			1,38	1978,41
37	18,00			0,99	1978,80	87	43,00			1,39	1978,41
38	18,50			1,00	1978,80	88	43,50			1,39	1978,40
39	19,00			1,01	1978,79	89	44,00			1,40	1978,40
40	19,50			1,01	1978,78	90	44,50			1,40	1978,39
41	20,00			1,02	1978,78	91	45,00			1,41	1978,38
42	20,50			1,03	1978,77	92	45,50			1,42	1978,38
43	21,00			1,04	1978,76	93	46,00			1,42	1978,37
44	21,50			1,04	1978,75	94	46,50			1,43	1978,36
45	22,00			1,05	1978,75	95	47,00			1,44	1978,36
46	22,50			1,06	1978,74	96	47,50			1,45	1978,35
47	23,00			1,06	1978,73	97	48,00			1,46	1978,34
48	23,50			1,07	1978,72	98	48,50			1,47	1978,33
49	24,00			1,08	1978,71	99	49,00			1,47	1978,32
50	24,50			1,09	1978,71	100	49,50			1,48	1978,32

N°	Punto	V.At	Al.Ins	V.Ad	Cota
101	50,00			1,48	1978,31
102	50,50			1,49	1978,30
103	51,00			1,51	1978,29
104	51,50			1,51	1978,28
105	52,00			1,52	1978,27
106	52,50			1,53	1978,26
107	53,00			1,54	1978,25
108	53,50			1,55	1978,24
109	54,00			1,56	1978,23
110	54,50			1,57	1978,23
111	55,00			1,57	1978,22
112	55,50			1,58	1978,21
113	56,00			1,59	1978,20
114	56,50			1,60	1978,19
115	57,00			1,61	1978,18
116	57,50			1,55	1978,25
117	58,00			1,63	1978,17
118	58,50			1,64	1978,16
119	59,00			1,65	1978,15
120	59,50			1,66	1978,14
121	60,00			1,66	1978,13
122	60,50			1,67	1978,12
123	61,00			1,68	1978,11
124	61,50			1,69	1978,10
125	62,00			1,70	1978,10
126	62,50			1,71	1978,09
127	63,00			1,72	1978,08
128	63,50			1,72	1978,07
129	64,00			1,73	1978,07
130	64,50			1,74	1978,06
131	65,00			1,75	1978,05
132	65,50			1,75	1978,04
133	66,00			1,76	1978,03
134	66,50			1,77	1978,03
135	67,00			1,78	1978,02
136	67,50			1,78	1978,01
137	68,00			1,79	1978,01
138	68,50			1,79	1978,00
139	69,00			1,80	1977,99
140	69,50			1,81	1977,99
141	70,00			1,81	1977,98
142	70,50			1,82	1977,97
143	71,00			1,83	1977,96
144	71,50			1,84	1977,96
145	72,00			1,85	1977,95
146	72,50			1,85	1977,94
147	73,00			1,86	1977,93
148	73,50			1,87	1977,93
149	74,00			1,88	1977,92
150	74,50			1,89	1977,91

N°	Punto	V.At	Al.Ins	V.Ad	Cota
151	75,00			1,90	1977,90
152	75,50			1,90	1977,89
153	76,00			1,91	1977,88
154	76,50			1,92	1977,87
155	77,00			1,93	1977,86
156	77,50			1,94	1977,85
157	78,00			1,95	1977,84
158	78,50			1,96	1977,83
159	79,00			1,97	1977,82
160	79,50			1,99	1977,81
161	80,00			2,00	1977,80
162	80,50			2,01	1977,79
163	81,00			2,01	1977,78
164	81,50			2,02	1977,78
165	82,00			2,03	1977,77
166	82,50			2,04	1977,76
167	83,00			2,05	1977,75
168	83,50			2,05	1977,74
169	84,00			2,06	1977,73
170	84,50			2,07	1977,72
171	85,00			2,08	1977,71
172	85,50			2,09	1977,71
173	86,00			2,10	1977,70
174	86,50			2,11	1977,68
175	87,00			2,12	1977,67
176	87,50			2,13	1977,66
177	88,00			2,14	1977,66
178	88,50			2,15	1977,65
179	89,00			2,15	1977,64
180	89,50			2,15	1977,64
181	90,00			2,15	1977,64
182	90,50			2,16	1977,64
183	91,00			2,17	1977,63
184	91,50			2,17	1977,62
185	92,00			2,18	1977,62
186	92,50			2,19	1977,61
187	93,00			2,19	1977,60
188	93,50			2,20	1977,59
189	94,00			2,21	1977,59
190	94,50			2,22	1977,58
191	95,00			2,23	1977,57
192	95,50			2,23	1977,56
193	96,00			2,24	1977,55
194	96,50			2,25	1977,54
195	97,00			2,26	1977,53
196	97,50			2,27	1977,52
197	98,00			2,28	1977,52
198	98,50			2,29	1977,51
199	99,00			2,30	1977,50
200	99,50			2,31	1977,49
201	100,00			2,32	1977,48

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo las cotas se ingresa la información al programa que se usa para determinar el IRI y proceder al cálculo como se indica en la siguiente figura:

Figura N° 44 Programa INPACO para obtener el IRI

Cns	Abscisa	Cota (m)
1	0.00	1.978.979
2	0.50	1.978.994
3	1.00	1.978.988
4	1.50	1.978.983
5	2.00	1.978.978
6	2.50	1.978.973
7	3.00	1.978.968
8	3.50	1.978.962
9	4.00	1.978.957
10	4.50	1.978.951
11	5.00	1.978.945
12	5.50	1.978.940
13	6.00	1.978.935
14	6.50	1.978.930
15	7.00	1.978.925

Fuente: Elaboración propia

IRI Determinado por el Método Tradicional de Medición: Se determinó el Índice de Rugosidad Internacional, mediante cotas de cada punto y usando el programa INPACO.

Figura N° 45 Cálculo del IRI, Método tradición de medición IRI

Delta X (mm)	100.00
Número Total de Datos	150
Número de Datos Analizados	150
% de Análisis	100.0
Z1	-0.22
Z2	22.61
Z3	2.24
Z4	-206.83
Y	0.00
σ RSi	563.067
IRI Calculado (m/km)	2.0153

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1.1. Resultados del IRI por Método tradicional de medición.

Tabla N° 17 Resultado del IRI con mira y nivel de tramos urbanos y rurales

Tramo urbano	IRI	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,78	2,8
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	4,16	4
Tramo rural	IRI	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)	3,46	3,39
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,62	2,74
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	3,66	3,12

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2. Método dispositivo basado en el equipo de Merlín.

Para realizar el ensayo se requiere hacer los siguientes pasos:

Calibración del dispositivo: El dispositivo necesita ser calibrado de acuerdo a lo indicado TRRL Research Revist 301, que es colocar el patín a nivel de la pata delantera y trasera, a la altura que el brazo marque 25 en el tablero.

Figura N° 46 Calibración del dispositivo de Merlín



Fuente: Elaboración propia

Ajuste del factor “D”: Se establece un ensayo donde una regla de 6,2 mm de espesor, se coloca en el piso y se lectura; lectura inicial y final para poder hacer la corrección del ajuste debido a desgaste u otros factores.

Figura N° 47 Ajuste del factor “D”



Fuente: Elaboración propia

Ubicación del dispositivo: Se debe poner el dispositivo en el tramo que se va realizar el ensayo ubicándolo en la huella.

Figura N° 48 Posicionamiento del dispositivo de Merlín, para ejecutar el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Lectura de los datos: Se procede hacer el levantamiento de los datos a cada vuelta de la rueda que es a cada 2 metros, se realiza un levantamiento de 200 lecturas en total.

Figura N° 49 Recolección de datos con el dispositivo de Merlín



Fuente: Elaboración propia

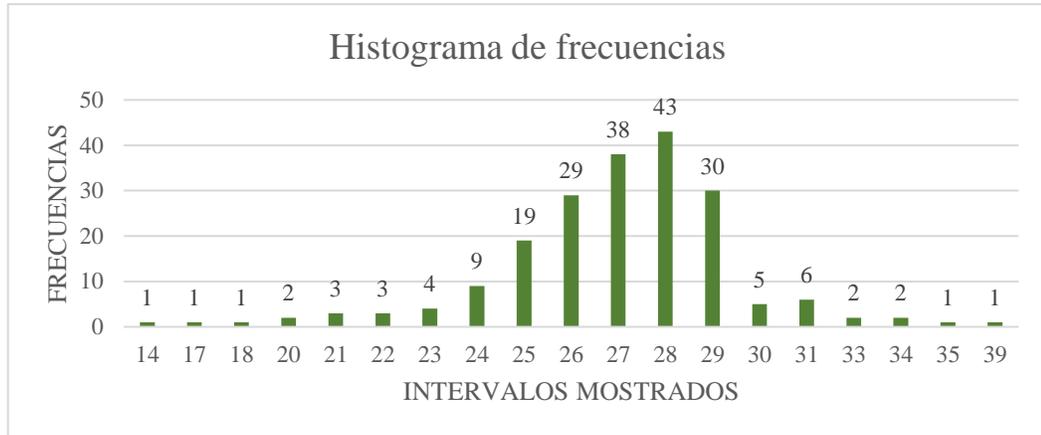
Tabla N° 18 Datos de campo con el dispositivo de Merlín

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28,00	27,00	29,00	25,00	24,00	28,00	28,00	31,00	29,00	29,00
2	28,00	28,00	28,00	25,00	29,00	26,00	27,00	28,00	28,00	28,00
3	26,00	25,00	26,00	24,00	30,00	26,00	29,00	29,00	30,00	18,00
4	26,00	27,00	21,00	25,00	28,00	26,00	29,00	24,00	26,00	28,00
5	28,00	26,00	29,00	29,00	29,00	27,00	28,00	27,00	27,00	34,00
6	28,00	26,00	29,00	25,00	27,00	29,00	29,00	26,00	26,00	22,00
7	28,00	27,00	26,00	26,00	27,00	27,00	28,00	28,00	25,00	22,00
8	28,00	28,00	29,00	28,00	23,00	27,00	25,00	28,00	25,00	27,00
9	31,00	25,00	26,00	24,00	26,00	28,00	29,00	29,00	27,00	27,00
10	26,00	29,00	28,00	24,00	28,00	28,00	27,00	20,00	39,00	28,00
11	27,00	26,00	17,00	25,00	29,00	25,00	25,00	31,00	14,00	24,00
12	28,00	29,00	23,00	27,00	28,00	27,00	34,00	21,00	28,00	23,00
13	24,00	27,00	26,00	27,00	28,00	21,00	30,00	26,00	30,00	27,00
14	25,00	26,00	29,00	28,00	28,00	27,00	27,00	23,00	27,00	26,00
15	29,00	27,00	31,00	29,00	26,00	31,00	28,00	33,00	26,00	29,00
16	27,00	29,00	27,00	29,00	26,00	24,00	27,00	33,00	28,00	30,00
17	27,00	27,00	27,00	28,00	25,00	27,00	26,00	29,00	29,00	35,00
18	28,00	28,00	27,00	27,00	27,00	26,00	27,00	22,00	29,00	25,00
19	24,00	28,00	28,00	26,00	25,00	28,00	25,00	31,00	28,00	28,00
20	26,00	27,00	25,00	29,00	26,00	25,00	28,00	20,00	29,00	27,00

Fuente: Elaboración propia

Histograma de los datos recolectados

Figura N° 50 Histograma de frecuencias



Fuente: Elaboración propia

Tabulación de Datos: Se dispone en un histograma los datos recolectados para su mejor tabulación y poder determinar el valor “D”, el cual también es sacado el factor previamente.

Figura N° 51 Tabulación y determinación de “D”

Se depuran un total de 10% de los datos siendo 5% por cada extremo del histograma

Lado izquierdo	
Valor a dividir (di) =	3
Existente (ei) =	8
Faltante (fi) =	2

Lado derecho	
Valor a dividir (dd) =	6
Existente (ed) =	6
Faltante (fd) =	4

N° de intervalos

Rango medio (dm) = **8**

Entonces "D" viene a ser:

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

$$D=43,33 \text{ mm}$$

Fuente: Elaboración propia

IRI Determinado por método dispositivo de Merlín: Con valor “D” calculado se entra la ecuación ya descrita en la teoría y se determina el IRI.

Figura N° 52 Cálculo del IRI, método dispositivo de Merlín

Cálculo factor de corrección f_c :

Donde:

$$E_p = 6,2$$

$$L_i = 25$$

$$L_f = 15$$

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

$$f_c = 1,24 \text{ mm}$$

Cálculo del rango corregido D_c :

$$D_c = D * f_c$$

$$D_c = 53,73 \text{ mm}$$

Determinación del I.R.I.:

Para pavimentos nuevos:

$$\text{I. R. I.} = 0,0485 * D_c \longrightarrow (\text{IRI} < 2,4)$$

Para pavimentos en servicio:

$$\text{I. R. I.} = 0,593 + 0,0471 * D_c \longrightarrow (2,4 < \text{IRI} < 15,9)$$

Cálculo del I.R.I.:

Aplicando la fórmula para pavimentos en servicio:

$$\text{I. R. I.} = 0,593 + 0,0471 * D_c$$

$$\text{I.R.I.} = 3,12 \text{ m/km}$$

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1. Resultados del IRI por método rugosímetro de Merlín

Tabla N° 19 Resultado del IRI por el método rugosímetro de Merlín

Tramo urbano	IRI	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,62	2,62
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	3,94	4,27
Tramo rural	IRI	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)	3,34	3,47
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,65	2,45
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	3,74	3,54

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Método aplicación del ROADROID para teléfonos inteligentes medición IRI.

Se debe instalar la aplicación en el celular el cual debe tener un sistema operativo Android. En el cual se debe registrar el IMEI del celular para que la empresa proporcione el usuario y contraseña para acceder a la página web de la aplicación y poder descargar los datos

recolectados en campo previo pago por los servicios del software. en nuestro caso fue gratuito por la universidad (U.A.J.M.S) con fines educativos.

Para la toma de datos se utilizó un vehículo descrito a continuación:

Características del vehículo son:

Clase: Camioneta

Marca: Toyota

Tipo de vehículo: HILUX

Cilindrada: 2694 C.c.

Tracción: Doble

Nº de puertas: 4

Capacidad de carga: 1 tonelada

Nº de plazas: 6 personas

Estado del vehículo

Sistema de amortiguador: Óptimo

Presión de inflado en las llantas: 36 psi

Estado de las llantas: Seminuevas

Se procede a instalar el sujetador del celular a la ventana delantera del vehículo el cual tiene que estar fijo, Se debe habilitar el GPS en el celular luego colocarlo horizontalmente en el sujetador.

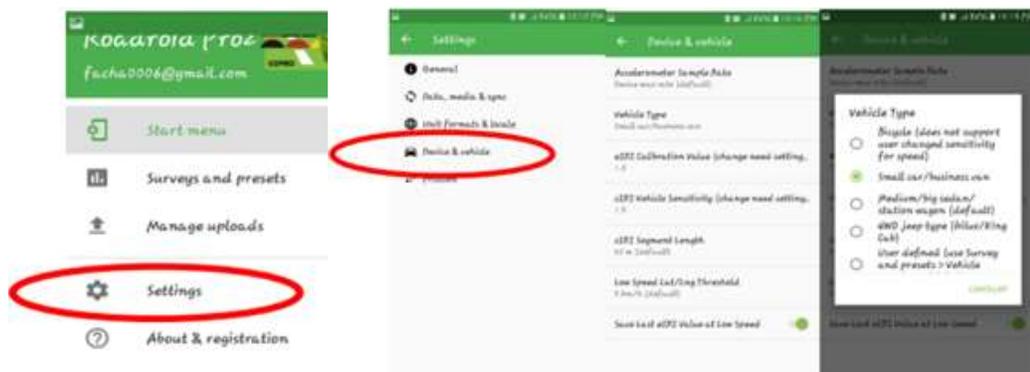
Figura N° 53 Vehículo y sujetador del teléfono



Fuente: Elaboración propia

En la pantalla principal se hace los ajustes correspondientes como el tipo de vehículo.

Figura N° 54 Menú de aplicación



Fuente: Elaboración propia

Se realiza el ajuste en la aplicación X, Y y Z lo cual tiene que ser lo más cerca posible de = 0 se pulsa el botón OK para proceder.

Figura N° 55 Calibración de la posición del móvil



Fuente: Elaboración propia

El sistema se inicia solo si hay una señal GPS, al momento de iniciar el vehículo tiene q estar estático para presionar el botón rojo e iniciar la toma de datos, el vehículo debe ir a una velocidad mínima de 40 km/h.

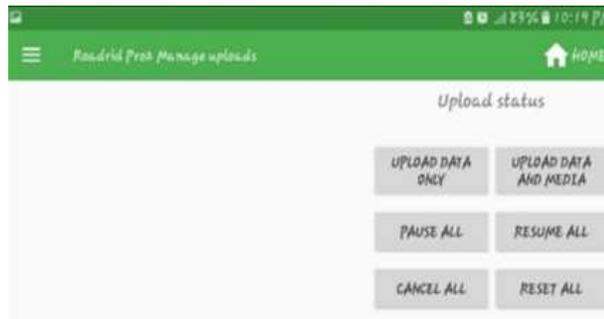
Figura N° 56 Procedimiento para tomar datos



Fuente: Elaboración propia

Luego, se pulsa la opción "Manage Uploads" donde se elige la opción "UPLOAD DATA ONLY" para subir los datos del IRI a la página www.roadroid.com, para descargarlos tenemos que acceder con el usuario y contraseña brindada por la empresa lo cual nos brinda los datos en formato txt.

Figura N° 57 Proceso para subir datos



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 58 Pagina de la aplicación



Fuente: Elaboración propia

Vamos a la opción “Import History”, donde se observa los datos cargados de la carretera ensayada.

Figura N° 59 Importe de datos cargados

Fecha de importación	Nombre de usuario	Nombre de la unidad	Estado de importación	iRI promedio	cIRI promedio	La velocidad promedio	Identificación de la carretera	Longitud de la encuesta (m)	Tipo
22/03/2023 22:43:06	Alejandra 346	Alejandra 346_Unit1	Importar Aceptar	6.1	5.2	60.8	...san mato ida	1144	Condiciones del camino
22/03/2023 22:20:06	Alejandra 346	Alejandra 346_Unit1	Importar Aceptar	4.3	3.9	45.5	...san mato vuelta	1221	Condiciones del camino
22/03/2023 21:50:06	Alejandra 346	Alejandra 346_Unit1	Importar Aceptar	5.4	4.7	59.5	...rta san jacinto-av Jesus molina ida	1114	Condiciones del camino
22/03/2023 21:40:06	Alejandra 346	Alejandra 346_Unit1	Importar Aceptar	5.2	4.8	59.5	...rta san jacinto-Av Jesus molina	1100	Condiciones del camino
22/03/2023 21:30:28	Alejandra 346	Alejandra 346_Unit1	Importar Aceptar	7.9	7.2	58.5	...p boliver vuelta	1231	Condiciones del camino
22/03/2023 21:30:27	Alejandra 346	Alejandra 346_Unit1	Importar Aceptar	8.2	6.8	46.9	...p boliver ida	1183	Condiciones del camino

Fuente: Elaboración propia

Luego de hacer clic en “Details”, aparecerá la siguiente imagen, donde se hace clic en la opción “Generate”, y automáticamente se descargará el archivo en formato .txt.

Figura N° 60 Detalles para la descarga de datos



Fuente: Elaboración propia

Los datos descargados de la página <http://www.roadroid.com>, automáticamente son:

Figura N° 61 Datos que proporciona la aplicación ROADROID en formato “.txt”

*350579457014529-20230312130749-3efef9ab-RCP_aggr (1).txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

cIIRI-sensitivity: 1.5	eIIRI-sensitivity 1										
DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId		
3/12/2023 1:07:50 PM	-21,71908		-64,12122	20	60,25	1761	0	1,58	1,7	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:50 PM	-21,71883908383574		-64,61197836286	40	61,84	1760,95	-0,25	4,88	3,39	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:51 PM	-21,718728735251		-64,6118981436881	60	62,26	1760,85	-0,5	4,63	3,27	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:52 PM	-21,7186212864838		-64,6118246876839	80	63,63	1760,9	0,25	1,93	3,14	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:53 PM	-21,7185837830275		-64,6117454073811	100	61,27	1760,85	-0,25	1,81	2,69	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:54 PM	-21,7183598231865		-64,61165476337	120	58,87	1760,7	-0,75	2,92	2,23	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:55 PM	-21,7181967568529		-64,6115575258331	140	61,45	1760,25	-2,25	4,2	2,15	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:56 PM	-21,7180245022203		-64,611460740784	160	68,9	1759,65	-3	3,27	2,55	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:57 PM	-21,7178528062425		-64,6113607976182	180	75,52	1759,1	-2,75	2,23	2,92	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:58 PM	-21,7176777329561		-64,6112566076213	200	76,89	1758,3	-4	4,34	3,22	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:07:59 PM	-21,7174937836099		-64,6111473341385	220	77,69	1757,4	-4,5	4,91	3,07	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:00 PM	-21,7173081004494		-64,6110351605072	240	78,06	1756,7	-3,5	3,85	3,22	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:01 PM	-21,7171195074181		-64,6109229615889	260	79,25	1756,2	-2,5	3,32	2,78	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:02 PM	-21,7169237997567		-64,6108080686964	280	80,84	1756	-1	4,03	3,13	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:04 PM	-21,7167270822975		-64,6106881868644	300	80,84	1756	0	4,03	3,13	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:04 PM	-21,7167222652037		-64,6106852389205	320	81	1755,7	-1,5	4,22	3,92	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:05 PM	-21,7166919654966		-64,6106664262181	340	79,1	1755,1	-3	4,3	2,68	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:06 PM	-21,7165063601361		-64,6105511342017	360	77,44	1754,45	-3,25	4,39	2,73	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:06 PM	-21,71632444809619		-64,6104384086812	380	77,03	1753,95	-2,5	2,59	2,7	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:07 PM	-21,7161435811809		-64,6103255977751	400	77,85	1753,6	-1,75	2,44	2,51	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:08 PM	-21,715957894914		-64,6102184552358	420	79,08	1753,25	-1,75	2,34	2,76	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:09 PM	-21,7157681020305		-64,6100925088782	440	79,82	1752,75	-2,5	3,13	2,88	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:10 PM	-21,7155744597138		-64,6099732805833	460	80,44	1751,9	-4,25	3,14	3,06	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:11 PM	-21,7153762479645		-64,6098512543601	480	81,14	1751,05	-4,25	2,44	3,06	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:12 PM	-21,7151757310582		-64,6097287971248	500	81,14	1751,05	0	2,44	3,06	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:12 PM	-21,7151722837349		-64,6097266979168	520	81,94	1750,3	-3,75	2,48	2,66	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:13 PM	-21,7151328449484		-64,6097027373844	540	82,18	1749,55	-3,75	3,57	2,85	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:14 PM	-21,714933588424		-64,6095806322231	560	82	1749,05	-2,5	3,99	3,23	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:15 PM	-21,7147376331366		-64,6094545480388	580	81,19	1748,8	-1,25	4,51	2,96	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:16 PM	-21,714550183957		-64,6093280368566	600	80,83	1748,8	0	3,99	2,46	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:17 PM	-21,7143762632025		-64,6092059667208	620	81,07	1749,1	1,5	2,23	3,19	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:18 PM	-21,7142087828805		-64,6090808345289	640	80,65	1749,5	2	2,84	3,73	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:19 PM	-21,7140398743044		-64,6089393881803	660	80,01	1749,8	1,5	2,75	3,08	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:20 PM	-21,7138778552306		-64,6087885287911	680	79,64	1750,1	1,5	3,53	3,43	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:21 PM	-21,7137260254677		-64,6086321283934	700	79,62	1750,3	1	4,44	3,15	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:22 PM	-21,7135859321549		-64,6084685811682	720	78,27	1750,2	-0,5	3,27	2,83	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:23 PM	-21,713453013059		-64,6082980168504	740	78,27	1750,2	0	3,27	2,83	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:23 PM	-21,7134530000196		-64,6082980000253	760	76,78	1749,9	-1,5	2,23	2,84	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:24 PM	-21,7134358956477		-64,6082749585998	780	76,79	1749,35	-2,75	3,32	3,16	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:25 PM	-21,7133844989027		-64,6080993585779	800	78,12	1748,65	-3,5	4,63	3,79	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:26 PM	-21,7131647402167		-64,6079235404818	820	78,95	1747,9	-3,75	3,91	3,45	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:27 PM	-21,7130131535977		-64,6077515958735	840	79,16	1747,05	-4,25	2,95	2,48	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:28 PM	-21,712852736389		-64,6075842143375	860	80,33	1746,1	-4,75	2,47	2,18	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:29 PM	-21,7126800674756		-64,6074213248365	880	81,9	1745	-5,5	4,21	3,26	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:30 PM	-21,7124929637493		-64,6072655865843	900	82,76	1743,9	-5,5	5,63	3,48	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:31 PM	-21,7122958900653		-64,6071235199312	920	82,76	1743,9	0	5,63	3,48	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:31 PM	-21,7122896258223		-64,6071197185733	940	82,72	1742,8	-5,5	4,78	2,94	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:32 PM	-21,7122463732246		-64,6070926761248	960	82,72	1741,45	-6,75	4,85	3,11	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:33 PM	-21,7120487760712		-64,6069733854287	980	83,23	1739,85	-8	5,71	3,18	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:34 PM	-21,7118284057582		-64,6068701817808	1000	83,41	1738,25	-8	4,92	2,78	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:35 PM	-21,7116073863528		-64,6067812788698	1020	83,14	1736,7	-7,75	3,12	2,47	San Mateo - Sella ida	
3/12/2023 1:08:36 PM	-21,711388593121		-64,6067018225484	1040	83,96	1735,1	-8	3,07	2,88	San Mateo - Sella ida	

Fuente: Aplicación ROADROID

Tabla N° 20 Datos de la aplicación de ROADROID

DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId
03/12/2023 13:07	-21,71908	-64,612122	20	60,25	1761	0	1,58	1,7	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,718839	-64,611197	40	61,84	1760,95	-0,25	4,88	1,39	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,718729	-64,611898	60	62,26	1760,85	-0,5	3,13	3,27	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,718621	-64,611825	80	63,63	1760,9	0,25	1,93	3,14	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,718504	-64,611745	100	61,27	1760,85	-0,25	1,81	2,19	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,71836	-64,611655	120	58,87	1760,7	-0,75	2,92	2,23	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,718197	-64,611558	140	61,45	1760,25	-2,25	4,2	2,15	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,718025	-64,611461	160	68,9	1759,65	-3	3,27	2,28	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,717853	-64,611361	180	75,52	1759,1	-2,75	2,23	2,42	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,717678	-64,611257	200	76,89	1758,3	-4	4,34	3,22	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:07	-21,717494	-64,611147	220	77,69	1757,4	-4,5	4,91	3,07	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,717308	-64,611035	240	78,06	1756,7	-3,5	3,85	3,22	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,71712	-64,610923	260	79,25	1756,2	-2,5	3,32	2,78	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716924	-64,610808	280	80,84	1756	-1	4,03	2,27	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716727	-64,610688	300	80,84	1756	0	4,03	3,13	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716722	-64,610685	320	81	1755,7	-1,5	4,22	3,92	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716692	-64,610666	340	79,1	1755,1	-3	4,3	2,68	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716506	-64,610551	360	77,44	1754,45	-3,25	4,39	2,73	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716324	-64,610438	380	77,03	1753,95	-2,5	2,59	2,7	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,716144	-64,610326	400	77,85	1753,6	-1,75	2,44	2,51	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715958	-64,61021	420	79,08	1753,25	-1,75	2,34	2,76	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715768	-64,610093	440	79,82	1752,75	-2,5	3,13	2,88	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715574	-64,609973	460	80,44	1751,9	-4,25	3,14	3,34	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715376	-64,609851	480	81,14	1751,05	-4,25	2,44	2,14	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715176	-64,609729	500	81,14	1751,05	0	2,44	3,06	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715172	-64,609727	520	81,94	1750,3	-3,75	2,48	2,66	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,715133	-64,609703	540	82,18	1749,55	-3,75	3,57	2,85	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,714934	-64,609581	560	82	1749,05	-2,5	3,99	3,23	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,714738	-64,609455	580	81,19	1748,8	-1,25	4,51	2,01	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,71455	-64,609328	600	80,83	1748,8	0	3,99	2,46	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,714376	-64,609206	620	81,07	1749,1	1,5	2,23	3,19	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,714209	-64,60908	640	80,65	1749,5	2	2,84	3,73	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,71404	-64,608939	660	80,01	1749,8	1,5	2,75	3,08	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713877	-64,608789	680	79,64	1750,1	1,5	3,53	3,43	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713726	-64,608632	700	79,62	1750,3	1	4,44	3,15	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713586	-64,608469	720	78,27	1750,2	-0,5	3,27	2,83	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713453	-64,608298	740	78,27	1750,2	0	3,27	2,83	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713453	-64,608298	760	76,78	1749,9	-1,5	2,23	2,84	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713436	-64,608275	780	76,79	1749,35	-2,75	3,32	3,16	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713304	-64,608099	800	78,12	1748,65	-3,5	4,63	3,79	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713165	-64,607924	820	78,95	1747,9	-3,75	3,91	3,45	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,713013	-64,607752	840	79,16	1747,05	-4,25	2,95	2,48	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,712853	-64,607584	860	80,33	1746,1	-4,75	2,47	2,18	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,71268	-64,607421	880	81,9	1745	-5,5	4,21	3,26	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,712493	-64,607266	900	82,76	1743,9	-5,5	5,63	3,48	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,712295	-64,607124	920	82,76	1743,9	0	5,63	3,48	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,71229	-64,60712	940	82,72	1742,8	-5,5	4,78	2,94	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,712246	-64,607093	960	82,72	1741,45	-6,75	4,85	3,11	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,712041	-64,606973	980	83,23	1739,85	-8	5,71	3,18	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,711828	-64,60687	1000	83,41	1738,25	-8	4,92	2,78	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,711607	-64,606781	1020	83,14	1736,7	-7,75	3,12	2,88	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,711381	-64,606702	1040	83,96	1735,1	-8	3,07	3,88	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,711145	-64,606627	1060	83,96	1735,1	0	3,07	2,88	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,711142	-64,606626	1080	84,73	1733,55	-7,75	5,91	3,43	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,711083	-64,606609	1100	84,42	1732,2	-6,75	5,38	3,13	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,71085	-64,606544	1120	84,28	1731,15	-5,25	2,25	2,08	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,710622	-64,606478	1140	82,76	1730,25	-4,5	2,03	1,87	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,710407	-64,606412	1160	79,04	1729,4	-4,25	2,04	2,21	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,710204	-64,606343	1180	76,51	1728,65	-3,75	2,16	2,33	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,710014	-64,606274	1200	74,81	1728,05	-3	2,12	2,39	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,709837	-64,606203	1220	72,04	1727,75	-1,5	2,62	2,35	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,709677	-64,606128	1240	69,85	1727,55	-1	2,86	2,38	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,709534	-64,606051	1260	68,36	1727,25	-1,5	2,29	2,14	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,709397	-64,605967	1280	68,37	1726,9	-1,75	1,93	2,49	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,709257	-64,605874	1300	69,99	1726,45	-2,25	2,6	2,58	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,709119	-64,605769	1320	70,78	1725,95	-2,5	4,81	2,2	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708987	-64,605649	1340	70,79	1725,55	-2	5,44	2,21	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708861	-64,605524	1360	71	1725,2	-1,75	5,3	2,24	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708742	-64,605393	1380	70,59	1724,7	-2,5	3,93	2,98	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708625	-64,605259	1400	70,03	1724,25	-2,25	2,05	2,79	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708506	-64,605121	1420	70,87	1724	-1,25	13,73	2,16	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708393	-64,604977	1440	70,51	1723,55	-2,25	20,19	3,41	San Mateo - Sello ida
03/12/2023 13:08	-21,708292	-64,604832	1460	68,95	1722,85	-3,5	20,54	2,22	San Mateo - Sello ida

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas Mediante el IRI (aplicación de ROADROID), realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos.

los siguientes datos estadísticos:

Media ($\bar{\alpha}$)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = 2,767$$

Varianza (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \mu)^2}{N} = \overline{(X - \mu)^2} = 0,290$$

Desviación estándar (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \mu)^2}{N}} = \sqrt{\overline{(X - \mu)^2}} = 0,539$$

Rango

$$\text{Máximo} = \bar{\alpha} + \sigma = 2,767 + 0,539 = 3,306 \quad \text{Mínimo} = \bar{\alpha} - \sigma = 2,767 - 0,539 = 2,228$$

Tabla N° 21 Datos depurados de la aplicación ROADROID

Date Time	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
03/12/2023 13:07	-21,7187287	-64,611898	60	62,26	1760,85	-0,5	3,13	3,27	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:07	-21,7186213	-64,611825	80	63,63	1760,9	0,25	1,93	3,14	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:07	-21,7183598	-64,611655	120	58,87	1760,7	-0,75	2,92	2,23	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:07	-21,7180245	-64,611461	160	68,9	1759,65	-3	3,27	2,28	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:07	-21,7178528	-64,611361	180	75,52	1759,1	-2,75	2,23	2,42	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:07	-21,7176777	-64,611257	200	76,89	1758,3	-4	4,34	3,22	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:07	-21,7174937	-64,611147	220	77,69	1757,4	-4,5	4,91	3,07	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7173081	-64,611035	240	78,06	1756,7	-3,5	3,85	3,22	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7171195	-64,610923	260	79,25	1756,2	-2,5	3,32	2,78	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7169238	-64,610808	280	80,84	1756	-1	4,03	2,27	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7167271	-64,610688	300	80,84	1756	0	4,03	3,13	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,716692	-64,610666	340	79,1	1755,1	-3	4,3	2,68	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7165064	-64,610551	360	77,44	1754,45	-3,25	4,39	2,73	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7163245	-64,610438	380	77,03	1753,95	-2,5	2,59	2,7	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7161436	-64,610326	400	77,85	1753,6	-1,75	2,44	2,51	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7159579	-64,61021	420	79,08	1753,25	-1,75	2,34	2,76	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7157681	-64,610093	440	79,82	1752,75	-2,5	3,13	2,88	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7151757	-64,609729	500	81,14	1751,05	0	2,44	3,06	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7151723	-64,609727	520	81,94	1750,3	-3,75	2,48	2,66	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7151328	-64,609703	540	82,18	1749,55	-3,75	3,57	2,85	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7149336	-64,609581	560	82	1749,05	-2,5	3,99	3,23	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7145502	-64,609328	600	80,83	1748,8	0	3,99	2,46	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7143763	-64,609206	620	81,07	1749,1	1,5	2,23	3,19	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7140399	-64,608939	660	80,01	1749,8	1,5	2,75	3,08	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,713726	-64,608632	700	79,62	1750,3	1	4,44	3,15	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7135859	-64,608469	720	78,27	1750,2	-0,5	3,27	2,83	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,713453	-64,608298	740	78,27	1750,2	0	3,27	2,83	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,713453	-64,608298	760	76,78	1749,9	-1,5	2,23	2,84	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7134359	-64,608275	780	76,79	1749,35	-2,75	3,32	3,16	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7130132	-64,607752	840	79,16	1747,05	-4,25	2,95	2,48	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7126801	-64,607421	880	81,9	1745	-5,5	4,21	3,26	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7122896	-64,60712	940	82,72	1742,8	-5,5	4,78	2,94	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7122464	-64,607093	960	82,72	1741,45	-6,75	4,85	3,11	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7120408	-64,606973	980	83,23	1739,85	-8	5,71	3,18	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7118284	-64,60687	1000	83,41	1738,25	-8	4,92	2,78	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7116074	-64,606781	1020	83,14	1736,7	-7,75	3,12	2,88	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7111145	-64,606627	1060	83,96	1735,1	0	3,07	2,88	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7110835	-64,606609	1100	84,42	1732,2	-6,75	5,38	3,13	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7102041	-64,606343	1180	76,51	1728,65	-3,75	2,16	2,33	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7100143	-64,606274	1200	74,81	1728,05	-3	2,12	2,39	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7098375	-64,606203	1220	72,04	1727,75	-1,5	2,62	2,35	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7096775	-64,606128	1240	69,85	1727,55	-1	2,86	2,38	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7093973	-64,605967	1280	68,37	1726,9	-1,75	1,93	2,49	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7092569	-64,605874	1300	69,99	1726,45	-2,25	2,6	2,58	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7088614	-64,605524	1360	71	1725,2	-1,75	5,3	2,24	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7087418	-64,605393	1380	70,59	1724,7	-2,5	3,93	2,98	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7086245	-64,605259	1400	70,03	1724,25	-2,25	2,05	2,79	San Mateo - Sella ida
03/12/2023 13:08	-21,7082915	-64,604832	1460	68,95	1722,85	-3,5	20,54	2,22	San Mateo - Sella ida

Fuente: Elaboración propia

Entonces para sacar el promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango establecido anteriormente, es así que obtenemos un promedio de internacional IRI = 2,79 m/km que corresponde a una rugosidad de PAVIMENTOS en estado BUENO.

3.2.2.3.1. Resultados del IRI por Método aplicación del ROADROID.

Tabla N° 22 Resultado del IRI en zona urbana por el método teléfono inteligente aplicación del ROADROID

Tramo urbano	IRI	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,65	2,76
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	4,97	4,91
Tramo rural	IRI	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)	3,69	3,98
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,79	2,67
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	4	3,94

Fuente: Elaboración propia

3.3. Procedimiento para determinar el nivel de servicio

El tráfico vehicular en estudio se puede decir que es fluido, ya que por los tramos en estudio circulan toda clase de vehículos como: automóviles, camionetas, camiones, microbuses, vagonetas, mini buses y motos.

3.3.1. Determinación de volúmenes de tráfico

Para conocer con más detalle el tráfico vehicular de cada tramo en zonas urbanas y rurales se realizó la selección de la norma ABC que establece como tiempo de aforo mínimo para un proyecto vial 7 días de la semana y el método manual para el levantamiento de datos.

Tabla N° 23 Análisis de volumen de tráfico zona urbana

Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)							
Aforo vehicular durante una semana							
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Total de ida	262	238	218	257	265	230	190
Total de vuelta	241	266	274	249	294	251	221
Adoptado	294						
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)							
Aforo vehicular durante una semana							
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Total de ida	3 379	3 343	3 374	3 423	3 470	3 396	3 309
Total de vuelta	3 576	3 530	3 589	3 646	3 719	3 711	3 644
Adoptado	3 719						

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24 Análisis de tráfico zona rural

El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)							
Aforo vehicular durante una semana							
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Total de ida	3 630	3 573	3 549	3 595	3 650	4 602	4 534
Total de vuelta	3 464	3 398	3 450	3 566	3 706	4 359	4 279
Adoptado	4 602						
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)							
Aforo vehicular durante una semana							
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Total de ida	372	376	384	388	453	585	541
Total de vuelta	400	402	386	379	403	537	482
Adoptado	585						
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)							
Aforo vehicular durante una semana							
Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Total de ida	1 134	1 104	1 163	1 153	1 155	1 055	979
Total de vuelta	1 165	1 125	1 206	1 195	1 210	1 270	1 234
Adoptado	1 270						

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Determinación de la capacidad vehicular

$$C = 3200 * f_{pe} * f_d * f_{cd} * f_p$$

Donde:

C = Capacidad real

f_{pe} = Factor de correlación a la capacidad por pendiente

f_d = Factor por distribución por sentidos y zonas de no rebase

f_{cd} = Factor por ancho de carril y berma

f_p = Factor por presencia de vehículos pesados

Las características geométricas de los pavimentos flexibles en la zona urbana son las siguientes:

➤ **Tramo 1:** Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)

- Ancho vía 11,5 m

- Ancho carril de 5,75 m

- Ancho berma de 0 m

- Pendiente de carril 4,7 %

- Tramo de estudio: 1000 m

➤ **Tramo 2:** Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)

- Ancho vía 7,5 m

- Ancho carril de 3,75 m

- Ancho berma de 1 m

- Pendiente de carril 1,4 %

- Tramo de estudio: 1000 m

Tabla N° 25 Análisis de la capacidad real zona urbano

Tramo urbano	Capacidad real
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2 300
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	2 545

Fuente: Elaboración propia

Las características geométricas de los pavimentos flexibles en la zona rural son las siguientes:

➤ **Tramo 3:** El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)

- Ancho vía 7,5 m
- Ancho carril de 3,75 m
- Ancho berma de 1 m
- Pendiente de carril 2 %
- Tramo de estudio: 1000 m

➤ **Tramo 4:** Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

- Ancho vía 7 m
- Ancho carril de 3,5 m
- Ancho berma de 0,5 m
- Pendiente de carril 2,9 %
- Tramo de estudio: 1000 m

➤ **Tramo 5:** Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)

- Ancho vía 7,5 m
- Ancho carril de 3,75 m

- Ancho berma de 1 m
- Pendiente de carril 4,4 %
- Tramo de estudio: 1000 m

Tabla N° 26 Análisis de la capacidad real zona rural

Tramo rural	Capacidad real
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)	2335
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2424
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	2220

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Determinación del nivel de servicio de cada tramo

Se clasificó según el volumen y capacidad vehicular que hay en cada tramo en la zona urbana y en la zona rural de la ciudad de Tarija, para conocer el nivel de servicio y el flujo que presenta los pavimentos en estudio.

3.3.3.1. Índice de congestionamiento

$$\text{Índice de congestionamiento} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Capacidad Real}}$$

Tabla N° 27 Análisis del nivel de servicio zona urbana

Tramo urbano	Índice de congestionamiento	Nivel de servicio	Flujo vehicular
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto – Casa del Mariachi)	0,13	C	Flujo estable
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones – Calle 10)	1,46	F	Flujo inestables

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28 Análisis del nivel de servicio zona rural

Tramo rural	Índice de congestión	Nivel de servicio	Flujo vehicular
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	1,97	F	Flujo inestable
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	0,24	C	Flujo estable
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)	0,57	D	Próximo a flujo inestable

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis comparativo de las metodologías usadas en el cálculo del IRI

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, $IRI = 0$) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida. Las diferencias entre los perfiles obedecen principalmente al proceso constructivo y a la utilización de la carretera.

Como se mencionó anteriormente el comportamiento de los pavimentos se puede asociar a valores de su regularidad en el tiempo, como el IRI es un indicador de esta, finalmente es posible asociar comportamiento a valores de IRI. La importancia de este concepto entonces, está directamente relaciona con el comportamiento del pavimento en su vida útil, representa el efecto sobre el vehículo del usuario del camino que tienen las desviaciones de la superficie del pavimento (causa) respecto a una superficie plana teórica con dimensiones suficientes para afectar la dinámica del vehículo y la calidad al manejar.

Tabla N° 29 Estado vial según rugosidad

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

Fuente: Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos MTC, que representa la rugosidad máxima según el tipo de carpeta asfáltica

Entonces, la importancia de este concepto es que está directamente relacionado con el comportamiento del pavimento en su vida útil lo cual permite tomar decisiones como definir intervenciones en el camino asociado a valores de IRI para una adecuada gestión vial. Además, se ha determinado que un pavimento con menor IRI inicial implica mayor vida útil y necesidad de menor intervención lo cual es muy relevante ya que en la práctica

muchas veces los caminos pavimentados no son conservados oportunamente con lo que su deterioro se acelera y no prestan un nivel de servicio adecuado para el usuario.

Una vez expuestos los resultados obtenidos para la medición del índice de rugosidad internacional, se presenta a continuación el análisis de los resultados para los diferentes métodos.

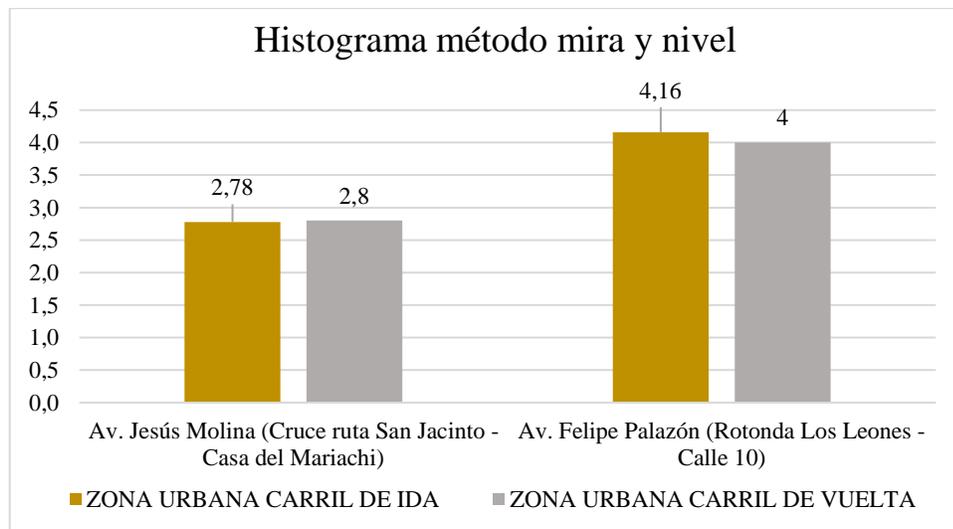
4.1.1. Análisis de resultado del método tradicional de medición (mira y nivel)

Tabla N° 30 Resultados de ambos carriles de los tramos urbanos método mira y nivel

Tramo urbano	Media mira y nivel	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,78	2,80
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	4,16	4,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 1 Histograma método mira y nivel carril ida y vuelta zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Por lo que nos indica el histograma (Gráfica N°1), con la determinación del IRI obtenido, nos muestra los tramos donde se aplicó el método mira y nivel con el programa de INPACO, lo cual nos indica el comportamiento en el pavimento flexible. Los resultados también nos muestran el calculado del promedio del IRI en los diferentes tramos.

En el tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi) en el carril de ida con un valor promedio de 2,78 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 2,8 m/km lo cual nos indica que este pavimento se encuentra en un estado BUENO de (Tabla N° 29).

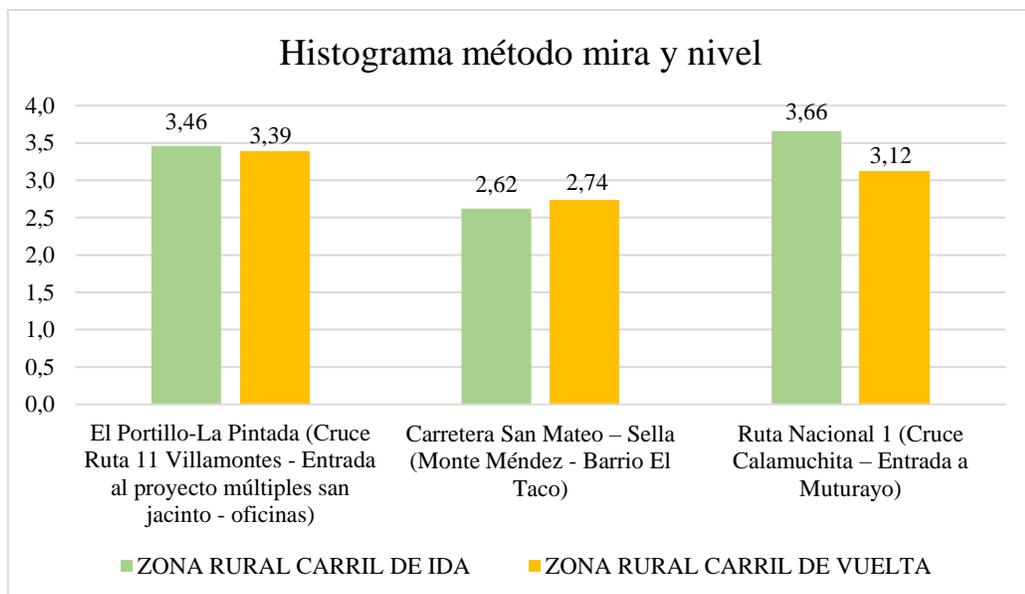
En el tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10) en el carril de ida con un valor promedio de 4,16 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 4,00 m/km lo cual nos indica que este pavimento se encuentra en un estado MALO de (Tabla N° 29).

Tabla N° 31 Resultados de ambos carriles de los tramos rurales método mira y nivel

Tramo rural	Media mira y nivel	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	3,46	3,39
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,62	2,74
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)	3,66	3,12

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 2 Histograma método mira y nivel carril ida y vuelta zona rural



Fuente: Elaboración propia

En este histograma de la (Gráfica N°2), podemos observar el valor del IRI entre ambos carriles de cada tramo, por el método mira y nivel, el cual nos indica.

En el tramo 3: El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas) en el carril de ida con un valor promedio de 3,46 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 3,39 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado REGULAR de (Tabla N° 29).

En el tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco) en el carril de ida con un valor promedio de 2,62 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 2,74 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado BUENO de (Tabla N° 29).

En el tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo) en el carril de ida con un valor promedio de 3,66 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 3,12 m/km lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado REGULAR de (Tabla N° 29).

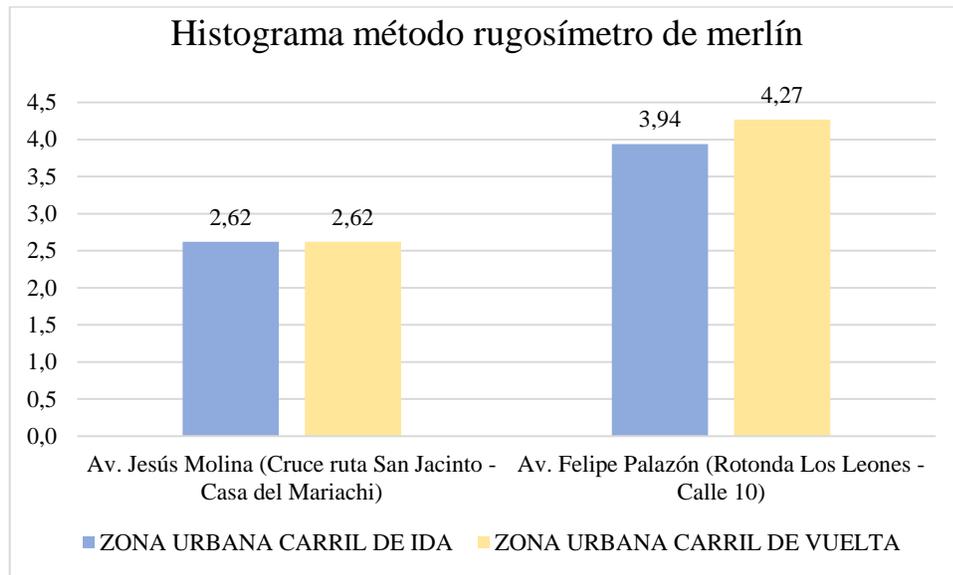
4.1.2. Análisis de resultado del método rugosímetro de Merlín

Tabla N° 32 Resultados de ambos carriles de los tramos urbanos método rugosímetro de Merlín

Tramo urbano	Media rugosímetro de Merlín	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,62	2,62
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	3,94	4,27

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 3 Histograma método rugosímetro de Merlín carril ida y vuelta zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Por lo que nos indica el histograma de la (Gráfica N° 3), con la determinación del IRI obtenido en los tramos, nos muestra los diferentes tramos donde se aplicó el método del dispositivo basado en el equipo de Merlín, lo cual nos indica el comportamiento en el pavimento flexible. Los resultados también nos muestran el calculado del promedio del IRI en los diferentes tramos.

En el tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi) en el carril de ida con un valor promedio de 2,62 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 2,62 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado BUENO de (Tabla N° 29).

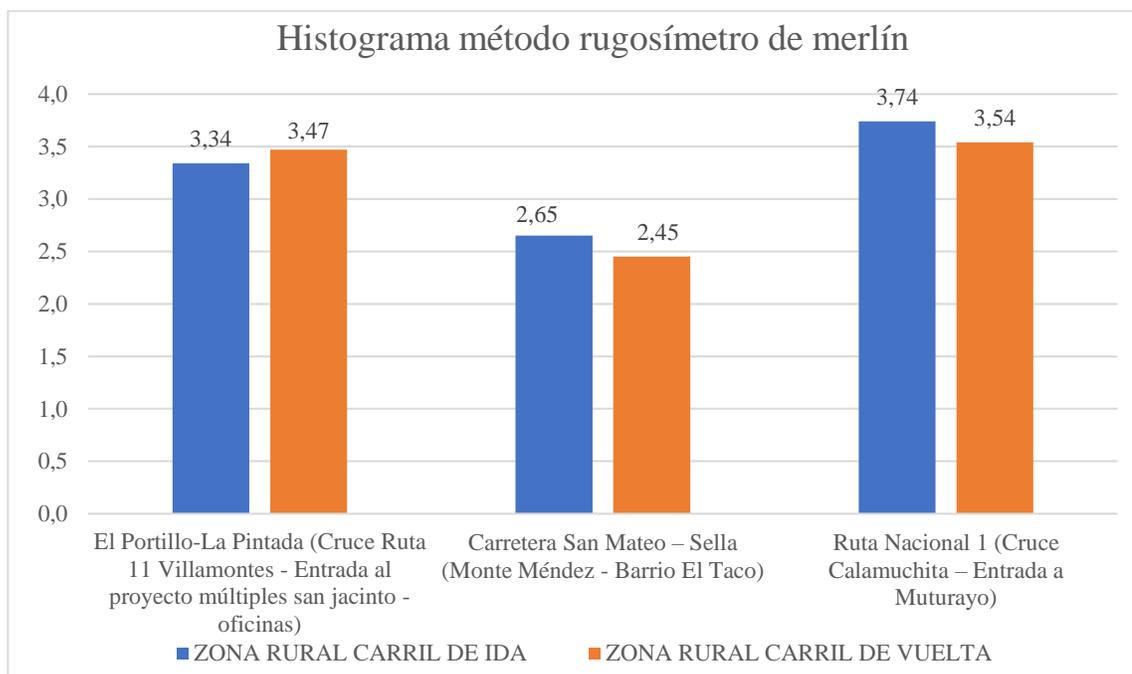
En el tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10) en el carril de ida con un valor promedio de 3,94 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 4,27 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado MALO de (Tabla N° 29).

Tabla N° 33 Resultados de ambos carriles de los tramos rurales método rugosímetro de Merlín

Tramo rural	Media rugosímetro de Merlín	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	3,34	3,47
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,65	2,45
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)	3,74	3,54

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 4 Histograma método rugosímetro de Merlín carril ida y vuelta zona rural



Fuente: Elaboración propia

En la (Gráfica N°4) la gráfica nos muestra los resultados del IRI con el equipo de Merlín, se puede observar los valores promedios de ambos carriles.

En el tramo 3: El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas) en el carril de ida con un valor promedio de 3,34 m/km y

en el carril de vuelta con un valor promedio de 3,47 m/km, lo cual nos indica que este pavimento se encuentra en un estado REGULAR de (Tabla N° 29).

En el tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco) en el carril de ida con un valor promedio de 2,65 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 2,45 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado BUENO de (Tabla N° 29).

En el tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo) en el carril de ida con un valor promedio de 3,74 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 3,54 m/km, esto nos indica que este pavimento se encuentra en un estado REGULAR de (Tabla N° 29).

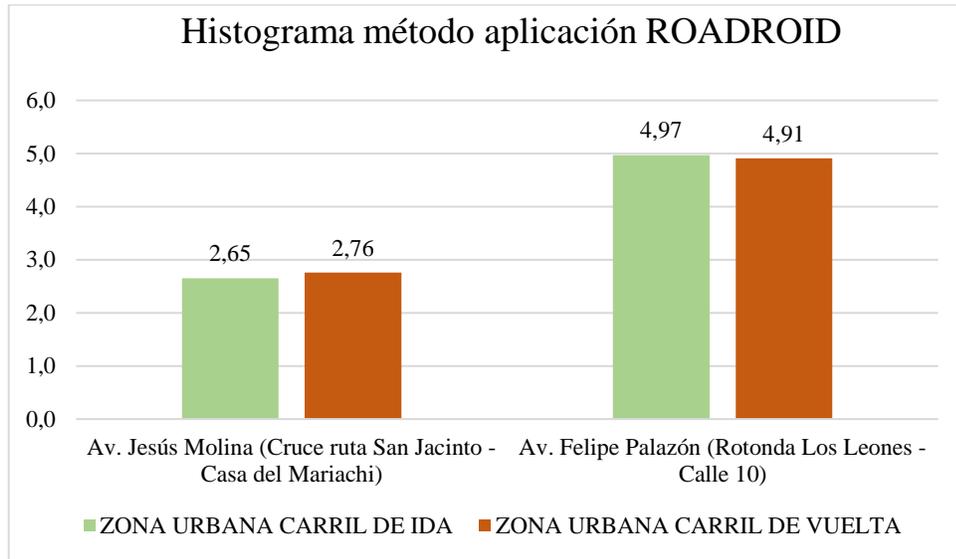
4.1.3. Análisis de resultado de la aplicación ROADROID

Tabla N° 34 Resultados de ambos carriles de los tramos urbanos método aplicación ROADROID

Tramo urbano	Media aplicación ROADROID	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,65	2,76
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	4,97	4,91

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 5 Histograma método aplicación ROADROID carril ida y vuelta zona urbana



Fuente: Elaboración propia

En esta grafica del histograma de la (Gráfica N°5), nos indica el resultado del IRI obtenido, nos muestra los tramos donde se aplicó el método del dispositivo inteligente la aplicación del ROADROID, lo cual nos indica el comportamiento en el pavimento flexible. Los resultados también nos muestran el calculado del promedio del IRI en los diferentes tramos.

En el tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi) en el carril de ida con un valor promedio de 2,65 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 2,76 m/km, lo cual nos indica que este pavimento se encuentra en un estado BUENO de (Tabla N° 29).

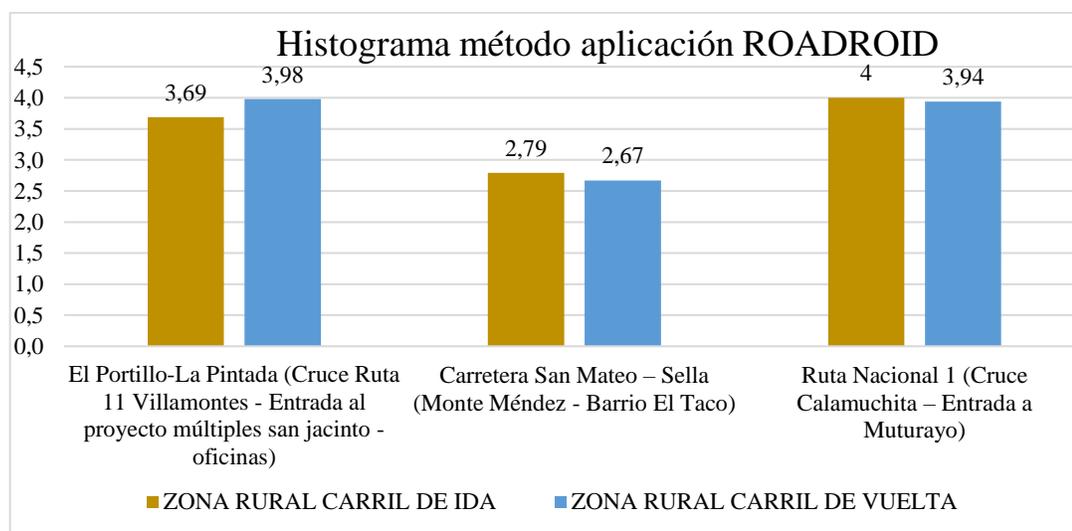
En el tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10) en el carril de ida con un valor promedio de 4,97 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 4,91 m/km, lo cual nos indica que este pavimento se encuentra en un estado MALO de (Tabla N° 29).

Tabla N° 35 Resultados de ambos carriles de los tramos rurales método aplicación ROADROID

Tramo rural	Media aplicación ROADROID	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)	3,69	3,98
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,79	2,67
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	4,00	3,94

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 6 Histograma método aplicación ROADROID carril ida y vuelta zona rural



Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en el histograma de la (Gráfica N°6), los resultados promedios del IRI por el método de celulares inteligentes con la aplicación del ROADROID, al igual que la anterior gráfica nos indica los valores promedios del IRI.

En el tramo 3: El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas) en el carril de ida con un valor promedio de 3,69 m/km

y en el carril de vuelta con un valor promedio de 3,98 m/km, lo cual nos indica que este pavimento se encuentra en un estado REGULAR de (Tabla N° 29).

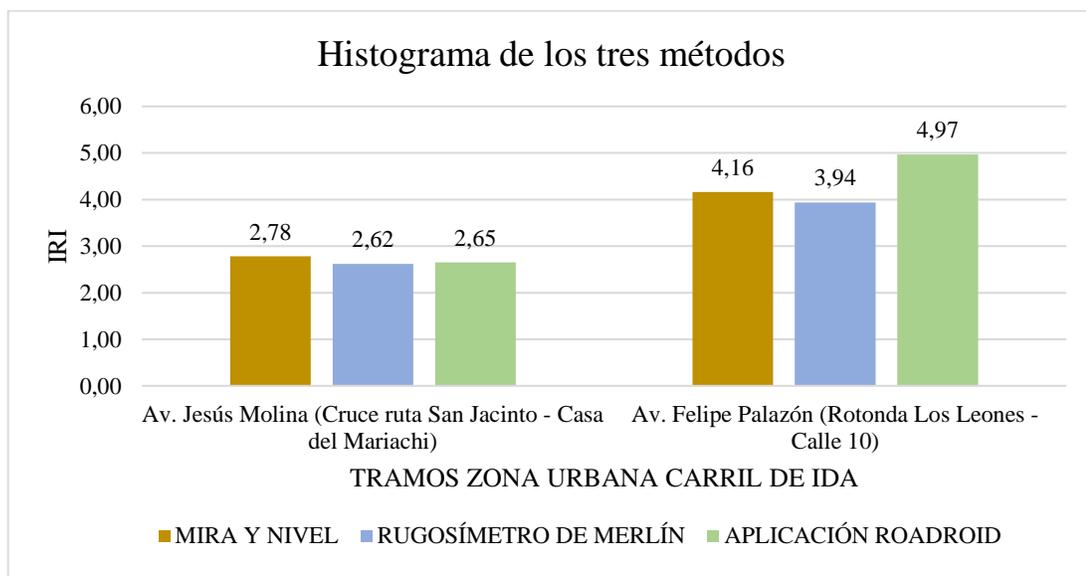
En el tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco) en el carril de ida con un valor promedio de 2,79 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 2,67 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado BUENO de (Tabla N° 29).

En el tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo) en el carril de ida con un valor promedio de 4,00 m/km y en el carril de vuelta con un valor promedio de 3,94 m/km, lo que nos indica que este pavimento se encuentra en un estado REGULAR de (Tabla N° 29).

4.1.4. Análisis comparativo de los tres métodos para determinar el IRI

4.1.4.1. Histogramas por los tres métodos zona urbana

Gráfica N° 7 Histograma de los tres métodos aplicados en la zona urbana carril de ida

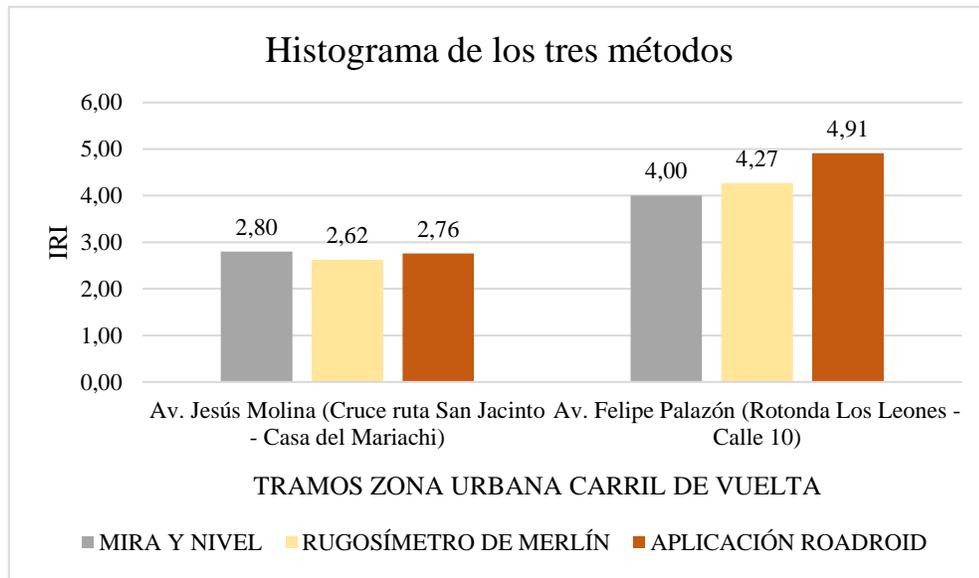


Fuente: Elaboración propia

En la (Gráfica N°7) en la gráfica se puede observar los valores promedios del IRI por cada método en el carril de ida el método del equipo del merlín muestra los valores mínimos del IRI, con el método de la aplicación ROADROID muestra valores máximos del IRI, se

puede observar que existe una variación de resultados por cada método unos más altos que otros, el cual también presenta un estado en el que se encuentran los pavimentos en la zona urbana.

Gráfica N° 8 Histograma de los tres métodos aplicados en la zona urbana carril de vuelta

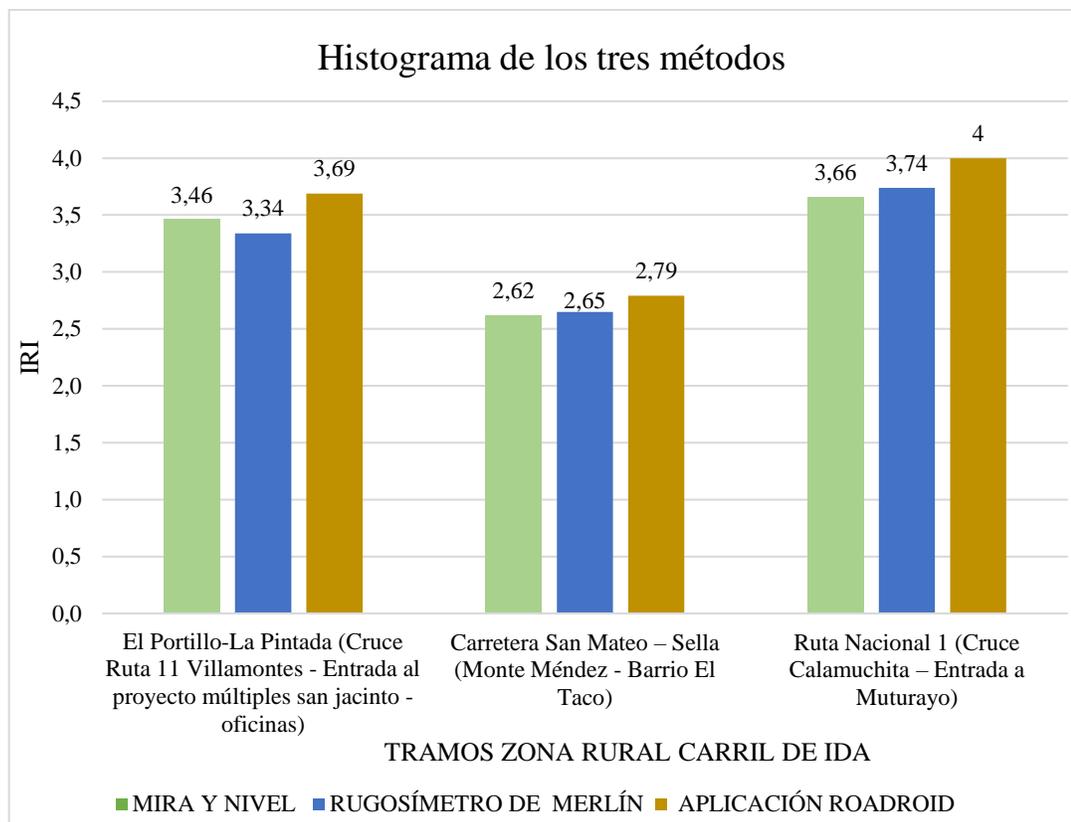


Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la anterior gráfica en esta (Gráfica N°8) en el histograma se puede observar los valores promedios del IRI en cada tramo en el carril de vuelta por los tres métodos estudiados, lo cual no es una variación muy notoria por cada método en el carril de ida el método del equipo del merlín muestra un valor medio del IRI, y con el método de la aplicación ROADROID muestra valores máximos del IRI estos valores nos indica el estado en el que se encuentra el pavimento flexible en la zona urbana de la ciudad de Tarija.

4.1.4.2. Histogramas por los tres métodos zona rural

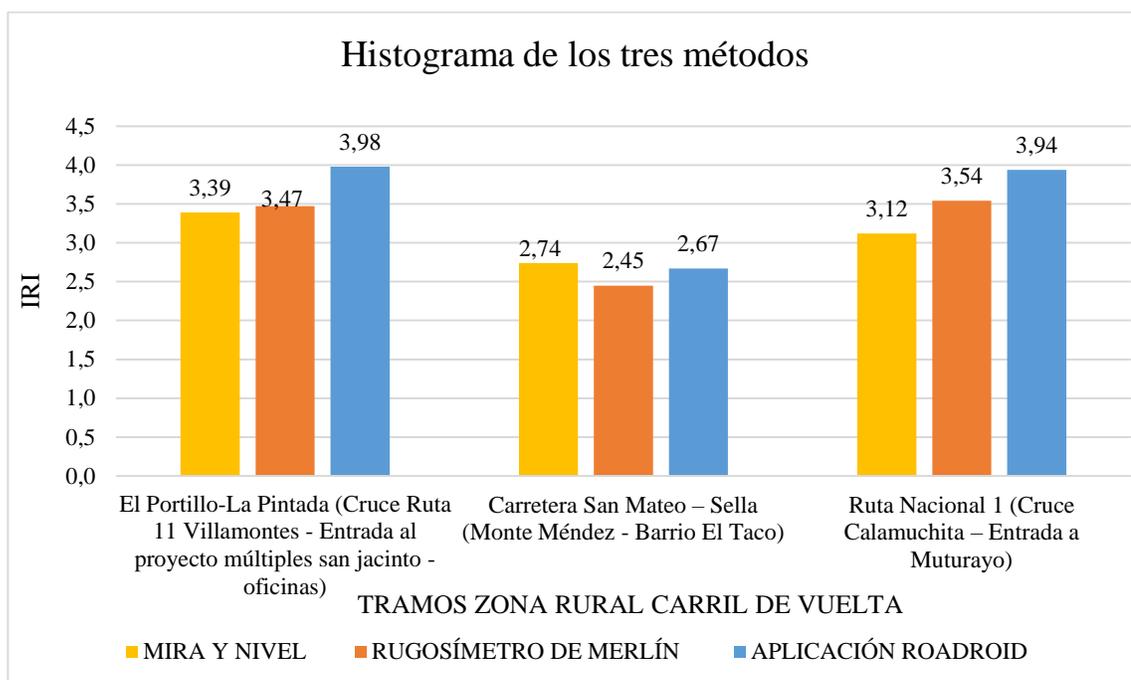
Gráfica N° 9 Histograma de los tres métodos aplicados en la zona rural carril de ida



Fuente: Elaboración propia

En este histograma de la (Gráfica N°9), podemos observar el resultado promedio de IRI en el carril de ida de cada tramo, se puede notar que existe una variación entre los tres métodos, este también nos indica los valores obtenidos, por cada método en el carril de ida el método del equipo del merlín muestra los valores medios del IRI, el método de la aplicación ROADROID muestra valores máximos del IRI, lo cual nos muestra el estado en el que se encuentra el pavimento flexible en la zona rural de la ciudad de Tarija.

Gráfica N° 10 Histograma de los tres métodos aplicados zona rural carril de vuelta



Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la (Gráfica N°10) que los valores del carril de ida no muestran una gran variación con los valores del carril de vuelta, pero si se puede notar una variación de resultados por los métodos estudiados, el método del equipo del merlín muestra los valores medios del IRI, con el método de la aplicación ROADROID muestra valores máximos del IRI, lo cual nos indica el estado que presentan los pavimentos flexibles que se encuentran en la zona rural de la ciudad de Tarija.

4.1.5. Análisis de las metodologías usadas para determinar el IRI

Existen diversos equipos para determinar el IRI; los cuales son clasificados bajo la Norma ASTM E-950 – 94 tomando en cuenta la metodología para determinar el valor de IRI. La precisión de las mediciones está altamente relacionada con la metodología de los equipos, estos son clasificados en:

4.1.5.1. Clasificación de los equipos usados

➤ Clase I.- Perfiles de precisión

Son aquellos que obtienen los valores de IRI a partir del perfil longitudinal de la superficie de rodadura. Las desviaciones a cada 0,50 m son acumuladas y divididas por la longitud recorrida.

Dispositivo de operación manual. - Considerados los más precisos, pero al ser dispositivos portátiles, su rendimiento es muy bajo.

- ✓ Método mira y nivel de ingeniero

Tabla N° 36 Especificaciones del modelo SDL50

Modelo	SDL50
Precisión de la altura	1,5 mm
Precisión de la distancia (D: distancia de medición)	$< \pm 10 \text{ mm } (\pm 0,4\text{mm})$
Tiempo de medición	$< 2,5 \text{ s}$
Pantalla	LCD de matriz de puntos (128 x 32 puntos) con iluminador
Rango de medición	Electrónico: 1,6 a 100 m
	Visión: Desde 1,5 m
Temperatura de funcionamiento	-20 a +50 °C
Peso con batería	2,4 kg

Fuente: www.sokkia.co.jp

Ventajas

- Equipo de gran utilidad que posee un grado precisión muy alta.
- Apunte y enfoques rápidos, la altura y la distancia se miden en forma simultánea en 2,5 segundos, un 20% más rápido que los niveles digitales comunes.
- El SDL50 brinda una capacidad de medición superior en una variedad de condiciones ambientales. Incluso cuando la superficie de la mira esté parcialmente en la penumbra, o en lugares con poca iluminación donde la iluminación de la superficie de la mira sea de tan sólo 20 luxes, el SDL50 brinda mediciones exactas sin interrupciones en el trabajo. Una pequeña linterna es suficiente para iluminar la mira en la oscuridad.

- Es un equipo que presenta una complejidad simple al momento de ensamblar y realizar la medición de cotas.

Desventajas

- Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos.
- Requiere de un tiempo prudente de procesamiento de datos, los resultados no se obtienen inmediatamente.

➤ **Clase II.- Perfilógrafos**

Considera métodos dinámicos de medición de perfil, obteniéndose desviaciones de perfil en forma estadística, cuya sumatoria influye en el cálculo del valor del IRI.

Operación manual. - Estos métodos no son dependientes de tecnología de punta, más sí de la longitud de medición.

- ✓ Método rugosímetro de Merlín

Tabla N° 37 Especificaciones Rugosímetro de Merlín

Equipo	Rugosímetro de Merlín
Distancia entre puntos de apoyo fijos	1800 mm
Distancia entre apoyo móvil y apoyos fijos	900 mm
Relación de palanca	1:10 y 1:5
Diámetro de rueda	630 mm
Longitud de brazo móvil	1000 mm

Fuente: Norma INV E 790-13

Ventajas

Según (Rodríguez, Torres, & Villeda, 2019) menciona algunas ventajas del equipo mencionado:

- Equipo de gran utilidad para el control de calidad de pavimentos, monitoreo del proceso de compactación de la carpeta asfáltica y recepción de obras viales.
- No requiere de cuidado especial en el manejo y medición.
- Exactitud en los resultados.

- Calibración con facilidad mediante un procedimiento sencillo y fácil mantenimiento debido a su estructura.
- Bajo costo. Siendo solamente necesario dos personas para su operación, lo cual resulta beneficioso en comparación a equipos dinámicos que requieren de vehículos adicionales, mantenimiento y calibración de costo alto.

Desventajas

- La desventaja es el rendimiento ofrecido por este equipo, ya que es muy bajo comparado con los equipos electrónicos y/o dinámicos más aun cuando se desea evaluar grandes distancias de carretera.
- Requiere de un tiempo prudente de procesamiento de datos, los resultados no se obtienen inmediatamente como otros métodos digitales.

➤ **Clase III.- IRI estimado mediante ecuaciones de correlación**

Conocidos también como “Dispositivos del tipo respuesta”, estos equipos relacionan la acumulación e intensidad de las vibraciones captadas en un viaje con el movimiento de la suspensión del vehículo ideal con el cual se calcula el IRI.

Operación con vehículo. - Los resultados obtenidos deben ser correlacionados con los de un equipo superior, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo.

- ✓ Aplicación ROADROID

Ventajas

- Equipo complejo, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de red viales grandes.
- Roadroid tiene un 81% de similitud con los datos del láser y puede representar la aspereza que siente un usuario de la carretera a un nivel "bueno".
- En comparación con la Clase I, Roadroid es muy fácil de usar, portátil y rentable, se puede utilizar casi en cualquier lugar, donde los equipos pesados y costosos no pueden hacerlo.
- En comparación con la Clase II, Roadroid es objetivo y ofrece una recopilación de datos rápida y eficaz con una potente visualización en mapas de Internet.

- No requiere de un tiempo prudente de procesamiento de datos, los resultados se obtienen inmediatamente.
- Posee un alto rendimiento, porque se puede evaluar tramos grandes.

Desventajas

- Costos muy elevados en la obtención de la licencia de funcionamiento.
- Sensible a señales de tránsito sobre la carpeta asfáltica, como ser: ojos de gato, rompe muelles, reductores de velocidad y cambios en la velocidad del vehículo.

4.1.6. Análisis de ventajas y desventajas de los tres métodos usados

Los equipos para la medición de la regularidad superficial del pavimento, difieren uno del otro por la precisión de los resultados obtenidos, la rapidez en la obtención de los datos y la complejidad del sistema que gobierna su funcionamiento.

4.1.6.1. Método Mira y Nivel

La característica más importante de este método es su alta calidad en las mediciones, este método solicita la medición precisa del perfil longitudinal de una huella.

a. Rendimiento

La recopilación de datos con la mira y nivel de ingeniero por kilómetro de longitud de los tramos en estudio se hizo solo en las secciones determinadas, se realizó con el apoyo de cuatro personas, tres personas para el manejo del equipo y levantamiento de los puntos y una para la seguridad de todo el personal, ya que en algunos tramos como ser El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas) los vehículos imprimen grandes velocidades; Se trabajó 8 horas diarias, lo que hace un total de 20 horas de trabajo continuo, sin contar el tiempo de viaje a los tramos seleccionados que se encontraban en diferentes puntos de la zona urbana de Tarija y otros como ser la Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo) que se encuentra en otra provincia.

Tabla N° 38 Rendimiento del método Mira y nivel de Ingeniero

Método	Mira y nivel de Ingeniero
Cuadrilla	1,0
Número de personas	4,0
Long. De muestreo (km)	0,100
Horas de muestreo (hr)	2,00
Rendimiento (km/hr)	0,05

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que con el método mira y nivel de ingeniero solo se pueden ensayar 0,05 km de carretera en una hora.

b. Evaluación Económica

Existen grandes diferencias entre los métodos utilizados hoy en día para calcular la rugosidad en nuestro medio.

A continuación, se muestra el precio total del método Mira y nivel de ingeniero para los cinco tramos estudiados.

Tabla N° 39 Precio total Método Mira y nivel de ingeniero

Proyecto: EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR EL IRI EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y LA INFLUENCIA EN EL NIVEL DE SERVICIO					
Ítem N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo P/ítem
1	Método mira y nivel de ingeniero	ml	1 000,00	2,35	2 353,60

Fuente: Elaboración propia

4.1.6.2. Rugosímetro de Merlín

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el Rugosímetro Merlín, basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo

de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y de un método de análisis simple con resultados confiables.

El Rugosímetro de Merlín, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

a. Rendimiento

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 dos auxiliares que los anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de 1000 m de longitud, sobre los dos carriles de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico. La manera más corriente de usar el Merlín es compartir el trabajo entre dos operadores, uno transportando la máquina y el otro tomando las lecturas. El segundo operador, localizado a un lado puede ver mejor si hay cualquier problema con el patín de prueba o el brazo móvil y puede verificar que las máquinas están siguiendo correctamente el recorrido de la rueda. Alternando los trabajos, los dos operadores pueden mantenerse trabajando por mucho tiempo junto con dos personas que brinden seguridad a la cuadrilla.

Requiere de un tiempo prudente de procesamiento de datos, los resultados no se obtienen inmediatamente como otros métodos digitales.

Tabla N° 40 Rendimiento de los métodos Rugosímetro de Merlín

Método	Rugosímetro de Merlín
Cuadrilla	1,0
Número de personas	4,0
Long. De muestreo (km)	1,0
Horas de muestreo (hr)	1,00
Rendimiento (km/hr)	1,0

Fuente: Elaboración propia

b. Evaluación económica

A continuación, se muestra el precio total del método Mira y nivel de ingeniero para los cinco tramos estudiados.

Tabla N° 41 Precio total Método rugosímetro de Merlín

Proyecto: EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR EL IRI EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y LA INFLUENCIA EN EL NIVEL DE SERVICIO					
Ítem N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo P/ítem
1	Rugosímetro de Merlín	ml	10 000,00	0,10	982,87

Fuente: Elaboración propia

Nota: La venta del servicio incluido el informe final para el método rugosímetro de merlín en el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S, tiene un costo de 950 Bs. por kilómetro.

4.1.6.3. Aplicación ROADROID

La aplicación para la recopilación de datos se instala en un teléfono inteligente Android y utiliza el acelerómetro. Cada segundo registra un valor del estado de la carretera + coordenadas GPS, con fotografías tomadas en el intervalo establecido.

a. Rendimiento

La toma de datos con la aplicación ROADROID de los 1000 m de longitud que tienen los diferentes tramos estudiados, se ejecutó con dos personas, uno el chofer que conduce el vehículo a una velocidad alrededor de 50 km/h y otro el operador del Smartphone, realizándose el trabajo en 3 minutos (0,05 horas) por cada carril del tramo estudiado.

Tabla N° 42 Rendimiento de la aplicación ROADROID

Método	ROADROID
Cuadrilla	1,0
Número de personas	2,0
Long. De muestreo (km)	1,0
Horas de muestreo (hr)	0,05
Rendimiento (km/hr)	30,0

Fuente: Elaboración propia

b. Evaluación económica

Existen grandes diferencias entre los métodos utilizados hoy en día para calcular la rugosidad en nuestro medio y lo que nos ofrece la aplicación ROADROID.

Para la evaluación económica, la compañía ROADROID presentó la siguiente cotización para la adquisición del sistema y/o dispositivo. Suponiendo el caso más crítico, que representa la adquisición del hardware más el software, por doce (12) meses, el costo será de 650 dólares, siendo un aproximado de 4500 Bs, y de 93,75 Bs por una semana.

Tabla N° 43 Precios para el uso de la aplicación ROADROID

Ejemplos de precios – ROADROID							
Sistemas basados en la nube para datos de rugosidad e inventarios de carreteras 2014-12-17							
Elementos	Aplicación demo ROC+RI 2 meses	Ejemplo 1 Inventario 12 meses	Ejemplo 2 Rugosidad 12 meses	Ejemplo 3 RIU+RDCU 12 meses	Ejemplo 4 Inventario 24 meses	Ejemplo 5 RIU+RDCU 36 meses	Ejemplo 6 Rugosidad 48 meses
Unidad de Inventario Vial (RIU) Para evaluación manual/visual. Registro de +100 parámetros de carretera con coordenadas GPS, altitud y velocidad. Software: instalado y configurado, actualizaciones de software durante el período de licencia.	Descarga e instalación en tu propio Android.	1	0	1	4	5	10
Sistema de gestión de datos viales - Inventario (RDMS-I) Inicie sesión en la herramienta web, visualización de datos de inventario en el mapa. Monitoreo de más de 100 capas, agregación de secciones y creador de datos espaciales (cree archivos de formas a partir de sus datos).	Carga e inicia sesión en un cuenta de demostración.	1	0	1	4	5	10

Unidades de recogida de datos de rugosidad (RDCU): Hardware: unidad Android, incluidos dispositivos de montaje en automóvil Software: instalado y configurado.	¡Sin soporte!	0	1	1	0	5	0
Sistema de gestión de datos viales-Roughness (RDMS-R) Ingrese a la herramienta web. Visualización de datos en el mapa. Monitoreo de fotografías y capas. Herramienta de análisis de polígonos, agregación de secciones y creador de datos espaciales (cree archivos de formas a partir de sus datos).	Sin hardware.	0	1	1	0	5	0
Costo resumido por unidad/mes	Gratis	585	650	450	200	175	190
Los precios están en dólares estadounidenses, exclusivos de impuestos/tarifas locales							

Fuente: Cotización por compañía ROADROID

Nota: La obtención de la licencia fue gratuita por que se presentó una carta a la compañía ROADROID a nombre de la universidad que indicaba que el uso de esta aplicación era netamente académico.

A continuación, se muestra el precio total de la aplicación ROADROID para los cinco tramos estudiados.

Tabla N° 44 Precio total aplicación ROADROID

Proyecto: EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR EL IRI EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y LA INFLUENCIA EN EL NIVEL DE SERVICIO					
Ítem N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Total	Costo P/ítem
1	Aplicación ROADROID	km	10,00	62,05	620,52

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 45 Ventajas y desventajas de los tres métodos usados

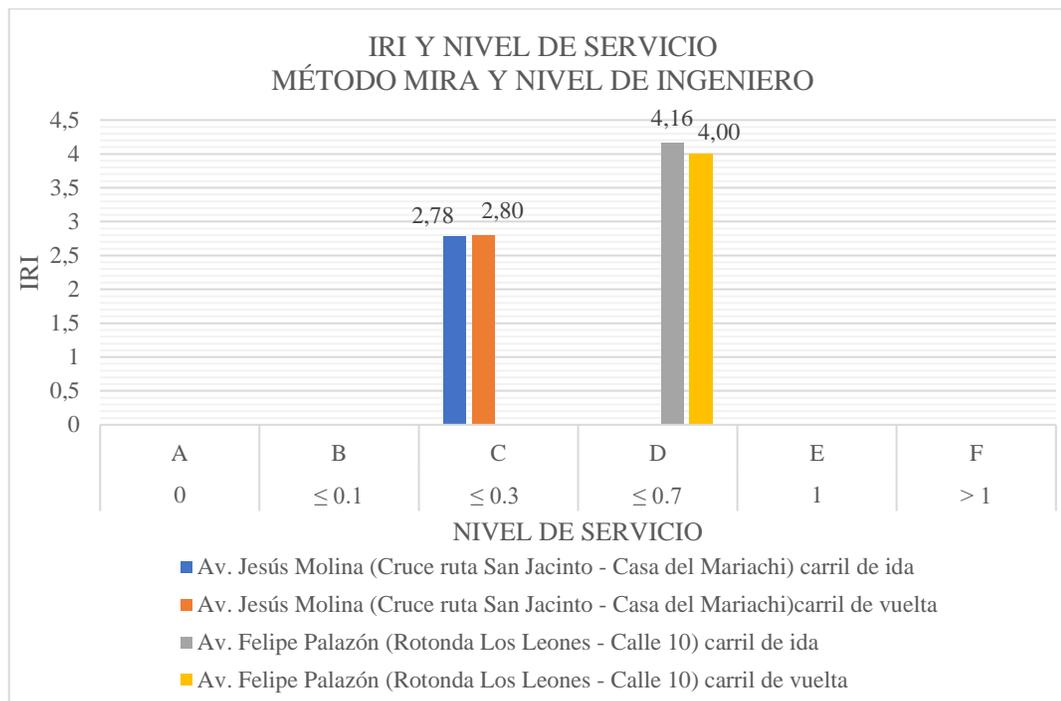
Método	Complejidad	Costo	Rendimiento	Observaciones
Mira y nivel	Simple	Alto	Bajo	El uso de estos equipos para proyectos de tramos extensos no es práctico, y los costos son elevados.
Rugosímetro de Merlín	Simple	Medio	Medio	Equipo con buena precisión en la obtención de rugosidad de vías, puede servir también como parámetro de calibración de otros equipos.
ROADROID	Complejo	Bajo	Muy Alto	Los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis comparativo entre el IRI y nivel de servicio

En uno de los objetivos es clasificar la condición del pavimento y verificar el nivel de servicio en el que se encuentra cada tramo en estudio, en los siguientes gráficos se visualiza el valor del IRI y el nivel de servicio por los diferentes métodos.

Gráfica N° 11 IRI y el nivel de servicio método mira y nivel de ingeniero zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Método mira y nivel de ingeniero

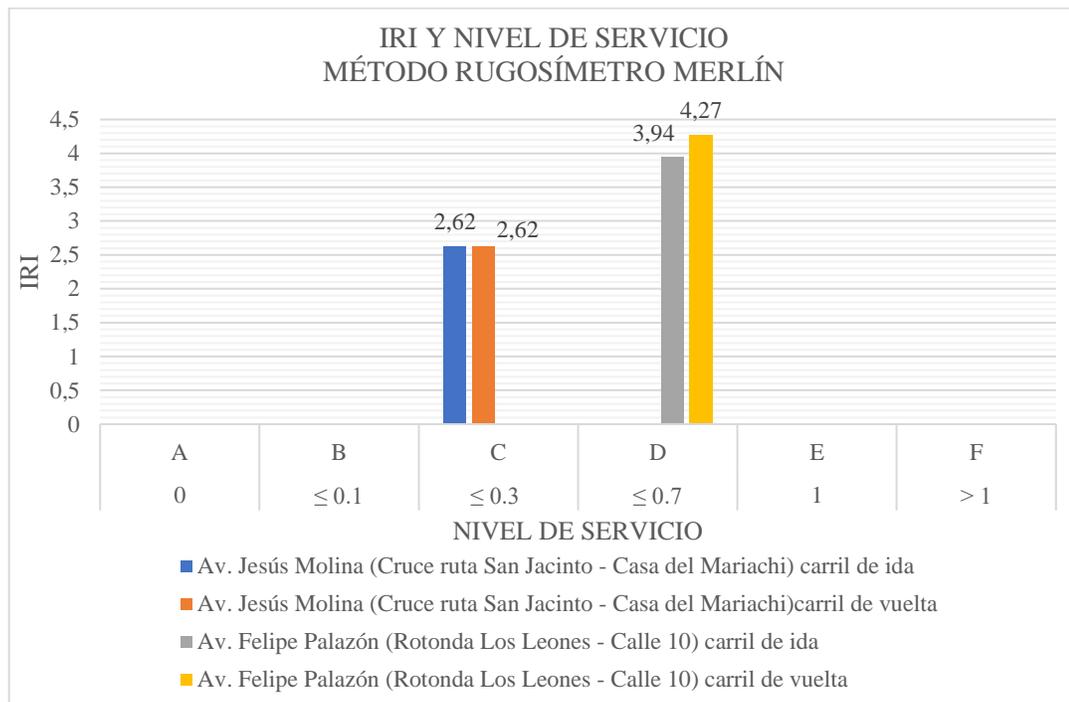
Tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi).

En el siguiente tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 2,78 m/km y carril de vuelta 2,80 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado BUENO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,13 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “C” y presenta un flujo estable.

Tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10).

En el siguiente tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 4,16 m/km y carril de vuelta 4,00 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado MALO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 1,46 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “F” y presenta un flujo inestable.

Gráfica N° 12 IRI y el nivel de servicio método rugosímetro Merlín zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Método rugosímetro Merlín

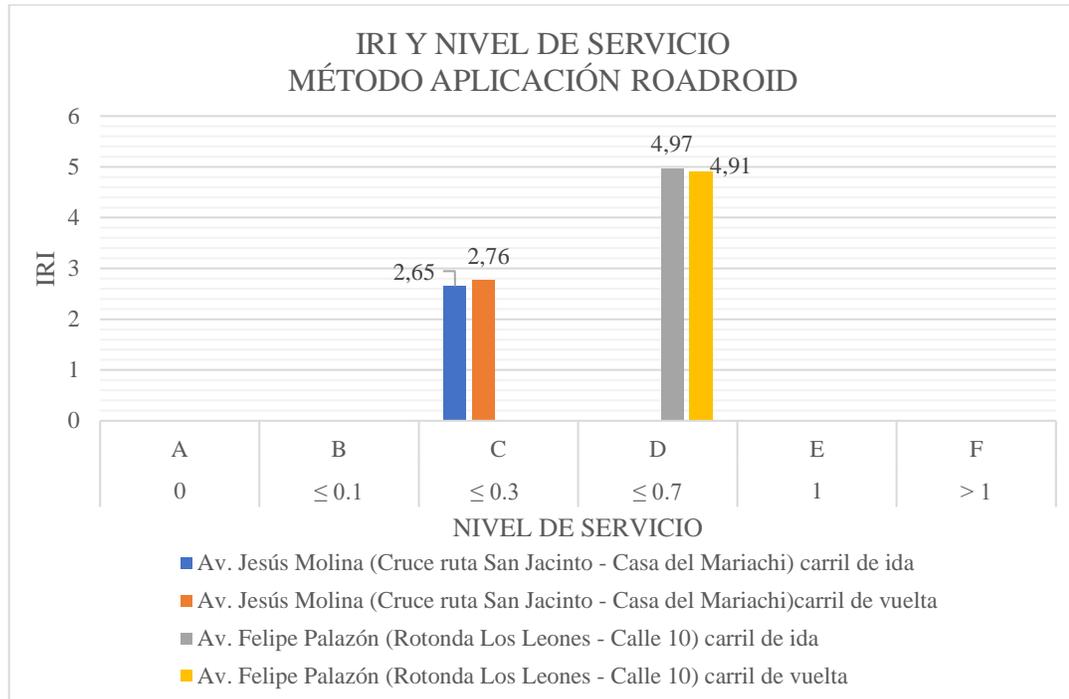
Tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi).

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 2,62 m/km y carril de vuelta 2,62 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado BUENO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,13 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “C” y presenta un flujo estable.

Tramo 2: Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10).

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 3,94 m/km y carril de vuelta 4,27 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR - MALO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 1,46 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “F” y presenta un flujo inestable.

Gráfica N° 13 IRI y el nivel de servicio método aplicación ROADROID zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Método aplicación del ROADROID

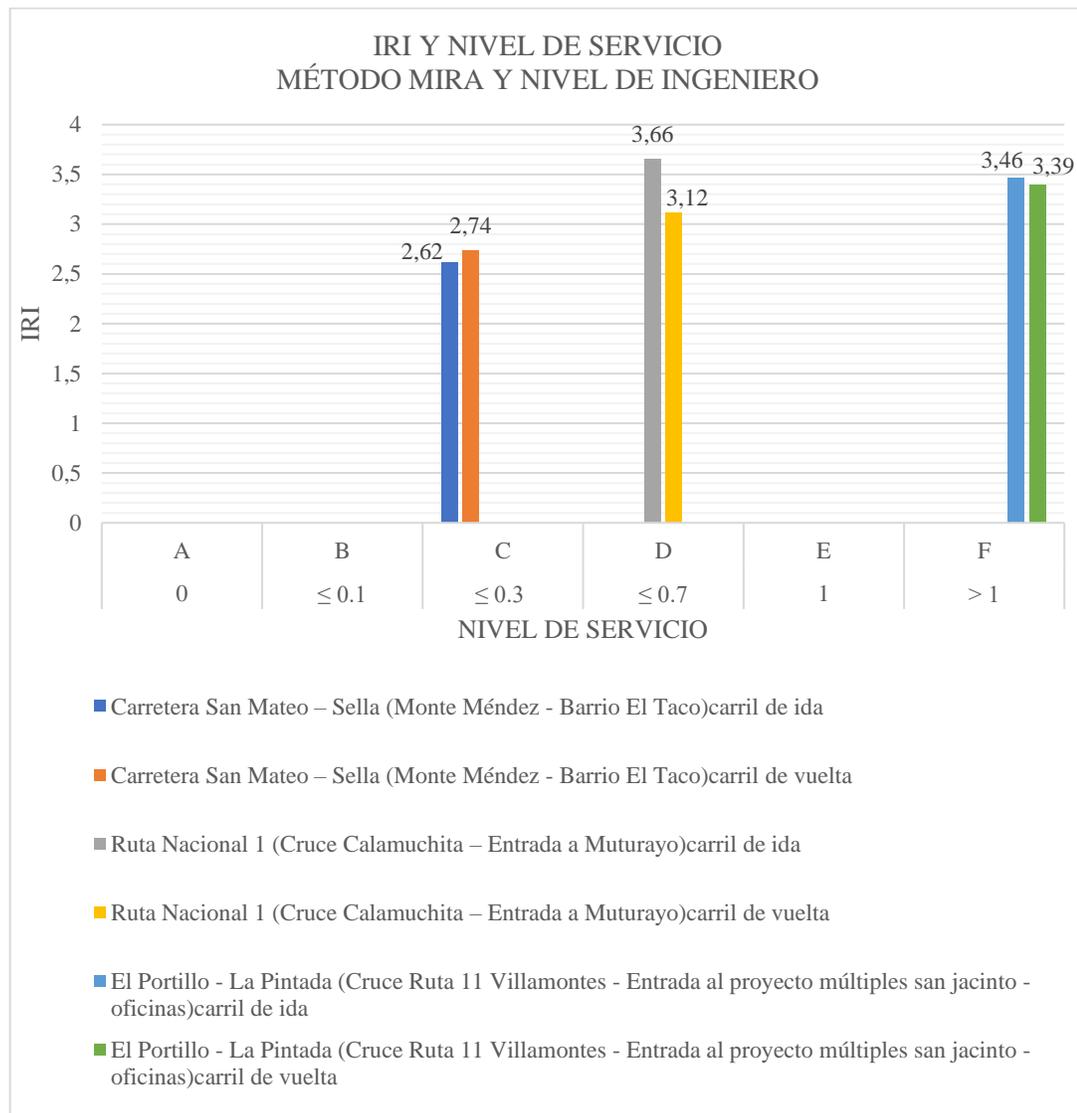
Tramo 1: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi).

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 2,65 m/km y carril de vuelta 2,76 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado BUENO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,13 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “C” y presenta un flujo estable.

Tramo 2: Av., Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 4,97 m/km y carril de vuelta 4,91 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado MALO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 1,46 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “F” y presenta un flujo inestable.

Gráfica N° 14 IRI y el nivel de servicio método mira y nivel de ingeniero zona rural



Fuente: Elaboración propia

Método mira y nivel de ingeniero

Tramo 3: El Portillo - La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)

En el siguiente tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 3,46 m/km y carril de vuelta 3,39 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR, nos muestra un

valor de nivel de servicio de 1,97 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “F” y presenta un flujo inestable.

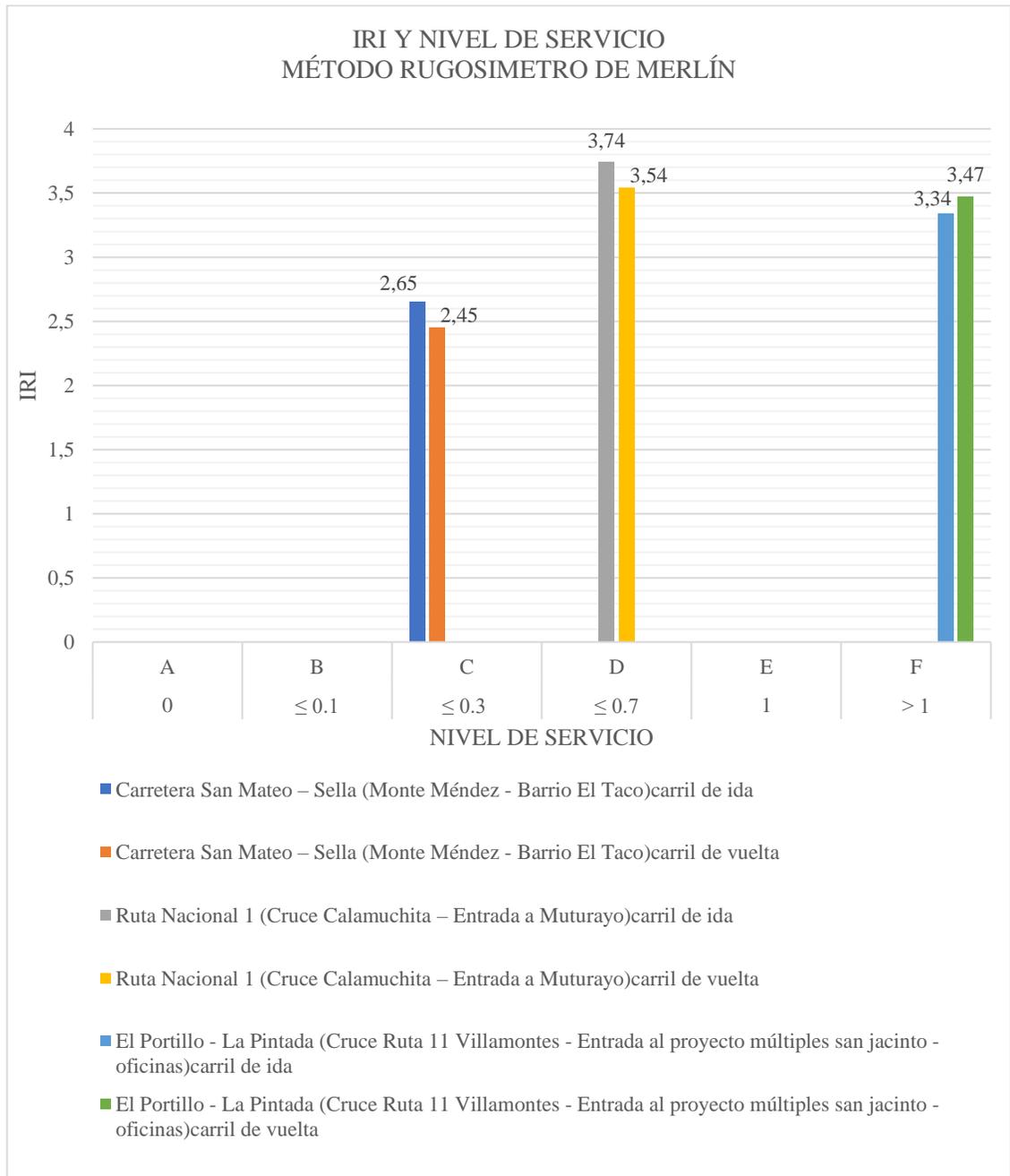
Tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 2,62 m/km y carril de vuelta 2,74 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado BUENO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,24 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “C” y presenta un flujo inestable.

Tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Maturayo)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 3,66 m/km y carril de vuelta 3,12 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,57 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “D” y presenta un próximo flujo inestable.

Gráfica N° 15 IRI y el nivel de servicio método dispositivo de Merlín zona rural



Fuente: Elaboración propia

Método rugosímetro de Merlín

Tramo 3: El Portillo -La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 3,34 m/km y carril de vuelta 3,47 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR, nos muestra un valor de nivel de servicio de 1,97 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “F” y presenta un flujo inestable.

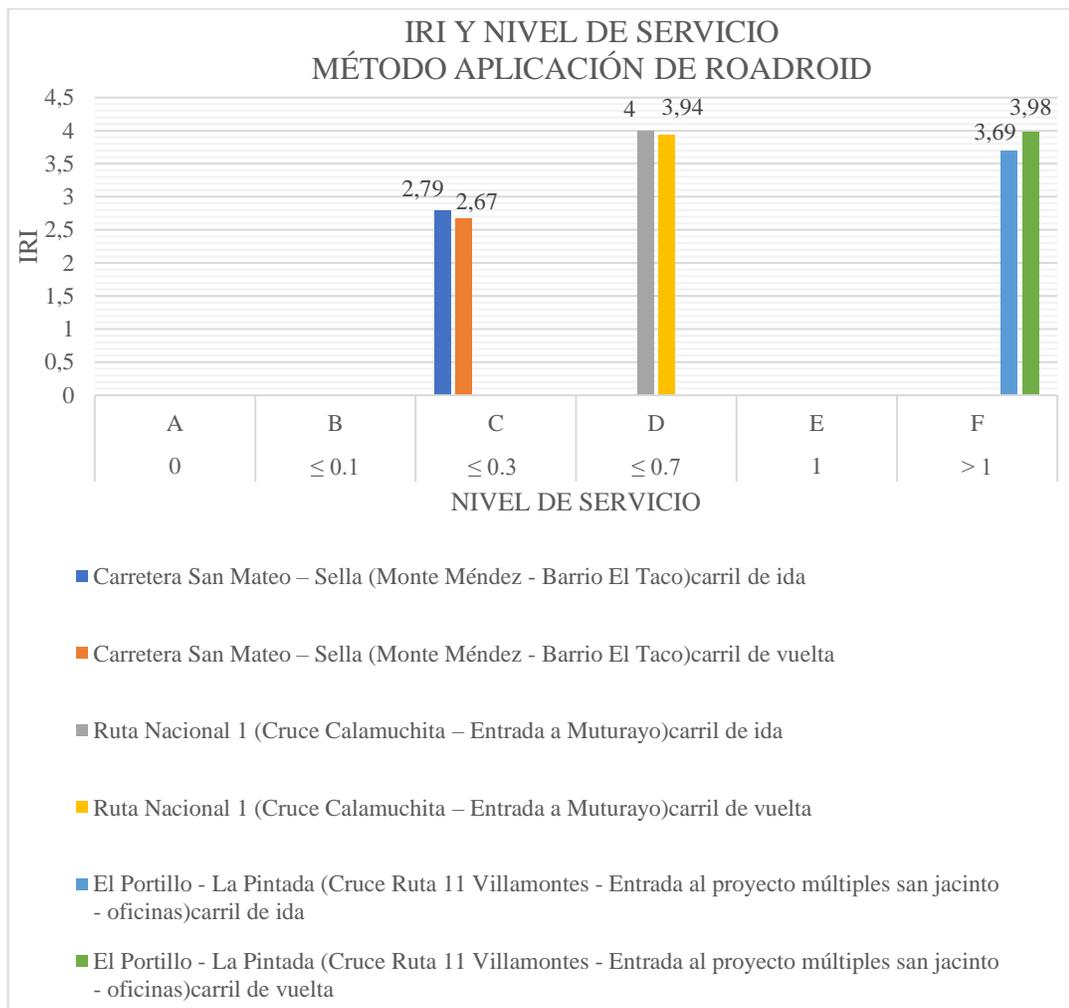
Tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 2,65 m/km y carril de vuelta 2,45 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado BUENO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,24 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “C” y presenta un flujo inestable.

Tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 3,74 m/km y carril de vuelta 3,54 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,57 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “D” y presenta un próximo flujo inestable.

Gráfica N° 16 IRI y el nivel de servicio método aplicación del ROADROID zona rural



Fuente: Elaboración propia

Método aplicación del ROADROID

Tramo 3: El Portillo -La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples san Jacinto - oficinas)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 3,69 m/km y carril de vuelta 3,98 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR, nos muestra un valor de nivel de servicio de 1,97 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “F” y presenta un flujo inestable.

Tramo 4: Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 2,79 m/km y carril de vuelta 2,67 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado BUENO, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,24 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “C” y presenta un flujo inestable.

Tramo 5: Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)

En este tramo se puede visualizar que el pavimento flexible presenta un valor promedio de IRI en el carril de ida 4,00 m/km y carril de vuelta 3,94 m/km lo cual indica según (Tabla N° 29) que este tramo se encuentra en un estado REGULAR, nos muestra un valor de nivel de servicio de 0,57 lo cual se determina por (Tabla N°4) que se encuentra en un nivel de servicio “D” y presenta un próximo flujo inestable.

4.3. Niveles de conservación o mantenimiento

Dentro de las tareas de conservación se pueden distinguir dos grupos diferentes: las que constituyen la conservación ordinaria y las actuaciones extraordinarias. El primer grupo hace referencia a actuaciones que los servicios responsables llevan a cabo de manera rutinaria y con regularidad: semanal o mensualmente, antes o después de una temporada de lluvias, etc. Las actuaciones extraordinarias responden a la aparición de deterioros importantes o generalizados.

Se distinguen tres niveles de conservación en una carretera:

- a) Conservación preventiva
- b) Rehabilitación
- c) Reconstrucción

a. Conservación preventiva

En esta se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros, o bien se actúa lo antes posible cuando esos deterioros han aparecido, se realiza el curado de los deterioros superficiales. Se la conoce también como conservación de rutina permanente.

b. Rehabilitación

Se recurre a esta cuando por el paso del tráfico y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o se quiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad.

c. Reconstrucción

A esta situación se puede tener que llegar por diversas razones:

- Existencia de graves defectos de construcción
- Cuando no se ha actuado a tiempo, conservando o rehabilitando, y se ha alcanzado un alto grado de deterioro que no es posible abordar con una rehabilitación.
- Cuando se ha llegado a un punto en el que rehabilitar, aunque sea técnicamente viable, resulta más costoso que demoler y reconstruir.

Según los resultados obtenidos de la evaluación del tramo en estudio, el tipo de conservación a realizarse es de un: “Mantenimiento preventivo o de rutina permanente”.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se logró realizar el análisis de la situación del tráfico vehicular (aforo) en la zona urbana: Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi) y Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10); y en la zona rural: El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas), Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco) y Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo).
- Se aplicó el método tradicional (mira y nivel de ingeniero), y mediante el programa INPACO que nos permite realizar el cálculo del índice de rugosidad internacional.

Tramos urbana	IRI	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,78	2,8
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	4,16	4
Tramo rural	IRI	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	3,46	3,39
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,62	2,74
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	3,66	3,12

- También se aplicó el método rugosímetro de Merlín, que nos permitió calcular el índice de rugosidad internacional a partir de los resultados obtenidos en campo con el dispositivo de merlín con la ecuación de correlación entre “D” y el índice de rugosidad internacional, determinado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos (TRRL).

Tramos urbana	IRI	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,62	2,62
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	3,94	4,27
Tramo rural	IRI	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	3,34	3,47
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,65	2,45
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	3,74	3,54

- Y finalmente se empleó el método para teléfonos inteligentes con la Aplicación ROADROID como método alternativo para indicar el estado actual de una carretera de manera fácil y rápida en caso de no contar con equipos de alta precisión o ser el tiempo, nos proporciona las coordenadas geográficas de los puntos en estudio de la carretera, el cual resulta muy favorable, ya que los valores de índice de rugosidad internacional muy elevados por encima de lo aceptado podrán muy fácilmente ser ubicados y subsanados.

Tramos urbana	IRI	
	Ida	Vuelta
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	2,65	2,76
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	4,97	4,91
Tramo rural	IRI	
	Ida	Vuelta
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	3,69	3,98
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	2,79	2,67
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	4,00	3,94

- Se determinó el aforo de volumen de tráfico registrados en el lapso de una semana en la zona urbana y en la zona rural para encontrar la capacidad y nivel de servicio.
- La comparación de los resultados de las mediciones del índice de rugosidad internacional por los tres métodos, no muestra una gran variación.
- Se clasificó que en la zona urbana y rural la condición de los pavimentos se encuentra en:

Tramos urbana			
Tramo	Condición del pavimento		Métodos
	Ida	Vuelta	
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	Bueno	Bueno	Mira y nivel
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	Malo	Malo	
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	Bueno	Bueno	Rugosímetro de Merlín
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	Regular	Malo	
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	Bueno	Bueno	Aplicación ROADROID
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	Malo	Malo	

Tramos rurales			
Tramo	Condición del pavimento		Métodos
	Ida	Vuelta	
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	Regular	Regular	Mira y nivel
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	Bueno	Bueno	
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	Regular	Regular	
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	Regular	Regular	Rugosímetro de Merlín
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	Bueno	Bueno	
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	Regular	Regular	
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	Regular	Regular	Aplicación ROADROID
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	Bueno	Bueno	
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	Regular	Regular	

- Se determinó el nivel de servicio según sus características de circulación, en zona urbana presenta un nivel de servicio C y F que resultan una circulación con un flujo estable y flujo inestable esto debido a que la zona tiene variaciones de volúmenes, y en zona rural presenta un nivel de servicio F, C y D que resulta de una circulación con un flujo estable y un próximo flujo inestable.

Tramos urbanos			
Tramos	Índice de congestión	Nivel de servicio	Descripción del flujo vehicular
Av. Jesús Molina (Cruce ruta San Jacinto - Casa del Mariachi)	0,13	C	Flujo estable
Av. Felipe Palazón (Rotonda Los Leones - Calle 10)	1,46	F	Flujo inestable
Tramos rurales			
Tramos	Índice de congestión	Nivel de servicio	Descripción del flujo vehicular
El Portillo-La Pintada (Cruce Ruta 11 Villamontes - Entrada al proyecto múltiples San Jacinto - oficinas)	1,97	F	Flujo inestable
Carretera San Mateo – Sella (Monte Méndez - Barrio El Taco)	0,24	C	Flujo estable
Ruta Nacional 1 (Cruce Calamuchita – Entrada a Muturayo)	0,57	D	Próximo a flujo inestable

- El realizar esta evaluación del IRI en pavimento flexible, ha sido de suma importancia, pues los resultados que se obtuvieron, nos determinan la influencia en el nivel de servicio en los siguientes aspectos:

- a. Seguridad

- b. Comodidad

- c. Tiempo de recorrido

- a. Seguridad. - La vía provee seguridad de circulación tanto a conductores, pasajeros y peatones, siempre en cuando se tomen precauciones en cuanto a: velocidad de circulación, conducción.

- b. Comodidad. - La vía no provee una buena comodidad al conductor y pasajero, debido al deterioro que se presenta en el pavimento.

- c. Tiempo de recorrido. -La vía en buen estado nos brinda una circulación más rápida.

- Finalmente se llegó a la conclusión que cuando el Índice de Rugosidad Internacional se encuentra en mal estado, refleja daños y deterioro de carácter funcional en los pavimentos esto influye de manera negativa en el nivel de servicio y vida útil del pavimento, para poder subsanar la condición en la que se encuentra se requiere un mantenimiento apropiado en el pavimento, y al tener un pavimento en buen estado influye de manera positiva al nivel de servicio ya que nos brinda condiciones de comodidad, seguridad y confort a los usuarios en las vías.

5.2. Recomendaciones

Las recomendaciones que se aportan tras realizar la aplicación son:

- Para realizar este proyecto fue necesario trabajar con personal capacitado para la obtención de los datos, entonces se les recomienda brindar la información necesaria y correspondiente, dotar de materiales útiles planillas, cronómetros y cintas métricas.
- Se recomienda que, si en lo posterior se realiza un nuevo estudio de tráfico en la zona, realizar el aforo siguiendo alguna norma el cual pueda llevarse a cabo al pie de la letra, cumpliendo con lo que establece tanto en horas y días que se indique. Así de esa

manera se obtendrán datos que se requieren y confiables para el cálculo que se realizará.

- Debido a que el tráfico vehicular afecta las mediciones con la aplicación ROADROID dificultando al vehículo de ensayo mantener una velocidad constante alrededor de 80km/h, se recomienda cerrar la carretera en estudio durante el tiempo necesario para obtener resultados confiables.
- Se aconseja seguir los pasos especificados por el TRRL Research Revist 301, para su diseño y calibración del equipo de Merlín, y poder tener mejores resultados.
- Finalmente, se puede aplicar las metodologías detalladas anteriormente en un estudio similar para diferentes pavimentos flexibles de la ciudad de Tarija, tanto en avenidas como carreteras, ya que este control nos ayudará en la toma de decisiones para la prevención, mitigación y mantenimiento de estos en el momento adecuado.