



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO, ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN “RUGOSÍMETRO
MERLÍN” EN EL LABORATORIO DE PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Civil e Ingeniero Civil

AUTORES: Erika Johana Chaluja Candejeo

David Andrés Estévez Chiriboga

TUTOR: Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Erika Johana Chaluisa Candelejo con documento de identificación N° 0550629984 y David Andrés Estévez Chiriboga con documento de identificación N° 1717715120; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de junio del 2023

Atentamente,



Erika Johana Chaluisa Candelejo
0550629984



David Andrés Estévez Chiriboga
1717715120

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Erika Johana Chaluisa Candelejo con documento de identificación N° 0550629984 y David Andrés Estévez Chiriboga con documento de identificación N° 1717715120; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño, elaboración e implementación de un “Rugosímetro Merlín” en el Laboratorio de Pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera e Ingeniero Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad PolitécnicaSalesiana.

Quito, 29 de junio del 2023

Atentamente,



Erika Johana Chaluisa Candelejo
0550629984



David Andrés Estévez Chiriboga
1717715120

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N° 1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO, ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN “RUGOSÍMETRO MERLÍN” EN EL LABORATORIO DE PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR, realizado por Erika Johana Chaluisa Candelejo con documento de identificación N° 0550629984 y por David Andrés Estévez Chiriboga con documento de identificación N° 1717715120, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de junio del 2023

Atentamente,



Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD

1717631244

DEDICATORIA

A Dios por darme vida y sabiduría porque sin sus bendiciones hasta este punto, nada hubiese sido posible.

A mis queridos padres Jaime y Rosita por su ejemplo, amor y apoyo incondicional, sin dudar ni un sólo segundo, por enseñarme que el amor de familia puede ser tan grande, capaz de soportar cualquier adversidad en la vida.

A mis hermanos Myrian, Sandra y Jaime por estar en los momentos buenos y malos.

A mis pequeñas Yuri Ayelen y Valentina por convertirse en mi motivación, por cada abrazo, sonrisa y travesura porque sólo con verlas alegran mis días.

Y a mi tío David que desde el cielo me cuida, en mi corazón estarás siempre. Te extraño mucho.

Erika Johana Chaluisa Candelejo

DEDICATORIA

Lleno de mucha alegría y satisfacción el presente proyecto de titulación lo dedico:

A Dios por darme siempre la sabiduría, dedicación y perseverancia en esta etapa de mi vida y así poder culminarla con éxito.

A mis queridos Padres Rodrigo Estévez y Mónica Chiriboga, por haber sido las personas que depositaron su confianza en mí, por siempre ser ese pilar fundamental que me lleva cada día ser mejor en la vida y con sus consejos y enseñanzas siempre salir adelante, por eso este logro en mi vida es por y para ustedes.

A mi hermano Lenin, quien fue una de las personas que me enfoco y motivo a seguir esta linda carrera, gracias por su apoyo en cada instante de este proceso.

A Gina, por ser esa persona que dentro de la Universidad siempre me brindo su apoyo y compañía en cada momento, con sus consejos me motivo a seguir adelante.

David Andrés Estévez Chiriboga

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidar cada paso que doy por poner en mi vida a personas increíbles y otras que también me dejaron muchas enseñanzas.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a los docentes por todo el conocimiento impartido. Sobre todo, a mi tutor el Ingeniero Francisco Ortiz por el apoyo durante la realización de este proyecto. Y cómo no también a Ingeniera Cristina Barahona por la apertura y disponibilidad en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

A mis padres, eternamente agradecida por creer en mí y no dudar en apoyarme cada instante de mi vida y enseñarme a ser valiente a no complicarme sin importar que tan duros nos de la vida a seguir adelante con una sonrisa.

Al padre Pio Baschiroto por enseñarme amar a Dios por su apoyo y cariño brindado.

A mis tíos Gladys y David (+) por su cariño y apoyo que me han dado a lo largo de mi vida. Por ser quienes estaban ahí para escuchar y darme consejos, y aunque nada volverá a ser igual, en mi corazón guardo cada recuerdo vivido con ustedes en el tiempo que Dios lo permitió.

Erika Johana Chaluisa Candelejo

AGRADECIMIENTO

A Dios, por cada día de esta etapa brindarme la fuerza, dedicación e inteligencia para poder llegar a culminar la Carrera.

A mis padres, por estar con su apoyo incondicional en cada momento de este proceso el cual fue muy difícil, pero con su amor, paciencia y enseñanzas de vida se me hizo mucho más llevadero.

A mi hermano y familia, que cuando los necesite de una u otra manera siempre estuvieron para mí, brindándome su apoyo y motivación en este proceso.

A mis compañeros, con los cuales de una u otra manera nos brindamos mutuamente apoyo para culminar esta etapa.

A mi tutor Ing. Francisco Ortiz quien estuvo día a día brindo y compartió sus conocimientos para llegar a finalizar este proceso.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por haberme acogido en sus aulas, a cada señor docente que me impartió sus conocimientos y con ello me fueron formando como un profesional con valores.

David Andrés Estévez Chiriboga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Importancia y alcance.....	2
1.4 Delimitación	2
1.5 Justificación.....	3
1.6 Grupo Objetivo.....	4
1.7 Objetivos	4
1.7.1 Objetivo General	4
1.7.2 Objetivo Específico	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Definición de Pavimento	6
2.1.1 Pavimento Flexible.....	6
2.1.2 Pavimento Rígido.....	7
2.2 Ciclo de vida de los Pavimentos	7
2.3 Factores que afectan al pavimento	8
2.4 Evaluación de pavimentos.....	8
2.4.1 Evaluación funcional.....	9
2.4.2 Evaluación estructural	9
2.5 Rugosidad.....	10
2.6 Equipos de medición de rugosidad.....	10
2.6.1 Equipos dinámicos	10
2.6.2 Equipos estáticos	13
2.7 Índice de rugosidad Internacional (IRI)	16
2.7.1 Definición del IRI.....	18
2.7.2 Modelo de cuarto de carro.....	18

2.7.3	Escala Y Características del IRI.....	20
2.7.4	Factores que afectan el IRI.....	23
2.8	CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD.....	23
2.8.1	CÁLCULO DE RANGO “D”.....	23
2.9	Índice de Servicio de Pavimentos (PSI).....	26
	CAPÍTULO III.....	28
	METODOLOGÍA.....	28
3.1	Tipo de investigación.....	28
3.2	Método.....	28
3.3	Técnica de recolección de información.....	28
3.4	Proceso técnico.....	29
3.4.1	Desarrollo de Merlín.....	29
3.4.2	Implementación del Merlín.....	29
3.4.3	Volumen de tráfico.....	29
3.4.4	Inventario de fallas.....	29
3.4.5	Análisis y comparación de los resultados.....	30
	CAPÍTULO IV.....	31
	IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO MERLÍN.....	31
4.1	Diseño e ingeniería del equipo Merlín.....	31
4.2	Construcción y ensamble del equipo Merlín.....	34
4.3	Calibración del equipo Merlín.....	36
4.4	Materiales que se utilizarán para la evaluación en campo.....	38
4.5	Método de uso.....	41
	CAPÍTULO V.....	45
	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	45
5.1	Levantamiento de rugosidad mediante equipo Merlín.....	45
5.2	Cálculo de factor D.....	46
5.3	Levantamiento de rugosidad mediante método nivel de ingeniero.....	50

5.4	TPDA	56
5.5	Índice de Servicio de Pavimento (PSI) en función de daños.	58
5.6	Índice de Servicio de Pavimento (PSI) en función al IRI	58
5.7	Comparación de resultados	58
	CONCLUSIONES.....	60
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍAS	62
	ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de los parámetros de un modelo de cuarto de carro	20
Tabla 2. Escala de PSI.....	27
Tabla 3. Materiales por usar durante la operación del Merlín	39
Tabla 4. Datos y cálculos obtenidos con el nivel	50
Tabla 5. IRI mediante nivel de ingeniero.....	55
Tabla 6. TPDA Av. Rumichaca Ñan.....	57
Tabla 7. Comparación de resultados	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Laboratorio de pavimentos	3
Figura 2. Perfilógrafo.....	11
Figura 3. Perfilómetro APL	12
Figura 4. Bump Integrator	13
Figura 5. Nivel de Ingeniero	14
Figura 6. Rugosímetro Merlín	16
Figura 7. Modelo de cuarto de carro.....	18
Figura 8. Esquema de cuarto de carro.....	19
Figura 9. Escala de IRI	21
Figura 10. Características del IRI	22
Figura 11. Índice Internacional de Rugosidad de acuerdo con el TPDA	23
Figura 12. Histograma de frecuencias	24
Figura 13. Diseño de rugosímetro Merlín con sus elementos.....	32
Figura 14. Dimensiones del Merlín implementado	33
Figura 15. Soldaduras empleado en el Merlín	34
Figura 16. Esquema de pie y patín del Merlín.....	35
Figura 17. Formato de elevaciones y depresiones.	36
Figura 18. Alineación de Rugosímetro Merlín sobre el codal.	37
Figura 19. Bloque metálico debajo del patín	37
Figura 20. Equipos de seguridad.....	39
Figura 21. Formato de muestras	41
Figura 22. Operador del Merlín	42
Figura 23. Cierre de tránsito vehicular d la avenida, para mayor seguridad	42
Figura 24. Calibración del Merlín en el tramo evaluado	43
Figura 25. Toma de lecturas en campo	43
Figura 26. Tramo evaluado Av. Rumichaca Ñan	46
Figura 27. Datos de la Av. Rumichaca Ñan, tomados con el Merlín	47
Figura 28. Histograma de distribución de frecuencias de la Av. Rumichaca Ñan	48
Figura 29. Perfil longitudinal del tramo.....	56

RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito elaborar e implementar un Rugosímetro Merlín, basándose en las normas y especificaciones dadas por el laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL), quienes en 1991 crearon este equipo con el fin de evaluar el Índice Internacional de Rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés). Este equipo mide el IRI a partir de una correlación, nombrado con la letra “D”, este representa la rugosidad en unidades Merlín. El IRI es una medida cuantitativa utilizada para evaluar la calidad y nivel de confort de un pavimento. Además, este índice proporciona información crucial sobre la superficie de una carretera, especialmente en términos de suavidad y nivel de comodidad para los usuarios, donde un IRI alto generalmente indica un pavimento rugoso, que al transitar puede resultar incómodo, provocando mayor desgaste de los vehículos. Aquel índice se mide en m/km o mm/m.

Para verificar el correcto funcionamiento del equipo implementado, se evalúa el IRI de un tramo de la Avenida Rumichaca Ñan, ubicado al sur del Distrito Metropolitano de Quito, empleando el rugosímetro Merlín diseñado. La norma recomienda tomar 200 lecturas por tramo, para estimar mayor precisión, por tal razón se evalúa 386 metros de la avenida, debido a que la revolución de la rueda del equipo diseñado es de 1.93 metros. Al mismo tiempo se empleó el nivel de ingeniero y mira a fin de nivelar los puntos tomados con el Merlín, para comparar resultados y verificar que el equipo implementado cumple con todas las especificaciones. Finalmente se da a conocer el IRI en relación con el TPDA y el Índice de servicio de Pavimento (PSI) en función de daños, esto nos permite tener criterio acertado del estado actual, la comodidad y el confort que brinda a los usuarios que transitan por la avenida evaluado.

Palabras claves: Rugosidad, Merlín, IRI, Nivel de Ingeniero, perfil y pavimento.

ABSTRACT

The purpose of this project is to develop and implement a Merlin Roughness Tester, based on the standards and specifications given by the British Transport and Road Research Laboratory (TRRL), who in 1991 created this equipment in order to evaluate the International Roughness Index. (IRIs). This equipment measures the IRI from a correlation, named with the letter "D", this represents the roughness in Merlin units. The IRI is a quantitative measure used to assess the quality and level of comfort of a pavement. In addition, this index provides crucial information about the surface of a road, especially in terms of smoothness and level of comfort for users, where a high IRI generally indicates rough pavement, which can be uncomfortable to drive on, causing increased wear and tear on vehicles. That rate is measured in m/km or mm/m.

To verify the correct operation of the implemented equipment, the IRI of a section of Avenida Rumichaca Ñan, located to the south of the Metropolitan District of Quito, is evaluated using the designed Merlin roughness meter. The standard recommends taking 200 readings per section, to estimate greater precision, for this reason 386 meters of the avenue are evaluated, because the revolution of the wheel of the designed equipment is 1.93 meters. At the same time, the engineer level and look were used in order to level the points taken with the Merlin, to compare results and verify that the implemented equipment complies with all the specifications. Finally, the IRI is disclosed in relation to the TPDA and the Pavement Service Index (PSI) based on damage, this allows us to have an accurate criterion of the current state, the convenience and comfort that it provides to users who transit through the avenue evaluated.

Keywords: Roughness, Merlin, IRI, Engineer's Level, profile and pavement.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En Ecuador, los pavimentos juegan un papel crucial en la infraestructura vial del país, facilitando una red vial que conecta a diferentes regiones, permitiendo la conectividad y desarrollo económico. Estos pavimentos son diseñados para soportar diferentes condiciones climáticas y tipos de tráfico, ya sean éstas de mayor o menor densidad.

La construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en Ecuador, se encuentran regidas por normativas y estándares técnicos, establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas con el objetivo de garantizar la calidad, durabilidad y seguridad a los usuarios.

En el que la regularidad superficial es más valorada por los conductores, se conoce al IRI como Índice de Rugosidad Internacional, este es un índice utilizado para evaluar la rugosidad de la vía y el nivel de confort que ofrece. Existen diferentes equipos de medición que permiten conocer la rugosidad, en el presente proyecto se empleará el rugosímetro Merlín y el nivel de ingeniero, y mira.

El equipo rugosímetro Merlín será diseñado, cumpliendo con todas las normas y especificaciones dadas por el Laboratorio Británico TRLL, una vez calibrado el equipo, se evalúa el IRI de un tramo de 386 metros de la Avenida Rumichaca Ñan, a fin de obtener 200 muestras. Al mismo tiempo, se aplica el nivel topográfico y mira para corroborar el correcto funcionamiento del equipo implementado. También se analiza los daños existentes en el tramo, identificando la severidad y posibles causas, para conocer la serviciabilidad del tramo, esto permite conceptualizar la condición actual de la avenida.

1.2 ANTECEDENTES

En el Ecuador las vías en su mayoría presentan deterioro tanto estructural como funcional. Por lo tanto, es necesario conocer cómo se evalúa el IRI (Índice Internacional de Rugosidad) para conocer el estado actual de las vías ya sean estas flexibles o rígidas y dar el mantenimiento necesario. En la actualidad los equipos para medir la rugosidad vial son de difícil acceso para la educación debido a su costo elevado.

En el laboratorio de Pavimento de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur no cuenta con el “Rugosímetro Merlín” para la evaluación del IRI, esto permite evidenciar en los estudiantes que solo disponen conocimientos teóricos, pero carecen de la parte práctica.

1.3 IMPORTANCIA Y ALCANCE

Ingeniería Civil al ser una carrera práctica y técnica necesita no solamente de los conocimientos teóricos sino también de su ejecución en los laboratorios. Al no contar con un equipo que ayude a medir la rugosidad del pavimento, los docentes no pueden facilitar datos reales para el análisis del comportamiento vial, por ende, es necesario tener equipos que arrojen resultados confiables. La implementación del Rugosímetro Merlín aportará al conocimiento práctico de los estudiantes para una mejor oferta laboral en un futuro, cabe mencionar que la teoría es importante pero la práctica mejora el aprendizaje.

1.4 DELIMITACIÓN

El presente proyecto se realizará en el laboratorio de Pavimentos de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur de uso exclusivo para los estudiantes del Itinerario Vial de la carrera de Ingeniería Civil.

Figura 1.

Laboratorio de pavimentos



Nota. Se presenta el lugar exacto donde permanecerá el Merlín. Elaborado por: Los autores.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, carece del Rugosímetro Merlín. Por lo tanto, este proyecto equipará el laboratorio de Pavimentos con el Merlín que es indispensable para evaluar la calidad del pavimento, los deterioros que se presentan en la vía debido al procedimiento constructivo y el tránsito vehicular.

Los estudiantes, como el personal de la carrera de Ingeniería Civil, serán los más beneficiados con la implementación del Rugosímetro Merlín, ya que contarán con el equipo respectivo para la práctica, en cuanto a la medición de la rugosidad de los pavimentos, conforme a la teoría aprendida.

Este proyecto es factible porque se lo realizará con normas y especificaciones técnicas vigentes con la ayuda del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Para la elaboración del Merlín se posee los recursos económicos indispensables para la adquisición de los respectivos materiales para la construcción del Merlín y, además, se cuenta con mano de obra calificada para la soldadura del equipo.

El presente proyecto se lo realizará para que los estudiantes de la carrera Ingeniería Civil, Itinerario Vial obtengan mejores conocimientos prácticos en su formación académica, el equipo implementado tendrá una vida útil aproximadamente de 10-15 años con sus respectivos mantenimientos.

1.6 GRUPO OBJETIVO

El proyecto presentado favorece a los estudiantes y docentes de la carrera Ingeniería Civil, Itinerario Vial, quienes contarán con un equipo que les permitirá realizar prácticas. La UPS, Campus Sur, contará con el Rugosímetro Merlín en el laboratorio de Pavimentos, siendo este un equipo que arroja datos confiables.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo General

Implementar un medidor de IRI (Índice Internacional de Rugosidad) Merlín, mediante el diseño estandarizado, para el uso del laboratorio de Pavimentos de la UPS.

1.7.2 Objetivo Específico

Diseñar el dispositivo Merlín que cumpla con las especificaciones AASHTO PP37-04 para la determinación del IRI (Índice Internacional de Rugosidad).

Elaborar el Rugosímetro Merlín, empleando materiales metálicos livianos que cumplan con las dimensiones y pesos adecuados especificado en el manual, para que pueda ser manipulado por un operador con facilidad.

Utilizar el Rugosímetro de Merlín implementado, mediante la evaluación del IRI (Índice Internacional de Rugosidad) de 200 lecturas de la avenida Rumichaca Ñan, para determinar el correcto funcionamiento del equipo.

Obtener el índice de Servicio presente (PSI) mediante levantamiento de 386 metros de daños de la avenida Rumichaca Ñan y compararlo con el PSI obtenido a partir de valores de rugosidad a fin de determinar el grado de calibración del Merlín.

Dotar al laboratorio de Pavimentos de la UPS, Campus Sur del Rugosímetro Merlín, mediante la entrega del equipo, con el fin de que los estudiantes del Itinerario Vial cuenten con el elemento para realizar prácticas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La regularidad superficial de un pavimento proporciona al beneficiario comodidad, economía y seguridad, es importante tener en cuenta que la funcionalidad de las vías es muy relevante de está depende la confianza y facilidad de los usuarios. En el Ecuador se observan vías en muy mal estado, pero que a su vez se ha invertido mucho presupuesto en estas. El mantenimiento y rehabilitación de estas pueden llegar a ser aún más costosas dependiendo de la magnitud del daño causado por un mal diseño o construcción afectando directamente al usuario en algunos factores como la velocidad, daños mecánicos y el tiempo (De Solminihac, Echaveguren, & Chamorro, 2019).

2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

El pavimento se forma por capas superpuestas, relativamente planas, diseñadas y construidas técnicamente con materiales idóneos y se debe realizar una correcta compactación. Las estructuras estratificadas se asientan sobre la subrasante vial la cual es obtenida al realizar el movimiento de tierras, y estas estructuras deben soportar de manera correcta los esfuerzos provocados por las cargas repetidas de los vehículos que transitan la vía (Montejo, 2002).

2.1.1 *Pavimento Flexible*

Compuesto por una carpeta asfáltica con una mezcla homogénea, de agregados finos, gruesos y material bituminoso que sirve como aglutinante de la mezcla. La capa de rodadura esta sobre varias capas, estas tienen un orden descendente: base, subbase y subrasante esta última capa puede ser natural.

La estructura se deforma completamente por motivo de las cargas que llegan sobre el pavimento. Los pavimentos flexibles son de menor costo, pero también carecen de una larga vida útil (Osuna, 2008).

2.1.2 Pavimento Rígido

El pavimento rígido es diseñado y construido de hormigón, para poder llegar a brindar una capa de rodadura la cual sea segura, regular, antideslizante y de esta manera lograr alcanzar la resistencia al flexo tracción. Estos pavimentos en su gran parte son de hormigón vibrado, este tipo de pavimento requiere de una inversión inicial elevada, pero para su mantenimiento el costo es menor (Recuenco, 2014).

2.2 CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS

Según la autora (Gamboa, 2009) menciona que el ciclo de vida del pavimento dejando de lado el mantenimiento y rehabilitación se representan mediante una curva de comportamiento, mismo que es una representación histórica de la calidad del pavimento, en esta curva se puede evidenciar cuatro etapas que serán descritas a continuación:

- **Construcción:** Estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad que satisfacen a los usuarios.
- **Deterioro imperceptible:** En esta etapa sufre un desgaste que es poco visible y apreciable por los usuarios; en esta etapa se considera aún que la vía está en buenas condiciones, el costo del mantenimiento anual alcanza alrededor del 0.4 a 0.6% del costo de construcción.
- **Deterioro acelerado:** Con el tiempo el pavimento se va deteriorando cada vez más por lo que la resistencia al tránsito se ve reducida, el desgaste de la estructura del pavimento se puede apreciar a simple vista, la etapa es corta.
- **Deterioro total:** Estado que puede durar varios años constituyendo un desgaste

completo del pavimento, el tránsito vehicular se reduce evidentemente debido a que los conductores buscan vías alternas en buen estado, para evitar daños mecánicos en los vehículos.

2.3 FACTORES QUE AFECTAN AL PAVIMENTO

Distintos factores influyen en alteraciones en la superficie de la capa de rodadura de un pavimento. Esto por ende afecta a la circulación vehicular tanto en el presente como en el futuro, causando inseguridad, daños a los vehículos y a la vía. Según (Montejo, 2002), los factores más importantes son:

- a) Incremento de cargas y frecuencia con relación al diseño que se planteó inicialmente.
- b) Mal uso de materiales y diseño inadecuado de la estructura de pavimento para la construcción de esta.
- c) Falta de seguimiento y mantenimiento en la vía.
- d) Climas cambiantes que pueden llegar a ser desfavorables en la vida útil de la vía.

2.4 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Los autores (De Solminihaç, Echaveguren, & Chamorro, 2019) en su libro mencionan que la evaluación de pavimentos consiste en un informe donde se presenta el estado en el que se encuentra la superficie y estructura de la vía y de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de mantenimiento, con la evaluación se busca intervenir un pavimento de forma adecuada para extender su funcionalidad y vida útil.

La importancia de la evaluación radica en que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie de esta manera realizar las correcciones de tal forma que brindará al usuario serviciabilidad. Existen dos tipos de evaluaciones los mismo que son funcional y estructural.

2.4.1 Evaluación funcional

Esta evaluación tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan de forma negativa como la comodidad, seguridad y economía de los usuarios (Medina & De La Cruz, 2015).

Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

La rugosidad: Irregularidades presentes en la superficie del pavimento que se encuentra afectando en la circulación del usuario.

Fallas superficiales: Son aquellos deterioros que a lo largo del tiempo se manifiestan en la superficie y que se pueden observar a simple vista.

Pérdida de fricción: Es la disminución de la fuerza de rozamiento que existe entre el neumático y la capa de rodadura, debido a la reducción tanto de la macro-textura como de la micro-textura del pavimento.

Costo de usuario: Costo que se le transfiere al usuario de la vía por el mal estado de esta, estos pueden ser (lubricantes, combustible, cambio de llantas, cambio de amortiguadores, etc.).

El medio ambiente: Son daños que puede causar al usuario que circula y a los habitantes de los alrededores de la construcción de la vía, estas afecciones pueden ser como el ruido, la velocidad y la pérdida de textura de este.

2.4.2 Evaluación estructural

Se cuantifica la capacidad que se presenta en las distintas capas que conforma el pavimento, para evaluar la capacidad de estructural de este. Existen diferentes tipos de evaluaciones que abarca necesariamente los siguientes trabajos: (Armijos, 2009)

- ✓ Evaluación superficial del estado del pavimento.
- ✓ Evaluación del sistema de drenaje.
- ✓ Determinación de espesores y materiales que constituye la estructura de pavimento.
- ✓ Medición de deflexiones superficiales del pavimento

2.5 RUGOSIDAD

Rugosidad es definida como "La variación en la elevación de la superficie que induce vibraciones en los vehículos que atraviesan" (Sayers, Gillespie, & Queiroz, 1986). Lo que manifiesta que es una medida que mientras pasan los años es importante para el rendimiento y funcionamiento de la vía, las irregularidades que se forman en la capa de rodadura generan aceleraciones verticales a los vehículos, lo cual provoca molestias, inseguridad también se genera cargas dinámicas en las llantas de los vehículos y estas cargas son un factor para el daño de la vía.

2.6 EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Existen algunos equipos que se pueden clasificar en dos grupos principales: estáticos y dinámicos.

2.6.1 Equipos dinámicos

Aquellos equipos que se encuentran en constante movimiento constan de un modelo similar a una rueda de vehículo que proporcionan un perfil a grandes velocidades, estos equipos digitalizan los datos obtenidos en la evaluación.

2.6.1.1 Perfilógrafos

Este equipo forma un conjunto de patines, posee una rueda central que tiene libertad de movimiento vertical, tal que queda registrado en una planilla, permitiendo obtener un

perfil longitudinal de la superficie para los cálculos correspondientes, dicho equipo es usado en pavimentos de pistas y carreteras.

Uno de los requisitos principales para su uso, es que los tramos a medir no deben ser inferiores a 200 metros, para el cálculo del índice, se suman todas las protuberancias mayores de 10 mm, dividido por la longitud de evaluación multiplicado por 1000 ya que se representa en cm/km. (Montoya Goicochea, 2013)

Figura 2.

Perfilógrafo



Nota. Se observa el Perfilógrafo california CS8500. Fuente: Surface Systems & Instruments, Inc.

2.6.1.2 Perfilómetro inercial APL

Desarrollado en Francia con el fin de realizar evaluaciones con velocidades continuas de 100 a 300 km, conformado por un remolque, un chasis con lastre, rueda de bicicleta y un péndulo inercial de baja frecuencia.

El remolque está diseñado tal que sea insensible a los movimientos provocado por la tracción del vehículo, este detecta el perfil de la trayectoria a frecuencias entre 0.5 y 20 Hz, a longitudes de onda de hasta 100 metros mientras se desplaza a 150 km/h o su vez ondas reducidas como 0,3 metros cuando desplaza a 21,6 km/h. Es el único equipo que logra

evaluar el IRI de las vías con o sin pavimento a grandes velocidades y longitudes. (Montoya Goicochea, 2013)

Figura 3.

Perfilómetro APL



Nota. Perfilómetro APL desplazando el perfil a evaluar. Fuente: Grupos Euroconsult

2.6.1.3 Perfilómetro Inercial Bump Integrator

Uno de los equipos más utilizados para evaluar el IRI, equipo que se coloca en un vehículo mismo que va a velocidades específicas. Se deberá colocar en el balde de la camioneta conectando directamente con el eje trasero por medio de un cable flexible tensado adecuadamente. Mientras la camioneta avanza los movimientos relativos entre chasis y el eje se registran en la Unidad Contadora que se encuentra instalada en el panel de control de la cabina.

Figura 4.

Bump Integrator



Nota. Se observa el equipo Bump Integrator conectado al balde y a su eje trasero.

Fuente: MTOP

2.6.2 Equipos estáticos

Son equipos que permanecen en reposo, es decir, no experimentan desplazamientos que requieran de velocidades aproximadas, además brindan mayor exactitud en las medidas, la única desventaja de estos equipos es el bajo rendimiento implicando mayor tiempo, esfuerzo y dinero; por ende, son inadecuados para evaluar vías con mayores longitudes. (Montoya Goicochea, 2013)

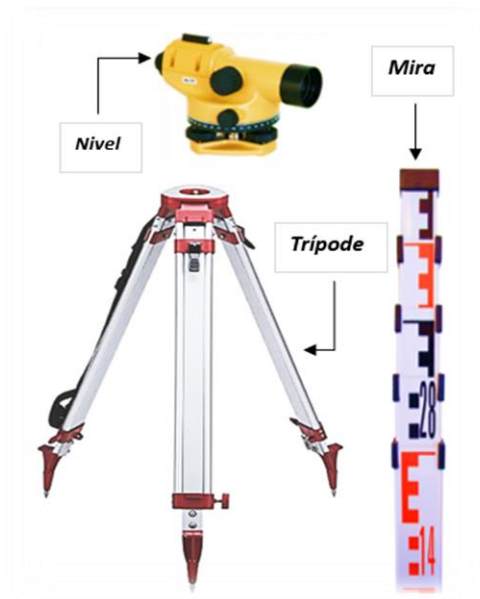
2.6.2.1 Nivel de ingeniero y mira.

Herramientas que mide el perfil longitudinal de forma más precisa, disponible en el mercado a costos accesibles ya sean estas para comprar o alquilar.

En la actualidad estos equipos son utilizados para medir tramos cortos debido a que el uso de estos equipos demanda de mucho tiempo, elevando el costo para la evaluación de proyectos grandes.

Figura 5.

Nivel de Ingeniero



Nota. Nivel de ingeniero con los equipos indispensables para su uso. Elaborado por: Los autores.

Se recolecta todos los datos para el cálculo del IRI, mediante el perfil longitudinal y los puntos de desnivel, verificar si los datos obtenidos en campo son correctos para ello se debe realizar la diferencia de la de cota inicial y la cota fin, sea igual a la diferencia de la sumatoria de vistas atrás y adelante.

2.6.2.2 Perfilómetro de barra del TRRL.

El equipo fue creado con el único objetivo de simplificar el esfuerzo y tiempo empleado para el levantamiento de datos, consiste en una barra de aluminio de 3 metros de longitud que se encuentra apoyada a cada extremo sobre trípodes, un vehículo se desliza sobre dicha barra haciendo contacto con una rueda con diámetro de 250 mm; a medida que sigue su recorrido, los instrumentos instalados en el vehículo detectan los desplazamientos mínimos verticales, para transformar tal medidas en valores digitales con 1 mm de resolución y consignar esos valores numéricos a intervalos periódicos. (Montoya Goicochea, 2013)

2.6.2.3 Face Dipstick.

Singularmente desarrollado para medir irregularidades en losas. Es un acelerómetro ubicado sobre una estructura separados a 300 mm por los apoyos, con un mango que permite desplazar el equipo, a lo largo de la huella a medir que pivota y rota a 180 grados en donde un microprocesador incorporado almacena y calcula un resumen estadístico de la rugosidad.

Las mediciones de ese equipo pueden exceder los 250 metros por hora en una única huella, de bajo costo a diferencia del nivel y mira el tiempo que se emplea es menor. (Onofre, Sánchez, & Viana, 2008)

2.6.2.4 Rugosímetro Merlín

El rugosímetro tipo Merlín es un equipo que se encuentra diseñado para la medición de la rugosidad del pavimento, mediante la correlación de un factor, este es uno de los equipos más preciso en cuanto a tomar datos. “Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo” (Rodríguez, 1993). A demás es un equipo de fácil acceso debido a su costo a diferencia de los demás equipos que sirven para la medición del IRI.

Este equipo incluye:

- Ruedas de aro: Neumático de caucho.
- Patín fijo y móvil: Estos patines ayudan a ajustar la altura.
- Pivote y estabilizadores: estabiliza al equipo Merlín.
- Formato escalado: tabla de trabajo que registra los datos de forma manual.
- Manija: Permite que el operador a cargo pueda manipular con facilidad

Figura 6.

Rugosímetro Merlín



Nota. Se presenta un modelo de rugosímetro Merlín. Fuente: MTOP 2022

Ventajas del rugosímetro Merlín

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

- ✓ Facilidad en su armado este equipo puede ser elaborado por los artesanos locales, mediante planos obtenidos por el Laboratorio de Investigación de Transporte y Caminos por sus siglas en ingles TRRL.
- ✓ No requiere de cuidado especial en el manejo y medición.
- ✓ Calibración con facilidad mediante un procedimiento sencillo.
- ✓ Fácil mantenimiento debido a su estructura.
- ✓ Bajo costo a diferencia a otros equipos de igual presión.

2.7 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Según los autores (Rodríguez, Torres, & Villeda, 2019), en las épocas de los años setenta el Banco Mundial decide invertir un monto de dinero considerable para ejecutar

varias investigaciones, una de esas investigaciones estaba enfocada en la calidad y costos de las vías. Después de realizar la investigación se pudo dar cuenta que algunos datos tomados de la rugosidad superficial en algunos puntos del mundo no se podían comparar.

Con la idea clara de unificar parámetros, los cuales se pudieron obtener con los equipos que son utilizados a nivel mundial, para medir la rugosidad superficial en índices o notas, como el RTRRMMS (Response Type Road Roughness Measuring System) y el perfilómetro. En el año de 1982 en Brasil se crea el IRRE (International Road Roughness Experiment), al cual asistieron varios países con sus investigadores.

El propósito principal de esta investigación era poder encontrar un índice de rugosidad superficial para poder ser usado en el perfilómetro como también por el RTRRMS. Así llegar a conseguir una única escala de valores. Otro de los objetivos fue que en caso de que algunos equipos no tuvieran un Índice de Rugosidad exacto, se podría hacer relaciones de correlación con los valores obtenidos y los valores de métodos exactos.

En octubre de 1984 en la ciudad de Rio de Janeiro se celebra el décimo Congreso Mundial de la IRF (International Road Federation), en el cual se presentan los primeros resultados y conclusiones del IRRE. Al transcurrir dos años en el año de 1986 en la ciudad de Washington se da el Congreso Anual del Transportation Research Board (TRB), donde también fueron expuestos los resultados y conclusiones. Como resultado de todas las investigaciones se obtiene el (IRI) International Roughness Index o Índice de Rugosidad.

El (TRRL) Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos, en el año de 1991, da a conocer un nuevo método de evaluación de la rugosidad del pavimento, para su toma de muestras empleado un equipo denominado MERLÍN (Machine for Ecaliating Roughness using low-cost Instrumentation), con este equipo se realizaron 27 ensayos a

diferentes pavimentos, 7 superficie de tierra, 8 asfálticos, 7 superficie gravosa, 5 tratamientos superficiales.

2.7.1 Definición del IRI

(Arriaga, Garnica, & Rico, 1998) señalan que para determinar el IRI se utiliza el modelo matemático el cual se basa en una simulación de suspensión y masa de dicho vehículo, el cual transita por un tramo de vía con una velocidad determinada. El modelo conocido como QCS (Quarter Car Simulation), se le denominó así debido que representa solo una cuarta parte de un carro o remolque de una rueda.

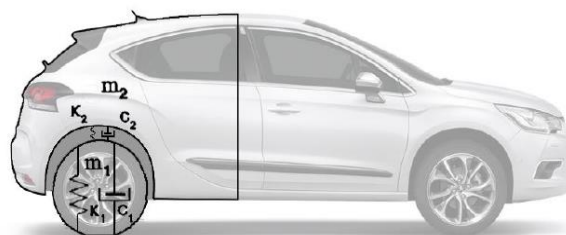
El IRI en un punto de la vía se lo determina como razón de movimiento vertical relativo almacenado debido a la suspensión del carro, y esto se divide para la distancia del tramo recorrido por el vehículo con una velocidad de 80 km/h. Entonces el IRI viene a ser la medición de respuesta de un vehículo al estado de la vía, este índice sirve como estándar de calibración para los equipos de medición de la rugosidad superficial de una vía.

2.7.2 Modelo de cuarto de carro

En los años ochenta, para poder dar una definición al IRI, los investigadores del Banco Mundial crean el modelo llamado “Quarter Car” el cual realiza la simulación de una cuarta parte del vehículo y consta de varios parámetros.

Figura 7.

Modelo de cuarto de carro



Nota. Se presenta modelo de cuarto de vehículo. Fuente: (Rodríguez, Torres, & Villeda, 2019)

L= Longitud de cálculo del IRI

V= Velocidad de circulación del vehículo

m1= Masa inferior

m2= Masa superior

K1= Constante de rigidez de la suspensión primaria, (es decir del neumático)

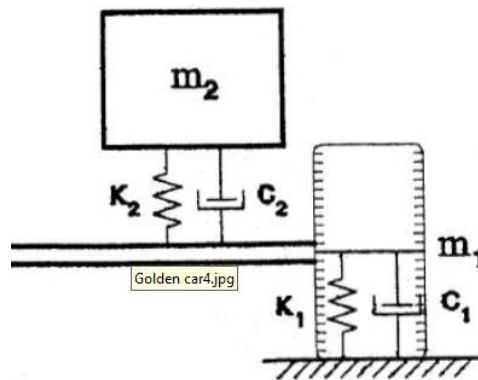
K2= Constante de rigidez de la suspensión secundaria, (es decir de la suspensión)

C1= Constante de amortiguamiento de la suspensión inferior

C2= Constante de amortiguamiento de la suspensión superior

Figura 8.

Esquema de cuatro de carro



Nota. Se presenta Esquema del modelo del cuarto de carro. Fuente: (Rodríguez, Torres, & Villeda, 2019)

Los datos para los diferentes parámetros son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Datos de los parámetros de un modelo de cuarto de carro

L	100 m
V	80 km/h
m1/ m2	0.15
K2/ m2	63.3
C2/ m2	6
K1/ m2	653
C1/ m2	0

Nota. Datos para los diferentes parámetros a utilizar en un modelo similar a un cuarto de carro. Fuente: (Rodríguez, Torres, & Villeda, 2019)

Con todos estos datos se procede a simular el movimiento de la suspensión, al recorrer un tramo determinado de la vía, con una velocidad de 80km/h. Las unidades en las cuales se toman sus medidas son m/Km o dm/Hm. Al avanzar el vehículo por el tramo determinado de vía y con velocidad antes expresada, y al existir irregularidades en el pavimento sus masas tienen un movimiento vertical, esto es a lo que llamamos IRI.

2.7.3 Escala Y Características del IRI

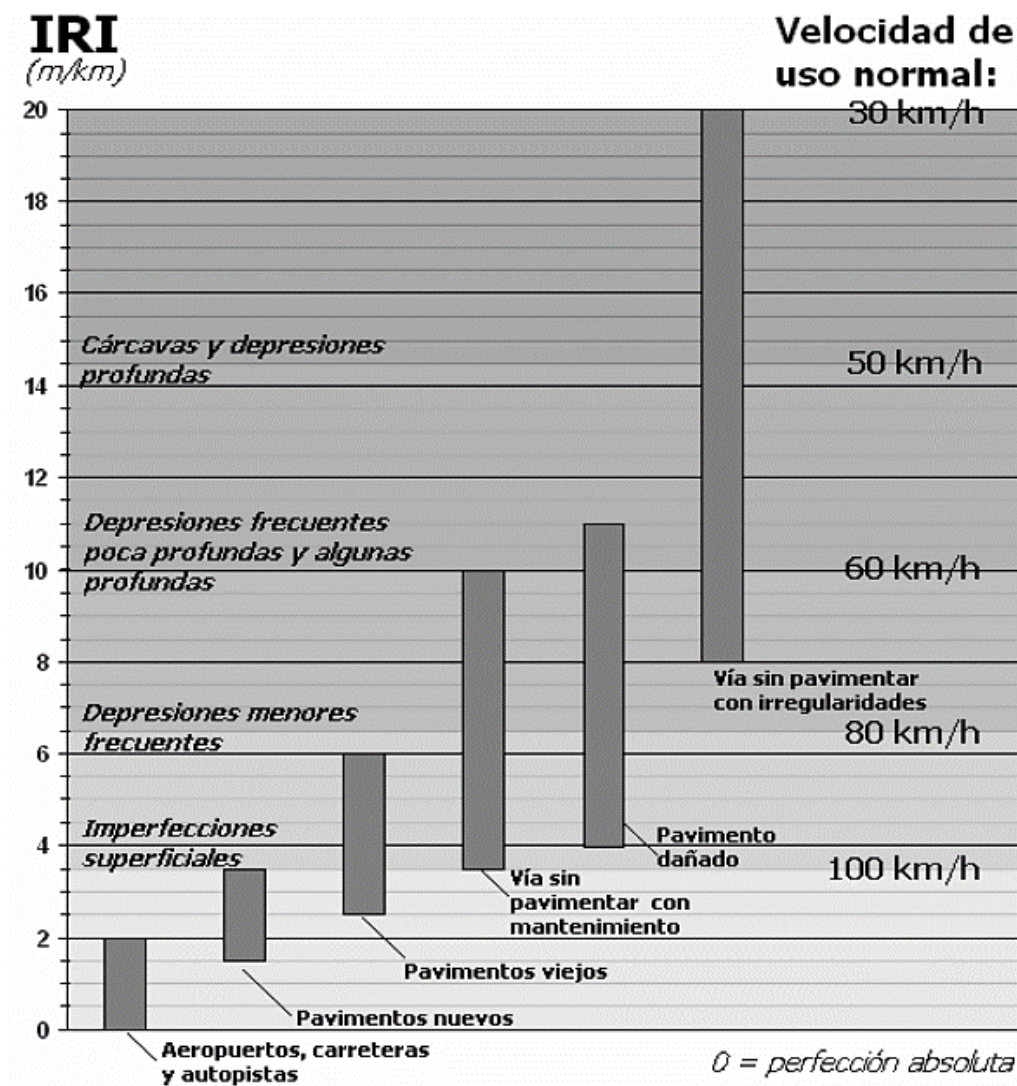
La unidad de medida es adimensional. Se recomienda que, para evitar datos demasiado pequeños, al expresar los resultados se lo haga en metros por km (m/km), o milímetros por metro (mm/m).

El tramo que se elija para determinar el IRI tiene una gran influencia en los datos numéricos. Por este motivo una de las recomendaciones más importantes para definir el IRI es que los tramos escogidos sean superiores a 200 metros esto con la finalidad de que definir con mayor exactitud la rugosidad de la vía.

En las carreteras que pavimentadas tenemos el siguiente rango según la escala del IRI, esta va de 0 siendo una superficie uniforme, a 12 que es una superficie por la cual no se puede transitar. Para carreteras que no tienen pavimentos la escala del IRI llega hasta el valor de 20. El IRI de una carretera que fue construida recientemente debería tener un valor de 0 el cual nos indicaría que está totalmente uniforme, pero se debe calcular el IRI debido a que es muy complicado IRI=0 por el tipo de material y diferentes factores constructivos.

Figura 9.

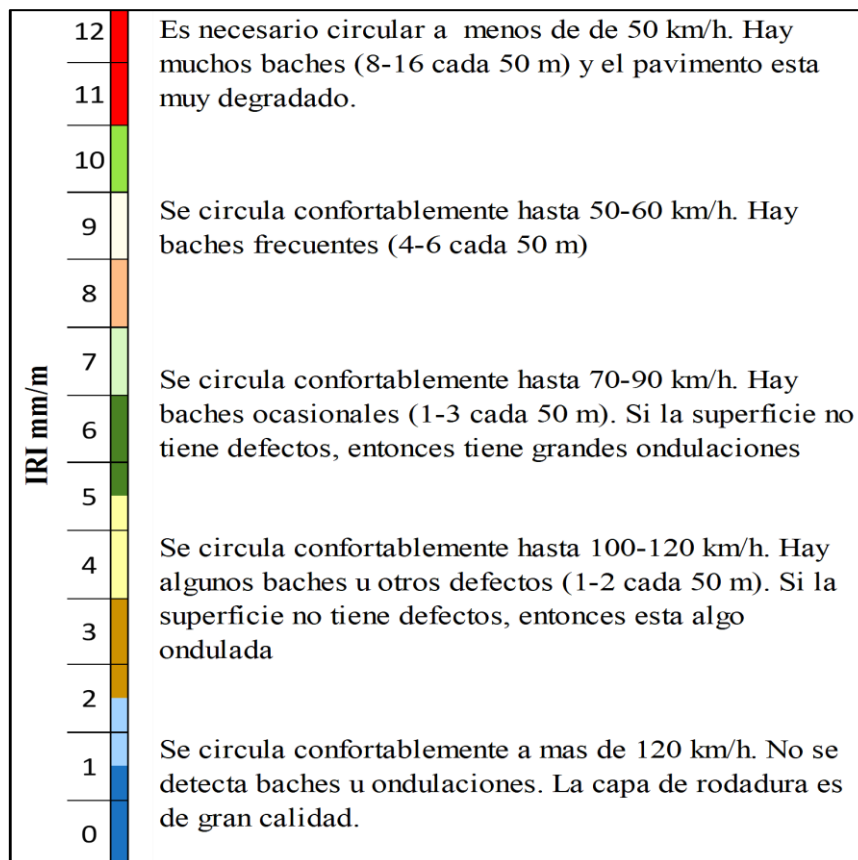
Escala de IRI



Nota. Se presenta Escala del IRI. Fuente: Lanamme-UCR

Figura 10.

Características del IRI



Nota. Se presenta relación entre valores del IRI y algunas características de simulación. Fuente: Lanamme-UCR

A demás los autores (Orozco, y otros, 2004) mencionan que, en algunos casos, el TDPA que se encuentra presente en el tramo a analizar se puede considerar como criterio para elegir un valor límite de IRI, debido a que el tránsito constituye como un indicador de la importancia del pavimento, por tanto, del nivel de deterioro tolerable en la misma.

Figura 11.

Índice Internacional de Rugosidad de acuerdo con el TPDA

Tránsito Diario Promedio Anual (TPDA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12	> 12
0 – 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 – 9 999			<i>Regular</i>	<i>Malo</i>			
10 000 – 19 999						<i>Muy malo</i>	
> 20 000							

Nota. Se presenta la tabla del TPDA y el IRI. Fuente: Orozco 2004

2.7.4 Factores que afectan el IRI

Existen varios factores que afectan a la toma de datos para el cálculo del IRI, los cuales son el medio ambiente, el tránsito que circula por la vía y uno de los más importantes son los factores geométricos. Los factores antes mencionados ocasionan una disminución en la calidad del pavimento, misma que se divide en tres etapas. La primera etapa en los primeros años presenta un deterioro poco significativo, la segunda etapa su deterioro es mayor que la primera, a su vez esta etapa requiere organizar un mantenimiento para que pueda seguir existiendo deterioro en el pavimento, la tercera y última etapa es aquella que presenta un deterioro significativo y acelerado en la vía, provocando que el nivel de servicio tenga una caída considerable por otra parte tendría un costo elevado para realizar el mantenimiento del pavimento incluso esto puede necesitar una reconstrucción de la vía.

2.8 CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

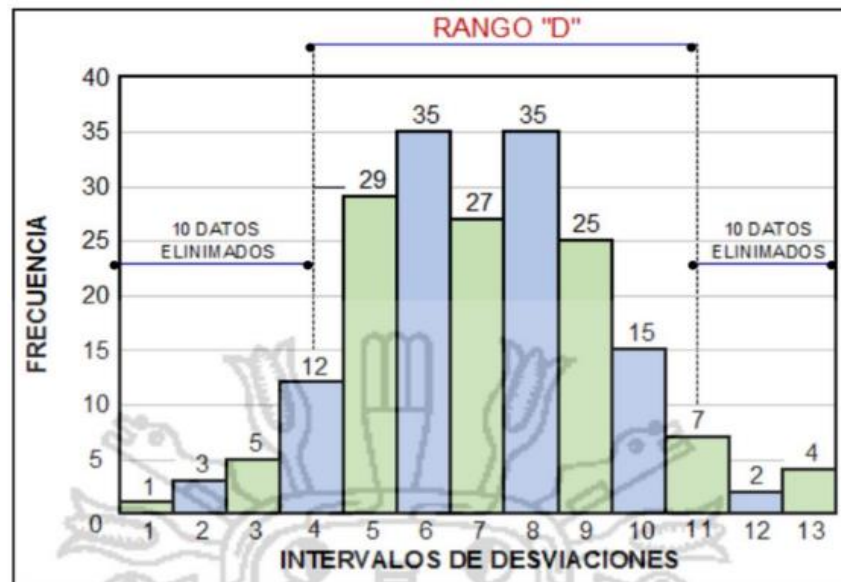
2.8.1 CÁLCULO DE RANGO “D”

Para determinar el valor de la Rugosidad, utilizamos el formato presentado en este proyecto (Figura 21), se tomará el registro de las 200 muestras.

Se realiza un histograma el cual nos indica la distribución de frecuencia de los datos obtenidos de la posición del puntero en el formato.

Figura 12.

Histograma de frecuencias



Nota. Se presenta Histograma de distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones en forma consecutiva. Fuente: (Almaza,2014)

Al tener realizado el histograma procedemos analizar el Rango (D), se elimina el 10% de valores de cada extremo del histograma, es decir, el 5 % debe ser del extremo derecho del y el otro 5% izquierdo.

En caso de presentar puntos marcados sobre una construcción singular ya sean estas reductores de velocidad, tapas, sumideros, alcantarillas etc., pueden ser alteraciones del perfil longitudinal que no nace de fallas constructivas y que a su vez estas incrementan el IRI por ende esas lecturas se descartan.

2.8.1.1 CORRELACIONES D VERSUS IRI

En los tiempos de hoy existen varias expresiones las cual son utilizadas para poder relacionar el (IRI) Índice de Rugosidad Internacional con la Rugosidad obtenida con el Merlín, ya que el IRI nos sirve para uniformizar los datos que se obtuvieron de varios equipos que son utilizados en la actualidad.

Para correlacionar el IRI obtenido con el Rugosímetro Merlín, se usará las ecuaciones de correlación.

$$\text{Cuando } 2,4 < \text{IRI} < 15,9 \text{ entonces } \mathbf{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \quad (1)$$

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2,4 \text{ entonces } \mathbf{IRI} = 0.0485 D \quad (2)$$

Donde:

D: rugosidad en unidades Merlín

La ecuación 1 se determinó en Brasil en el año de 1982 en el Ensayo Internacional de Rugosidad, mediante una simulación por computadora. Dicha ecuación es utilizada para poder realizar evaluaciones en pavimentos que se encuentren en servicio y sean compuestos de una superficie de rodadura de tierra o granular, se puede dar uso a esta ecuación siempre y cuando cumplan con la condición indicada anteriormente.

La ecuación 2 originaria en Perú, debido a la experiencia de dicho país, el cual realizó algunas pruebas en 3000 km de pavimentos, se evidencia que la ecuación dada en el manual que de TRRL, no aplica para pavimentos nuevos o con pocas deformaciones dicha ecuación se desarrolló utilizando el mismo método aplicado por el laboratorio británico.

2.9 ÍNDICE DE SERVICIO DE PAVIMENTOS (PSI)

Como sus siglas lo indica es Present Serviceability Index o Índice de Serviceabilidad del Pavimento, es aquel que nos indica en qué condiciones se encuentra el pavimento en la actualidad, se lo calcula por medio de correlaciones a través de una regresión matemática. Existen varias formas de calcular el PSI, se la puede medir por medio de la rugosidad que presenta el pavimento y se utiliza equipos como perfilómetros o rugosímetros.

También se puede evaluar mediante la visualización de fallas que se presenta en la vía, estas sirven para el momento del ensayo debido a que al pasar el tiempo las fallas pueden seguir en crecimiento. (Corros, Urbáez, & Coredor, 2009). Para poder calcular el PSI con el método de visualización de fallas que existen en la vía se utiliza la fórmula que nos presenta la (AASHTO, 1993) es la siguiente:

$$PSI = 5.03 - 1.9 \log (1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01 (C + P)^{0.5} \quad (3)$$

Donde:

SV = Variación de las cotas en sentido longitudinal en relación con la rasante inicial.

RD = Profundidad media de ahuellamiento en plg.

C = Sumatoria de área de fisuras y grietas longitudinales en ft²

P = Área de baches reparados en 1000 ft²

Los valores de serviciabilidad obtenidos de la Carretera Experimental (AASHTO, 1993), para condiciones iniciales (Po) son:

Pavimentos rígidos: 4.5

Pavimentos flexibles: 4.2

Mientras que los valores de índice de serviciabilidad final (Pf) aceptables son:

Caminos muy importantes: 2.5

Caminos de menor tránsito: 2.0

(Sayer, 1986) presentó la siguiente ecuación en función al IRI:

$$PSI = 5e^{-\left(\frac{IRI}{5.5}\right)} \quad (4)$$

Donde:

IRI: índice de Rugosidad del Pavimento.

e: exponencial 2,71828

El Índice de Servicio de Pavimento se encuentra clasificado de acuerdo con la siguiente escala:

Tabla 2.

Escala de PSI

PSI	Condición de camino
0 - 1	Muy pobre
1 - 2	Pobre
2 - 3	Aceptable
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Nota. Se evidencia la escala del PSI. Fuente: (Arriaga, Garnica, & Rico, 1998)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Existen diferentes tipos de investigaciones, en el presente proyecto a realizarse se empleará la exploratoria, esta permitirá indagar de mejor forma, que una vez terminado puedan profundizar y ampliar el tema. “Los estudios exploratorios se efectúan normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes.” (Hernández, Fernández, & Baptista, 1997, pág. 70). De tal forma que se utilizará este tipo, para intereses requeridos en la búsqueda de información necesaria.

3.2 MÉTODO

En este proyecto se usará el método analítico “Este proceso cognoscitivo consiste en descomponer un objeto de estudio, separando cada una de las partes del todo para estudiarlas en forma individual.” (Bernal, 2010, pág. 60) Con este método lo que se busca es dar a entender paso a paso la afectación de no tener un control y mantenimiento previo de las vías.

3.3 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para este proyecto la información que se recopilará se lo hará a través del Ministerio de Transporte de Obras Públicas, mismo que nos facilitará las dimensiones técnicas en formato PDF para la elaboración del rugosímetro Merlín, el estudio de tráfico se lo obtendrá mediante el conteo vehicular de la avenida Rumichaca Ñan.

3.4 PROCESO TÉCNICO

3.4.1 Desarrollo de Merlín

El equipo se desarrollará con medidas estipuladas en las normas que rigen, se realizará un diseño previo para el armado del equipo. Se llevará a cabo también su respectiva calibración antes dar el uso debido.

3.4.2 Implementación del Merlín

Una vez armado, calibrado y evaluado la avenida en estudio con el rugosímetro Merlín, se realizará la entrega del equipo al laboratorio de Pavimentos con su respectivo formato de trabajo.

3.4.3 Volumen de tráfico

Se realizará conteo visual y manual en una semana en jornadas completas de 8 horas de los vehículos que circulan por la avenida Rumichaca Ñan. Según (Ministerio de Transporte de Obras Públicas) menciona que es posible indicar que como mínimo debiera hacerse dos conteos de 24 horas en cada temporada, uno en miércoles, alejado de la influencia de los feriados y otro el Domingo, este conteo es necesario para obtener un volumen de tráfico detallado y confiable que nos permita interpretar de mejor manera las causas de daño presentes de la vía en estudio.

3.4.4 Inventario de fallas

Recopilar fotos de los diferentes tipos de fallas en la vía esto se realizará mediante inspección visual de la vía en estudio, se realizará un domingo debido a que la avenida se encuentra cerrada para la circulación vehicular, disponible solo para los ciclistas que nos facilitará observar de mejor manera cada detalle presente.

3.4.5 Análisis y comparación de los resultados

Una vez realizado el armado del equipo Merlín se evaluará la avenida y se comparará los resultados obtenidos para concluir el estado de la vía y el método adecuado de rehabilitación que se podría aplicar. “Es importante mencionar que los estudios que utilizan datos de tipo cualitativo emplean métodos de recolección que difieren de aquellos que se utilizan en estudios cuantitativos.” (Gallardo, 2017, pág. 74). Por esta razón, una vez que se haya estudiado la avenida de forma visual se procederá a realizar la respectiva clasificación de los tipos de fallas existente del tramo seleccionada para efectuar el análisis, comparación pertinente y comprobar el buen funcionamiento del equipo.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO MERLÍN

4.1 DISEÑO E INGENIERÍA DEL EQUIPO MERLÍN

Este equipo fue creado y diseñado de forma simple por el TRLL, especialmente para uso en países de vías en desarrollo. Es útil para el cálculo del IRI a partir de una correlación. Para su desarrollo se emplea escaso recurso económico. Con los años este equipo ha ido evolucionando mismo que en la actualidad sirve para calibrar otros equipos de tipo respuesta como el Perfilómetro Láser, Bump Integrator etc.

Es un equipo de operación manual que rueda a lo largo de la vía permitiendo medir ondulaciones que van a intervalos regulares, las lecturas tomadas son representadas en un gráfico mediante histogramas. (Cundill, 1991).

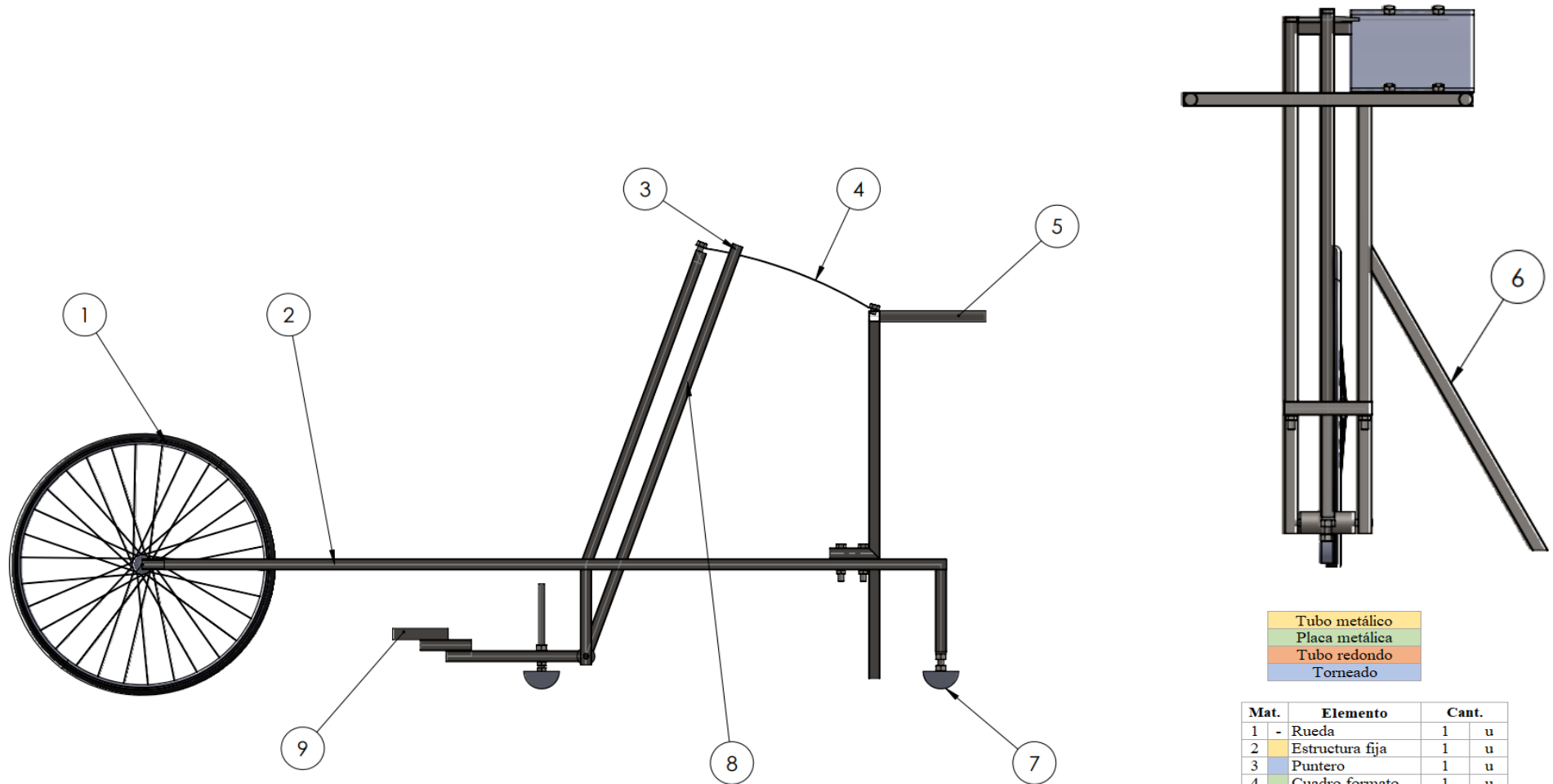
El laboratorio TRLL realizó varias pruebas para el desarrollo de este equipo, en el manual especifica el material a usar, en el que tenemos el tubo cuadrado de 25 x 25 x 1,5 mm con una rueda rin de 26, que representa aproximadamente 2 metros de distancia recorrida en una revolución completa de la rueda. (Cundill, The Merlin Road Roughness Machine: User Guide , 1996)

Mediante el uso del programa solidworks se realizó los planos siguiendo paso a paso las especificaciones del manual, para la respectiva construcción en un taller. A demás se realizo la simulación de la vuelta entera de la rueda donde se pudo observar que la rueda que se comercializa en el mercado de rin detallada por el TRLL, en este proyecto recorre 1.93 metros.

A continuación se presenta el equipo con sus partes, dimensiones y soldaduras, realizados para la elaboración del equipo.

Figura 13.

Diseño de rugosímetro Merlín con sus elementos

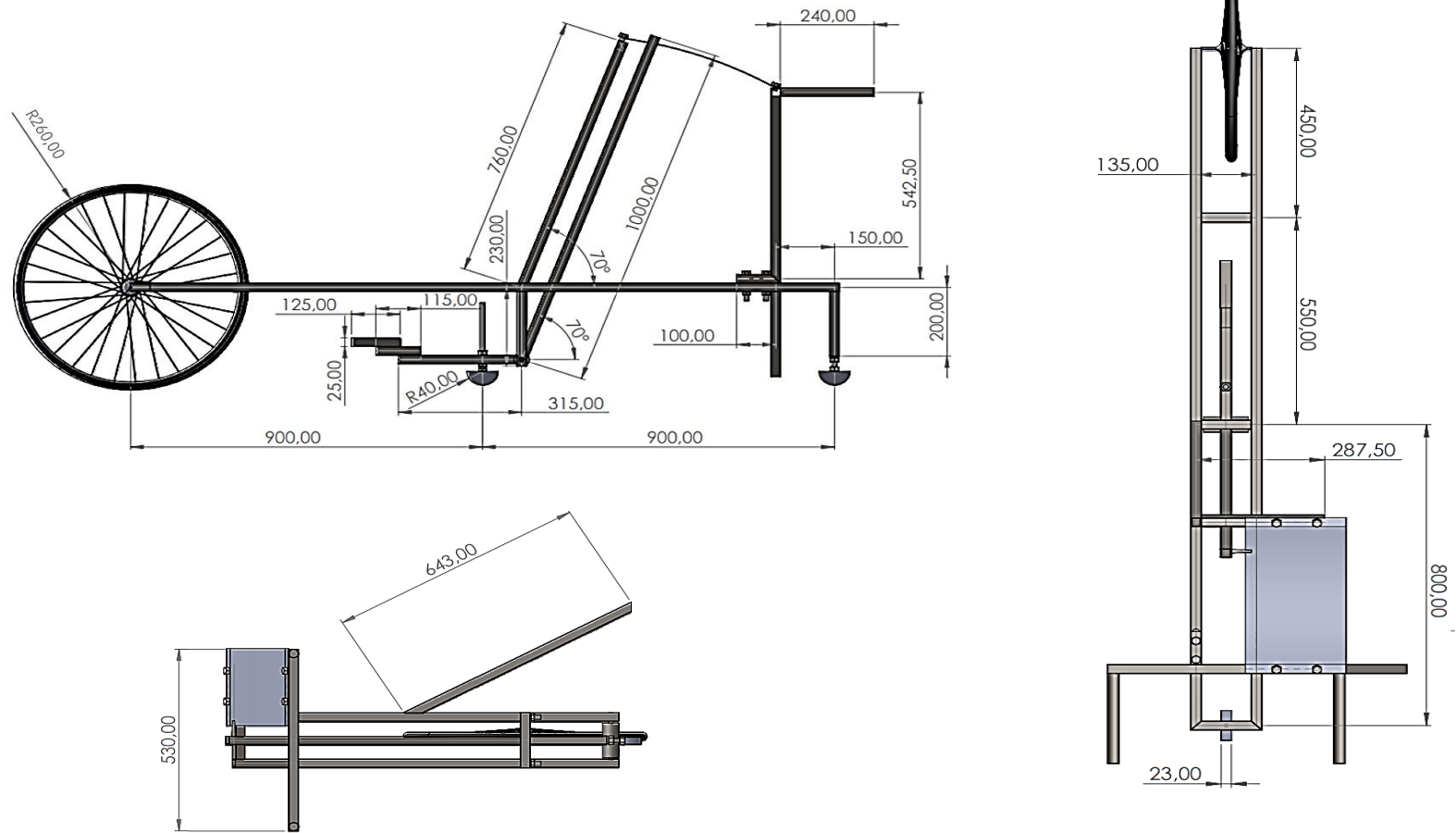


Nota. Se presenta el diseño del rugosímetro Merlín con sus partes. Elaborado por: Los autores

Mat.	Elemento	Cant.
1	- Rueda	1 u
2	Estructura fija	1 u
3	Puntero	1 u
4	Cuadro formato	1 u
5	Manijas	2 u
6	Estabilizador	1 u
7	Patín	2 u
8	Brazo móvil	1 u
9	Contrapeso	1 u
10	- Soldadura	18 u
11	Tornillo hexagonal	10 u

Figura 14.

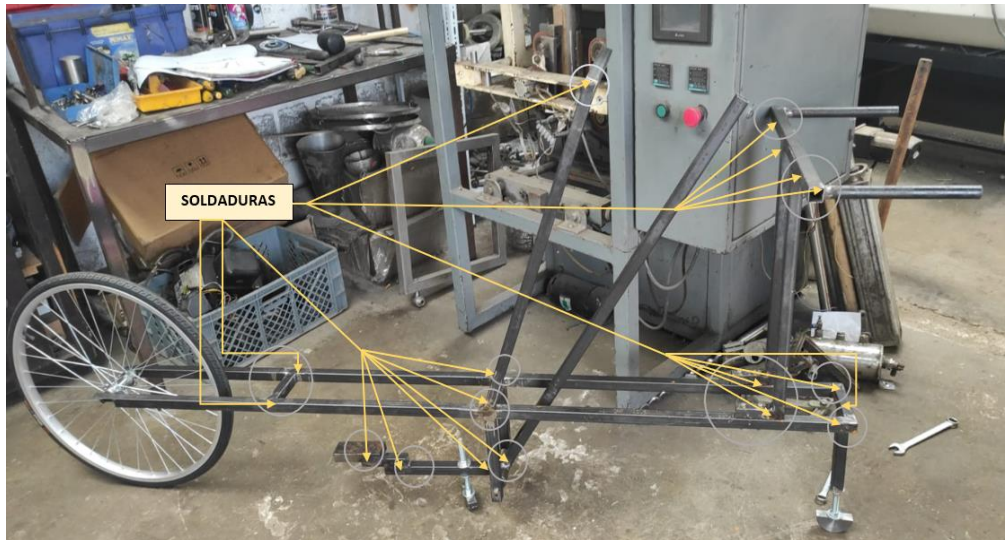
Dimensiones del Merlín implementado



Nota. Se presenta las dimensiones de los elementos de equipo en unidades mm. Elaborado por: Los autores

Figura 15.

Soldaduras empleado en el Merlín



Nota. Se refleja en su totalidad 18 soldaduras realizadas en el quipo Merlín.

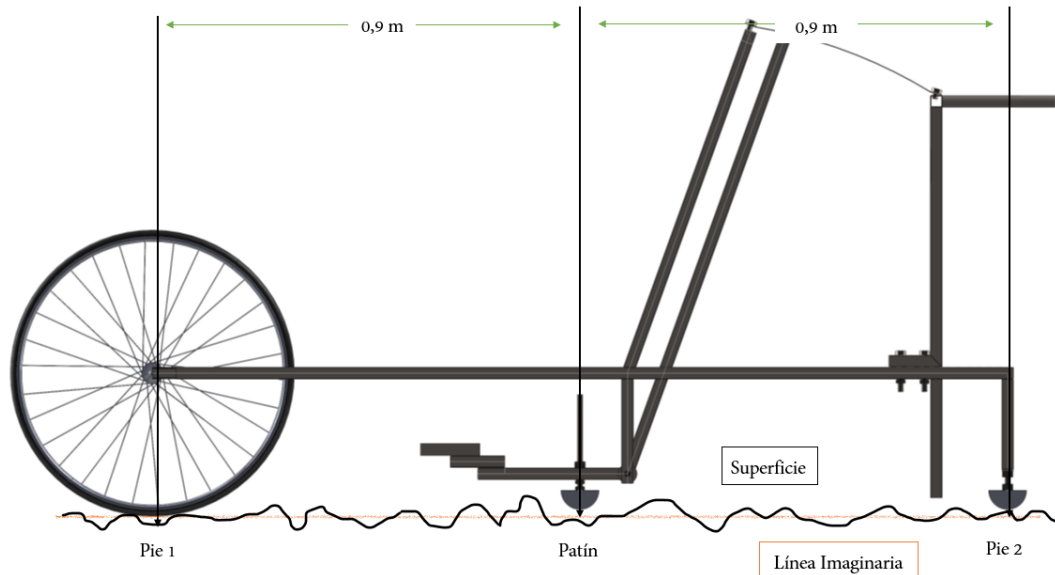
Elaborado por: Los autores

4.2 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DEL EQUIPO MERLÍN

El Merlín consta de tres ejes de referencia descansando sobre la superficie, como se observa en la figura 16, dos pies y un patín ubicado en el centro, en la cual el pie delantero (pie 1) está representado por la rueda, mientras que el pie trasero se encuentra a 1.80 metros de distancia de la rueda (pie 1), por otra parte, el patín se encuentre exactamente en el centro de los dos pies de referencia.

Figura 16.

Esquema de pie y patín del Merlín



Nota. Se muestra el esquema de distribución de los pies y patín a lineados a la línea imaginaria. Fuente: Los autores


El brazo móvil se mueve cerca del patín de manera que un desplazamiento vertical del patín de 1 mm producirá un desplazamiento del puntero de 1 cm.

El cuadro de formato sirve para colocar el formato con elevaciones y depresiones representadas por 25 espacios de 5 mm, donde iremos tomando nota de las cantidades marcadas por el puntero. (Cundill, *The Merlin Road Roughness Machine: User Guide* , 1996)

Cabe recalcar que se presentará el caso en el que la rugosidad superficial es elevada y el puntero marcará fuera del rango de medidas en los extremos del formato establecido, en el cual se debe fijar el patín en una posición más alejada del pivote, con lo cual se obtiene una mejor ampliación de la deformación vertical del pavimento. (Cundill, *The Merlin Low-Cost Road Roughness Measuring Machine*, 1991). A continuación, se observa el formato realizado para la evaluación con el equipo Merlín.

Figura 17.

Formato de elevaciones y depresiones.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
DEPRESIONES	1	RUGOSÍMETRO MERLÍN	
	2		
	3		
	4		MODELO: MK 2
	5		QUITO - ECUADOR
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	15		
	16		
	17		
	18		
	19		
	20		
	21		
	22		
	23		
	24		
	25		
ELEVACIONES	26		
	27		
	28		
	29		
	30		
	31		
	32		
	33		
	34		
	35		
	36		
	37		
	38		
	39		
	40		
	41		
	42		
	43		
	44		
	45		
	46		
	47		
	48		
	49		
	50		

Nota. Formato representado por 5mm cada espacio donde se observan las depresiones y elevaciones. Elaborado por: Los autores.

4.3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO MERLÍN

La amplificación del brazo móvil se establece en 5 mm, antes de usar el equipo se debe calibrar y ajustar el factor D, mismo que se le conoce como al valor de rugosidad de la vía en “unidades Merlín”; para este proceso se debe apoyar el Merlín sobre una superficie lisa o un codal correctamente nivelado, creando una línea imaginaria donde estén alineados el pie delantero y trasero.

Figura 18.

Alineación de Rugosímetro Merlín sobre el codal.



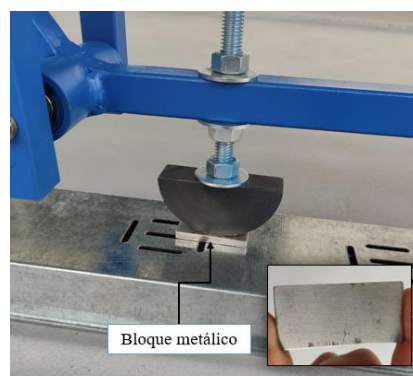
Nota. Merlín colocado en una superficie correctamente nivelado para su calibración.

Elaborado por: Los autores

Seguidamente se debe colocar el puntero en la línea central de marca 25 y 26 realizando movimiento únicamente en el patín central, en esa posición se eleva el patín colocando un bloque metálico pequeño de las siguientes dimensiones 50 x 25 x 6 mm, este movimiento provocará que el puntero se desplace sobre el cuadro de formato.

Figura 19.

Bloque metálico debajo del patín



Nota. Se refleja el bloque metálico debajo del patín central para la calibración.

Elaborado por: Los autores

El movimiento del puntero una vez colocado el bloque, deberá representar la relación del brazo estándar de 1 a 10, es decir, una distancia igual al espesor del bloque metálico multiplicado por 10, en este caso $6*10=60\text{mm}$, considerando que cada espacio representa 5mm entonces el puntero deberá desplazarse 12 casilleros.

Cabe mencionar que esto sucederá siempre y cuando la relación de brazo construido del Merlín sea igual a la asumida, se marca la posición inicial del puntero, este proceso es repetitivo con la finalidad de verificar valores sensatos. De no ser el caso se debe hallar el factor de escala (FE) para realizar una corrección en el factor D.

Para hallar el factor de escala se debe usar la ecuación 4 dada en el manual de TRLL.

$$FE = \frac{10T}{[(LI - LF) * 5]} \quad (5)$$

Donde:

T: espesor del bloque utilizada para la calibración

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

4.4 MATERIALES QUE SE UTILIZARÁN PARA LA EVALUACIÓN EN CAMPO.

La evaluación de la vía se lo debe hacer en horas con menor tráfico en caso de tener mayor concurrencia vehicular se debe hacer uso un vehículo que proteja a los operadores. Principalmente se debe usar los equipos de seguridad como: casco, chaleco, conos y banderas.

Figura 20.

Equipos de seguridad







Nota. Equipos de seguridad necesarios en campo. Elaborado por: Los autores.

También tenemos otros materiales que ayudarán en la operación de la vía a evaluar estos se encuentran enlistados en la tabla 3.

Tabla 3.

Materiales por usar durante la operación del Merlín

Materiales	Descripción de uso
Bloque Metálico	Ayuda a determinar el factor de escala para el cálculo final de nuestra correlación "D"
Llave	Con la ayuda de una llave se debe realizar los ajustes necesarios.
Lápiz	sirve para anotar las lecturas marcadas por el puntero.
Borrador	En caso de necesitar borrar algún dato.

Tiza		Sirve para poder marcar los puntos donde cae una revolución de la rueda.
Flexómetro		Para medir la distancia entre punto.
Cinta Adhesiva		Para colocar el formato donde se tomarán las lecturas.
Bomba de aire		se debe verificar que la rueda esté en condiciones óptimas para el uso del Merlín

Nota. Lista de materiales indispensables durante la operación del equipo. Elaborado por: Los autores

Para facilitar y mejorar la organización en la toma de lecturas dadas por el Merlín, en futuras evaluaciones, se ha creado el formato conforme al manual y normativa donde se recomienda tomar 200 muestras por cada tramo a evaluar, esto con la finalidad de obtener mayor precisión y mejores resultados. (Cundill, The Merlin Road Roughness Machine: User Guide , 1996)

Figura 21.

Formato de muestras

Universidad Politécnica Salesiana										
Laboratorio de Pavimentos										
Rugosímetro Merlín										
Tramo: _____					Ubicación: _____					
Operador: _____					N° de ensayo: _____					
Carril: _____					Fecha: _____					
Informe de resultados en campo										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Descripción de tipo de pavimento: _____										
Observaciones: _____										

Nota. Se observa el formato creado para 200 muestras. Elaborado por. Los autores

4.5 MÉTODO DE USO

Para ensayos en el campo se requiere la intervención de dos personas que estén encargados de operar, marcar y tomar lecturas que indica el puntero en el cuadro de formato sea este depresiones o elevaciones.

Figura 22.

Operador del Merlín



Nota. Se presenta los operadores del Merlín. Elaborado por: Los autores.

Se desvía el tránsito vehicular del carril a utilizar, en caso de presentar excesivo tránsito vehicular, se utilizará un vehículo con luces de seguridad para seguridad de los operadores.

Figura 23.

Cierre de tránsito vehicular d la avenida, para mayor seguridad



Nota. Se presenta vía sin la circulación de vehículos por seguridad de los operarios.

Elaborado por: Los autores

Se determina el carril a utilizar en el ensayo, de preferencia debe ser el más cercano al borde de la calzada, se realiza la calibración del Merlín, y se ubica el equipo en la abscisa

0+000, se traza una línea a lo largo del tramo donde se tomará los datos y se arranca con el ensayo.

Figura 24.

Calibración del Merlín en el tramo evaluado



Nota. Se presenta calibración y ubicación del Merlín. Elaborado por: Los autores.

El operador debe avanzar una revolución o vuelta completa de la rueda y asentará el rugosímetro Merlín de modo que quede sobre el asfalto, la rueda el patín fijo y el patín móvil, estabilizado de esta manera podrá determinar el desplazamiento que sufrió el puntero y procederá a tomar la lectura, y así será sucesivamente a lo largo del todo el tramo con la finalidad de obtener aproximadamente 200 lecturas.

Figura 25.

Toma de lecturas en campo



Nota. Se presenta toma de datos con el equipo. Elaborado por: Los autores.

El formato de datos a tomar debe estar correctamente membretada con el carril, características de la pista y demás datos referenciales de la calibración para evitar confusiones en el cálculo, las lecturas son tabuladas de acuerdo con el número de marcas entre el número 1-50 del cuadro de formato. (Cundill. 1996)

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 LEVANTAMIENTO DE RUGOSIDAD MEDIANTE EQUIPO MERLÍN

Ubicación del tramo evaluado: Avenida Rumichaca Ñan ubicado en la parroquia Zonal Quitumbe al sur del Distrito Metropolitano de Quito, cuenta con dos carriles de 6 metros cada carril, además cuenta con cicloavía.

Esta avenida es transitada concurrentemente, en horas pico se observó mucha afluencia vehicular debido a que a sus alrededores se encuentra instituciones educativas, hospitales y centro comerciales, con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del equipo se precede a realizar la evaluación del tramo de un solo carril, aprovechando que tal carril los días domingo se cierran para recreación de los ciclistas.

Se presenta 6 sumideros en todo el tramo, mismos que al evaluar con el rugosímetro Merlín solamente un punto cae en uno de ellos, esa lectura deberá ser descartada por encontrarse en una estructura que afecta el perfil.

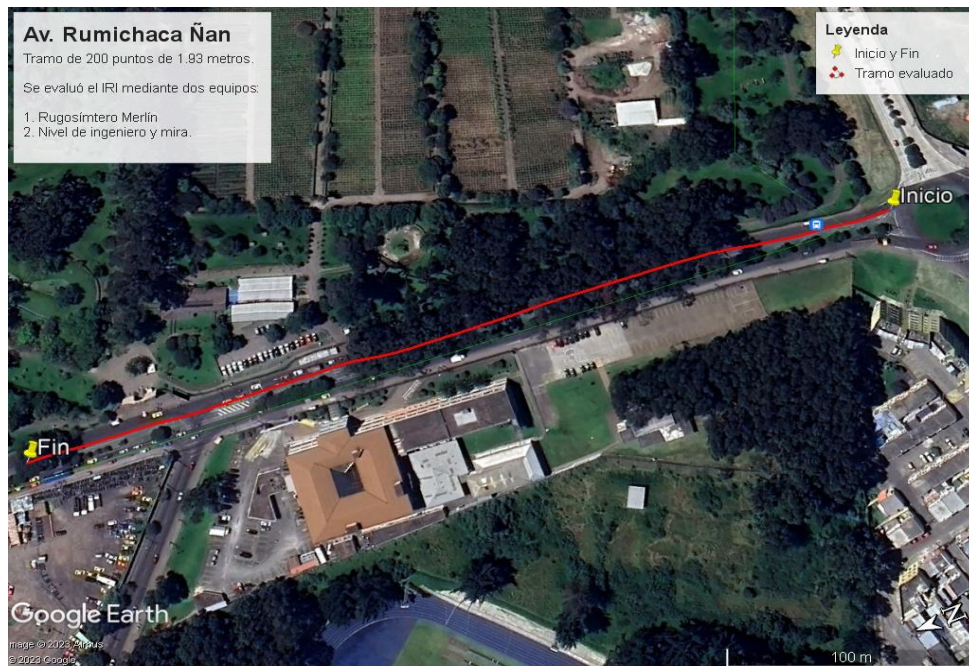
Longitud de tramo: 386 metros

Número de muestras: 200

Revolución de la rueda: 1,93 metros

Figura 26.

Tramo evaluado Av. Rumichaca Ñan



Nota. Se presenta el tramo evaluado el índice de Rugosidad Internacional IRI mediante dos equipos de medición. Elaborado por: Los autores

5.2 CÁLCULO DE FACTOR D

Para determinar el valor del factor D se realiza un histograma de frecuencias con las lecturas tomadas en campo, en el formato dado (figura 21).

Figura 27.

Datos de la Av. Rumichaca Ñan, tomados con el Merlín

Universidad Politécnica Salesiana Laboratorio de Pavimentos Rugosímetro Merlín										
Tramo: <u>386 metros</u>					Ubicación: <u>Av. Rumichaca Ñan</u>					
Operador: <u>David Estévez</u>					Nº de ensayo: <u>#1</u>					
Carril: <u>Derecho Dir. Sur-Norte</u>					Fecha: <u>4/6/2023</u>					
Informe de resultados en campo										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	39	22	22	20	19	30	25	22	28	27
2	26	27	23	21	21	22	24	25	24	25
3	24	23	23	23	21	22	23	22	23	22
4	23	26	23	26	23	25	25	24	22	28
5	26	22	25	20	19	22	20	11	15	16
6	27	18	32	24	17	27	27	22	21	25
7	28	25	29	1	24	30	26	20	24	18
8	26	26	23	22	31	2	28	22	28	24
9	23	22	19	18	20	27	22	25	19	17
10	20	23	21	31	24	24	23	20	27	19
11	23	24	29	19	28	19	26	26	22	18
12	18	20	25	18	26	21	31	19	23	20
13	26	25	28	22	18	21	24	32	23	21
14	11	28	29	16	24	23	19	31	20	28
15	26	22	23	20	21	26	24	28	23	25
16	21	23	28	15	25	22	18	25	23	24
17	19	26	4	28	20	24	22	28	28	28
18	19	23	29	23	22	22	23	26	18	22
19	22	23	29	15	20	23	24	24	23	20
20	24	22	22	25	24	20	26	20	24	26
Descripción de tipo de pavimento: <u>Pavimento en caliente, presenta varios daños en todo el tramo.</u>										
Observaciones: <u>El punto 7-4 cae en un sumidero por lo que al realizar el cálculo se deberá descartar dicha lectura.</u>										

Nota. Formato con los datos obtenidos en campo mediante el Merlín. Elaborado por:

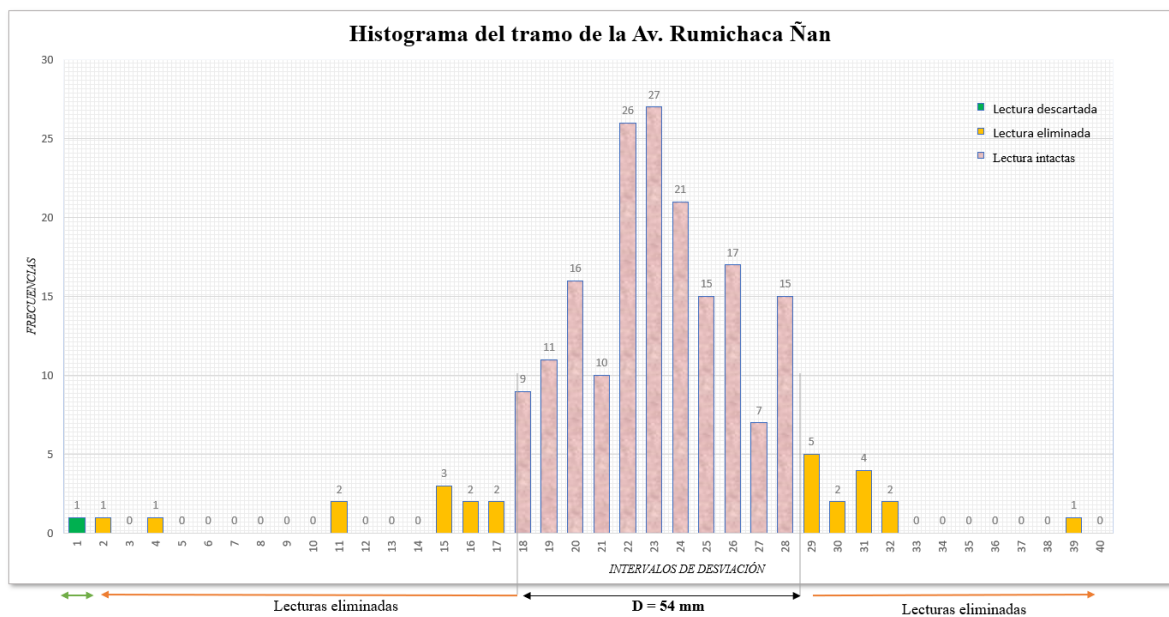
Los autores

Mediante un histograma se representa todos los datos, este histograma indica la distribución de frecuencia de las lecturas obtenidos con el Merlín, posiciones marcadas por el puntero, sean éstas elevaciones y depresiones en el cuadro de formato.

Se procede a eliminar el 10% de datos, el 5% de lado izquierdo y el otro 5% del lado derecho, es decir, 10 lecturas en su totalidad. Además, en este tramo se encontró un punto ubicado en un sumidero la misma que se descartó, por encontrarse en una construcción no pavimentada.

Figura 28.

Histograma de distribución de frecuencias de la Av. Rumichaca Ñan



Nota. Histograma de distribución en un tramo de 386 metros. Elaborado por: Los autores

Seguidamente se procede al cálculo del ancho de “D” misma que es la sumatoria de las barras intactas multiplicado por los 5 mm, que representa el espacio en formato del Merlín. En el que tenemos 11 barras intactas y que al eliminar las 10 lecturas, tenemos dos barras donde se considera una unidad fraccionaria en el lado izquierdo igual a $1/2 = 0,5$ y lado derecho igual a $1/5 = 0,2$

$$D = (\text{barras intactas} * 5) \quad (6)$$

$$D = (11 * 5) + \left(\frac{1}{2} * 5\right) + \left(\frac{1}{5} * 5\right)$$

$$D = 58,5$$

Calculamos el factor de escala, debido a que nuestro brazo móvil no cumple con la distribución de 1 a 10, esperada acorde a la dimensión de bloque metálico.

$$FE = \frac{10T}{[(LI - LF) * 5]}$$

$$FE = \frac{10 * 6}{|(25 - 38)| * 5}$$

$$FE = 0.923$$

Corregimos la rugosidad en unidades Merlín (D) multiplicado por el factor de escala.

$$D_{\text{corregido}} = D * FE \quad (7)$$

$$D_{\text{corregido}} = 58.5 * 0.923$$

$$D_{\text{corregido}} = 54$$

Calculamos el IRI utilizando la ecuación 1, este índice se encuentra en el rango aplicado para esta ecuación.

$$IRI = 0.593 + 0.0471(D)$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471(54)$$

$$\checkmark IRI = 3.13 \text{ m/km}$$

$$2.4 < 3,13 < 15.9 \text{ ok}$$

5.3 LEVANTAMIENTO DE RUGOSIDAD MEDIANTE MÉTODO NIVEL DE INGENIERO

El nivel de ingeniero es un instrumento que describe un plano horizontal que hace posible determinar el desnivel existente de un punto a otro, esto se obtiene a través de lecturas obtenidas mediante la mira.

La norma específica que se debe realizar lecturas mínimo cada 25 cm en todo el tramo, para tener errores mínimos debido a varios factores que pueden influir. Este método se llevó a cabo con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del equipo Merlín.

En este proyecto se realiza mediciones en los mismos puntos que el Merlín marcó la revolución completa de la rueda, es decir cada 1.93 metros con la finalidad de poder realizar la comparación de IRI que se obtenga a través de los dos equipos de medición aplicado.

En campo se obtiene 200 puntos que serán utilizadas para determinar y graficar el perfil longitudinal, tal que nos permite hallar el IRI. La cota referencial de 2899 msnm se logró obtener mediante el Google Earth.

Tabla 4.

Datos y cálculos obtenidos con el nivel

Punto	Vista Atrás (+)	Nivel	Vista Adelante (-)	Cota	Distancia
0	-	-	-	2899,000	0,00
1	0,008	2899,008	0,091	2898,917	1,93
2	0,008	2899,008	0,091	2898,917	3,86
3	0,008	2899,008	0,085	2898,923	5,79
4	0,008	2899,008	0,042	2898,966	7,72
5	0,008	2899,008	0,035	2898,973	9,65
6	0,008	2899,008	0,025	2898,983	11,58
7	0,008	2899,008	0,006	2899,002	13,51
8	0,008	2899,008	0,004	2899,004	15,44
9	0,008	2899,008	0,001	2899,007	17,37
10	0,008	2899,008	0,018	2898,990	19,30

11	0,008	2899,008	0,034	2898,974	21,23
12	0,008	2899,008	0,053	2898,955	23,16
13	0,008	2899,008	0,093	2898,915	25,09
14	0,008	2899,008	0,086	2898,922	27,02
15	0,008	2899,008	0,083	2898,925	28,95
16	0,008	2899,008	0,085	2898,923	30,88
17	0,008	2899,008	0,087	2898,921	32,81
18	0,008	2899,008	0,06	2898,948	34,74
19	0,008	2899,008	0,045	2898,963	36,67
20	0,008	2899,008	0,03	2898,978	38,60
21	0,008	2899,008	0,045	2898,963	40,53
22	0,008	2899,008	0,025	2898,983	42,46
23	0,008	2899,008	0,06	2898,948	44,39
24	0,008	2899,008	0,08	2898,928	46,32
25	0,0051	2898,933	0,12	2898,888	48,25
26	0,0051	2898,933	0,13	2898,803	50,18
27	0,0051	2898,933	0,135	2898,798	52,11
28	0,0051	2898,933	0,139	2898,794	54,04
29	0,0051	2898,933	0,138	2898,795	55,97
30	0,0051	2898,933	0,129	2898,804	57,90
31	0,0051	2898,933	0,128	2898,805	59,83
32	0,0051	2898,933	0,163	2898,770	61,76
33	0,0051	2898,933	0,161	2898,772	63,69
34	0,0051	2898,933	0,172	2898,761	65,62
35	0,0051	2898,933	0,196	2898,737	67,55
36	0,0051	2898,933	0,203	2898,730	69,48
37	0,0051	2898,933	0,236	2898,697	71,41
38	0,002	2898,699	0,252	2898,447	73,34
39	0,002	2898,699	0,278	2898,421	75,27
40	0,002	2898,699	0,265	2898,434	77,20
41	0,002	2898,699	0,269	2898,430	79,13
42	0,002	2898,699	0,271	2898,428	81,06
43	0,002	2898,699	0,222	2898,477	82,99
44	0,002	2898,699	0,195	2898,504	84,92
45	0,002	2898,699	0,171	2898,528	86,85
46	0,002	2898,699	0,16	2898,539	88,78
47	0,002	2898,699	0,175	2898,524	90,71
48	0,002	2898,699	0,18	2898,519	92,64
49	0,002	2898,699	0,096	2898,603	94,57
50	0,002	2898,699	0,055	2898,644	96,50
51	0,002	2898,699	0,029	2898,670	98,43
52	0,002	2898,699	0,05	2898,649	100,36
53	0,006	2898,655	0,078	2898,577	102,29
54	0,006	2898,655	0,081	2898,574	104,22

55	0,006	2898,655	0,062	2898,593	106,15
56	0,006	2898,655	0,063	2898,592	108,08
57	0,006	2898,655	0,059	2898,596	110,01
58	0,006	2898,655	0,053	2898,602	111,94
59	0,006	2898,655	0,063	2898,592	113,87
60	0,006	2898,655	0,026	2898,629	115,80
61	0,006	2898,655	0,009	2898,646	117,73
62	0,006	2898,655	0,008	2898,647	119,66
63	0,006	2898,655	0,006	2898,649	121,59
64	0,006	2898,655	0,002	2898,653	123,52
65	0,006	2898,655	0,003	2898,652	125,45
66	0,0001	2898,652	0,056	2898,596	127,38
67	0,0001	2898,652	0,096	2898,556	129,31
68	0,0001	2898,652	0,102	2898,550	131,24
69	0,0001	2898,652	0,106	2898,546	133,17
70	0,0001	2898,652	0,121	2898,531	135,10
71	0,0001	2898,652	0,089	2898,563	137,03
72	0,0001	2898,652	0,094	2898,558	138,96
73	0,0001	2898,652	0,044	2898,608	140,89
74	0,023	2898,631	0,05	2898,602	142,82
75	0,023	2898,631	0,043	2898,609	144,75
76	0,023	2898,631	0,043	2898,609	146,68
77	0,023	2898,631	0,043	2898,609	148,61
78	0,023	2898,631	0,041	2898,611	150,54
79	0,023	2898,631	0,04	2898,612	152,47
80	0,023	2898,631	0,048	2898,604	154,40
81	0,023	2898,631	0,052	2898,600	156,33
82	0,023	2898,631	0,059	2898,593	158,26
83	0,023	2898,631	0,083	2898,569	160,19
84	0,023	2898,631	0,09	2898,562	162,12
85	0,023	2898,631	0,095	2898,557	164,05
86	0,023	2898,631	0,102	2898,550	165,98
87	0,023	2898,631	0,12	2898,532	167,91
88	0,023	2898,631	0,13	2898,522	169,84
89	0,023	2898,631	0,149	2898,503	171,77
90	0,021	2898,524	0,178	2898,346	173,70
91	0,021	2898,524	0,183	2898,341	175,63
92	0,021	2898,524	0,204	2898,320	177,56
93	0,021	2898,524	0,203	2898,321	179,49
94	0,021	2898,524	0,195	2898,329	181,42
95	0,021	2898,524	0,202	2898,322	183,35
96	0,021	2898,524	0,212	2898,312	185,28
97	0,021	2898,524	0,206	2898,318	187,21
98	0,698	2899,016	0,201	2898,323	189,14

99	0,698	2899,016	0,175	2898,349	191,07
100	0,698	2899,016	0,19	2898,334	193,00
101	0,698	2899,016	0,188	2898,336	194,93
102	0,698	2899,016	0,2	2898,324	196,86
103	0,698	2899,016	0,212	2898,312	198,79
104	0,698	2899,016	0,2	2898,324	200,72
105	0,698	2899,016	0,212	2898,312	202,65
106	0,698	2899,016	0,241	2898,283	204,58
107	0,698	2899,016	0,273	2898,251	206,51
108	0,698	2899,016	0,283	2898,241	208,44
109	0,002	2898,243	0,156	2898,087	210,37
110	0,002	2898,243	0,165	2898,078	212,30
111	0,002	2898,243	0,205	2898,038	214,23
112	0,0013	2898,040	0,09	2897,950	216,16
113	0,0013	2898,040	0,098	2897,942	218,09
114	0,0013	2898,040	0,102	2897,938	220,02
115	0,0013	2898,040	0,115	2897,925	221,95
116	0,0013	2898,040	0,119	2897,921	223,88
117	0,0013	2898,040	0,119	2897,921	225,81
118	0,002	2897,923	0,001	2897,922	227,74
119	0,002	2897,923	0,099	2897,824	229,67
120	0,002	2897,923	0,105	2897,818	231,60
121	0,002	2897,923	0,173	2897,750	233,53
122	0,002	2897,923	0,175	2897,748	235,46
123	0,002	2897,923	0,181	2897,742	237,39
124	0,002	2897,923	0,192	2897,731	239,32
125	0,002	2897,923	0,199	2897,724	241,25
126	0,002	2897,923	0,208	2897,715	243,18
127	0,002	2897,923	0,292	2897,631	245,11
128	0,001	2897,632	0,102	2897,530	247,04
129	0,001	2897,632	0,165	2897,467	248,97
130	0,001	2897,632	0,299	2897,333	250,90
131	0,001	2897,632	0,301	2897,331	252,83
132	0,001	2897,632	0,291	2897,341	254,76
133	0,001	2897,632	0,264	2897,368	256,69
134	0,001	2897,632	0,232	2897,400	258,62
135	0,001	2897,632	0,221	2897,411	260,55
136	0,001	2897,632	0,198	2897,434	262,48
137	0,986	2898,420	0,151	2897,481	264,41
138	0,986	2898,420	0,132	2897,500	266,34
139	0,986	2898,420	0,109	2897,523	268,27
140	0,986	2898,420	0,081	2897,551	270,20
141	0,986	2898,420	0,052	2897,580	272,13
142	0,986	2898,420	0,045	2897,587	274,06

143	0,986	2898,420	0,046	2897,586	275,99
144	0,986	2898,420	0,048	2897,584	277,92
145	0,002	2897,586	0,047	2897,539	279,85
146	0,002	2897,586	0,048	2897,538	281,78
147	0,002	2897,586	0,055	2897,531	283,71
148	0,002	2897,586	0,099	2897,487	285,64
149	0,002	2897,586	0,18	2897,406	287,57
150	0,602	2898,008	0,22	2897,366	289,50
151	0,56	2897,366	0,257	2897,329	291,43
152	0,56	2897,366	0,281	2897,305	293,36
153	0,56	2897,366	0,326	2897,260	295,29
154	0,56	2897,366	0,31	2897,276	297,22
155	0,56	2897,366	0,36	2897,226	299,15
156	0,56	2897,366	0,399	2897,187	301,08
157	0,003	2897,190	0,123	2897,067	303,01
158	0,003	2897,190	0,102	2897,088	304,94
159	0,003	2897,190	0,118	2897,072	306,87
160	0,003	2897,190	0,136	2897,054	308,80
161	0,003	2897,190	0,231	2896,959	310,73
162	0,005	2896,964	0,269	2896,695	312,66
163	0,003	2896,698	0,238	2896,726	314,59
164	0,003	2896,698	0,249	2896,715	316,52
165	0,003	2896,698	0,268	2896,696	318,45
166	0,003	2896,698	0,273	2896,691	320,38
167	0,003	2896,698	0,285	2896,679	322,31
168	0,002	2896,681	0,289	2896,392	324,24
169	0,002	2896,681	0,175	2896,418	326,17
170	0,002	2896,681	0,136	2896,545	328,10
171	0,05	2896,681	0,074	2896,607	330,03
172	0,05	2896,681	0,042	2896,639	331,96
173	0,05	2896,681	0,041	2896,640	333,89
174	0,05	2896,681	0,04	2896,641	335,82
175	0,05	2896,681	0,062	2896,619	337,75
176	0,05	2896,681	0,111	2896,570	339,68
177	0,462	2897,032	0,158	2896,523	341,61
178	0,462	2897,032	0,211	2896,470	343,54
179	0,462	2897,032	0,254	2896,427	345,47
180	0,462	2897,032	0,282	2896,399	347,40
181	0,042	2897,032	0,305	2896,376	349,33
182	0,042	2897,032	0,32	2896,361	351,26
183	0,042	2897,032	0,35	2896,331	353,19
184	0,456	2897,032	0,388	2896,293	355,12
185	0,456	2897,032	0,42	2896,261	357,05
186	0,456	2897,032	0,451	2896,230	358,98

187	0,456	2897,032	0,472	2896,209	360,91
188	0,0259	2896,234	0,508	2896,173	362,84
189	0,0259	2896,234	0,539	2896,142	364,77
190	0,0265	2896,234	0,578	2896,103	366,70
191	0,026	2896,234	0,625	2896,056	368,63
192	0,026	2896,234	0,641	2896,040	370,56
193	1,02	2896,234	0,655	2896,026	372,49
194	1,06	2896,699	0,665	2896,016	374,42
195	1,06	2896,699	0,679	2896,002	376,35
196	1,06	2896,699	0,701	2895,980	378,28
197	1,06	2896,699	0,811	2895,870	380,21
198	1,06	2896,699	0,858	2895,823	382,14
199	1,06	2896,699	0,905	2895,776	384,07
200	1,06	2896,699	0,9	2895,799	386,00

Nota. Se detalla los datos obtenidos por el nivel topográfico. Elaborado por: Los autores.

Al realizar los cálculos respectivos con los datos de campo, se observa que se han tomado correctamente mediante la comprobación de la diferencia de vistas y cotas, entonces podemos decir que nuestro IRI presente en el tramo evaluado con este método es de 3.23 m/km. A demás presenta una variación de pendiente de 2.8% y -2.9%.

Tabla 5.

IRI mediante nivel de ingeniero

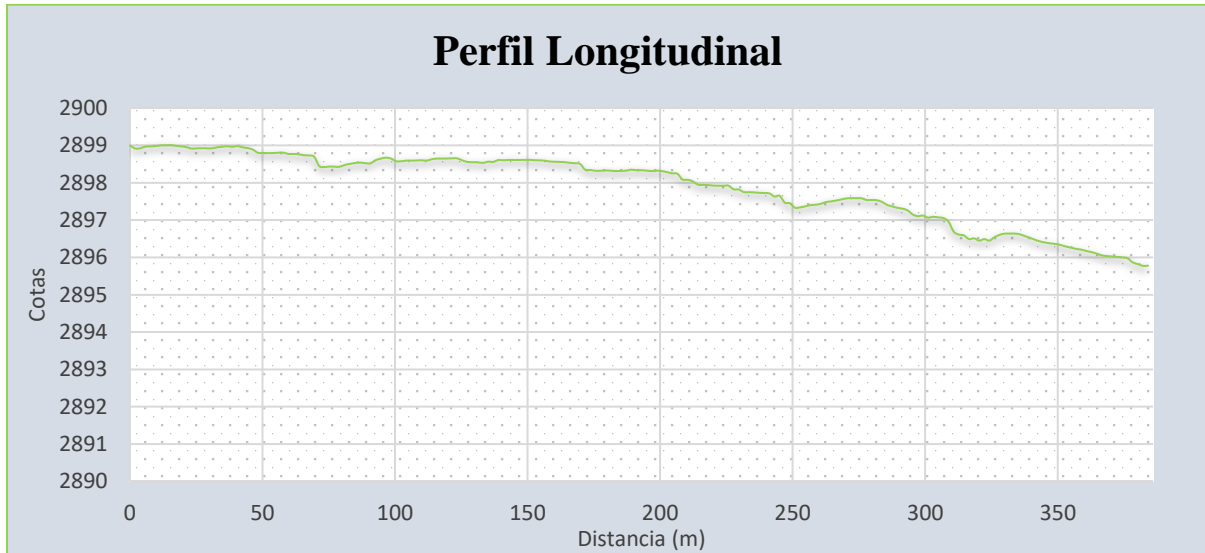
Parámetros	Valores	IRI m/km
ΣVista atrás	33,19	3,21
ΣVista adelante	36,40	
Cota Inicial	2899,008	3,21
Cota Final	2895,799	
Variación de S	2.8%	-2.9%

Nota. Con los datos en campo se encontró que el IRI presente en el tramo. Elaborado por: Los autores

Una vez realizado el cálculo de las cotas respectivas se procede a graficar el perfil longitudinal del tramo.

Figura 29.

Perfil longitudinal del tramo



Nota. Perfil longitudinal del tramo evaluado de la Av. Rumichaca Ñan. Elaborado por: Los autores

5.4 TPDA

Se realizó el conteo vehicular para determinar el TPDA tal que nos permite conocer el volumen de vehicular, de acuerdo con los datos obtenidos se puede evidenciar la clasificación de la avenida Rumichaca Ñan es de clase I con jerarquía de corredor arterial o conectora, por ende, la rugosidad presente en esta avenida debe ser mínima brindando a los usuarios comodidad y seguridad.

De acuerdo con (Orozco, y otros, 2004) mediante la relación de TPDA y IRI obtenido también se puede dar una clasificación de la rugosidad presente en la carretera. El tránsito diario promedio anual de este tramo se encuentra dentro del rango 5000-9999 con relación al IRI de 2 – 4, dando como resultado muy bueno.

Tabla 6.*TPDA Av. Rumichaca Ñan.*

TASAS AÑO	LIVIANO	BUSES	CAMIONES	TPDA ACTUAL			TPDA PROYECTADO			TOTAL TPDA
				LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	
2023	3,28	2,29	1,68	3877	172	134	3877	172	134	4183
2024	3,28	2,29	1,68	3877	172	134	4004	176	136	4316
2025	3,28	2,29	1,68	3877	172	134	4136	180	138	4454
2026	3,28	2,29	1,68	3877	172	134	4271	185	140	4596
2027	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	4330	187	142	4659
2028	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	4451	191	144	4786
2029	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	4576	195	146	4917
2030	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	4704	199	149	5052
2031	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	4836	203	151	5190
2032	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	4971	208	153	5332
2033	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	5110	212	156	5478
2034	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	5253	216	158	5627
2035	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	5400	221	160	5781
2036	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	5551	225	163	5940
2037	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	5707	230	165	6102
2038	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	5867	235	168	6269
2039	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	6031	240	170	6441
2040	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	6200	245	173	6618
2041	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	6373	250	176	6799
2042	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	6552	255	178	6985
2043	2,8	2,08	1,53	3877	172	134	6735	260	181	7177

Nota. Se presenta la tabla con el TPDA. Elaborado por: Los autores

5.5 ÍNDICE DE SERVICIO DE PAVIMENTO (PSI) EN FUNCIÓN DE DAÑOS.

Se calcula el PSI con el método de visualización de fallas existentes en el tramo para ello se utilizó la ecuación 3, que nos presenta (AASHTO, 1993).

Características	Valores
Variación de cotas inicial y final. (SV)	3,21
Profundidad media de ahuellamientos en pulgadas. (RD)	0,75
ΣÁrea de grieta longitudinal y transversal en ft ² (C)	0,91
Área bacheada en ft ² (P)	1,1

$$PSI = 5.03 - 1.9 \log (1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01 (C + P)^{0.5}$$

$$PSI = 5.03 - 1.9 \log (1 + 3,21) - 1.38 (0,75)^2 - 0.01 (0,91 + 1,1)^{0.5}$$

$$PSI = 3,05$$

5.6 ÍNDICE DE SERVICIO DE PAVIMENTO (PSI) EN FUNCIÓN AL IRI

Mediante la ecuación 4 se obtiene el PSI en función al IRI calculado mediante el Merlín.

$$PSI = 5e^{-\left(\frac{IRI}{5.5}\right)}$$

$$PSI = 5e^{-\left(\frac{3,13}{5.5}\right)}$$

$$PSI = 2,83$$

5.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En las dos metodologías aplicadas tanto por el nivel topográfico y mira como por el rugosímetro Merlín, se observa que el IRI tiene valores similares, presentando un error mínimo de 0,08 m/Km, por ende, podemos decir que el equipo implementado cumple con las normativas establecidas y que es apto para evaluaciones futuras.

A demás se compara el índice de servicio presente en el tramo en función de las fallas y en función del IRI se aprecia que el tramo evaluado se encuentra en estado bueno y regular, que de acuerdo con el TDPA podemos decir que el tramo evaluado se encuentra en buen estado.

Tabla 7.

Comparación de resultados

Comparación de resultados	
Método	IRI m/km
Nivel de ingeniero y mira	3,21
Rugosímetro Merlín	3,13
Índice de Servicio Presente	PSI
En función a daños	3,05
En función al IRI	2,83

Nota. Se evidencia los resultados obtenidos. Elaborado por: Los autores

CONCLUSIONES

Se observó que el IRI es independiente del equipo de medición que se aplique, para obtener el perfil longitudinal, este depende solamente de la calidad del perfil de la vía.

De ambas metodologías se observa que presenta valores similares del IRI, el cual nos ayudó a verificar que el equipo rugosímetro Merlín cumple con las normativas y estándares dadas por el TRLL. Donde el nivel de ingeniero presenta un IRI de 3.21 m/km y el rugosímetro Merlín de 3.13 m/km dándonos un error mínimo de 0.08 m/km, mismo que puede ser debido a varios factores ambientales u operativos.

Finalizando el análisis aplicado podemos decir que el tramo evaluado de la Avenida Rumichaca Ñan en relación del IRI con el TPDA y el PSI el tramo se encuentra en buen estado, requiere de una rehabilitación de rutina en las diferentes fallas presentes.

RECOMENDACIONES

Para realizar la evaluación del IRI con el Merlín se recomienda utilizar una llanta lisa en lo posible para reducir errores en la toma de lecturas.

Se debe tener en cuenta las fórmulas que se van a ocupar para realizar los cálculos del IRI, estas deben encontrarse vigentes en el país donde se realiza la medición.

Al realizar la calibración del equipo (Merlín), tener en cuenta que debe ser un lugar totalmente plano y nivelado.

Al realizar las lecturas con el nivel topográfico en campo, se debe tener en cuenta la toma de todos los datos necesarios para poder realizar los cálculos en oficina.

Al no tener experiencia con la operación del rugosímetro Merlín, para evitar errores en la evaluación es recomendable la toma de lecturas en los mismos puntos al menos dos veces.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Armijos, C. R. (2009). *Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja*. [Tesis de Pregrado, Universidad Particular de Loja].
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1484/3/Tesis.pdf>
- Arriaga, M., Garnica, P., & Rico, A. (1998). *Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México*. [Publicación Técnica No. 108]. Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt245.pdf>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. (3^oed.) Colombia: Pearson Educación.
- Corros, M., Urbáez, H., & Coredor, G. (2009). *Manual de evaluación de pavimentos*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Cundill. (1991). *The Merlin Low-Cost Road Roughness Measuring Machine*. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- Cundill. (1996). *The Merlin Road Roughness Machine: User Guide* . London: Transport Research Laboratory.
- De Solminihac, H., Echaveguren, T., & Chamorro, A. (2019). *Gestión de infraestructura vial* (3^o ed.). Chile: Alfaomega U.C.
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación: manual autoformativo interactivo*. Huancayo: Universidad Continental.
- Gamboa, K. (2009). *Cálculo del índice de condición aplicado en pavimento flexible de la Av. Las* [Tesis de pregrado Universidad de Piura, Perú].

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación*. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.

Medina, A., & De La Cruz, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. [Tesina de pregrado Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas, Perú]*.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/581505/Medina_PA.pdf?sequence=1

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Normas para estudios y diseño vial (Vol. 2). Obtenido de [MTOPI]:

https://www.obraspublicas.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI12_VOLUMEN_2A.pdf

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras (2 ed.)*. Bogotá, DC, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Montoya Goicochea, J. E. (01 de Septiembre de 2013). *Ánalisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*. Obtenido de la Universidad de Piura : <https://hdl.handle.net/11042/1967>

Onofre, J., Sánchez, J., & Viana, S. (2008). *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional de pavimento usando el perfilómetro ROMDAS Z-250*. Ciudad Universitaria: Universidad de El Salvador. Obtenido de Universidad de El Salvador .

Orozco, J., Téllez, R., Solorio, R., Pérez, A., Sánchez, M., & Torras, S. (27 de 07 de 2004). *SISTEMA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt245.pdf>

- Osuna, R. (2008). *Propuesta para implementación de un sistema de administración de pavimentos para la red vial de la ciudad de Mazatlán, Sin.* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2547/osuna_ruiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Recuenco, E. (2014). *Firmes y Pavimentos de carreteras y otras infraestructuras*. Madrid: Ibergarceta Publicaciones S.L.
- Rodríguez, E., Torres, L., & Villeda, M. (2019). *Desarrollo de la metodología para la medición de IRI (Internacional Roughness Index), mediante el uso de un rugosímetro basado en el Merlín (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), para evaluación de pavimentos flexibles y rígido*. Ciudad Universitaria: Universidad Del Salvador.
- Rodríguez, P. D. (1993). *Metología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos*. Lima: Camineros S.A.C.
- Sayers, M., Gillespie, T., & Queiroz, C. (1986). *The International Road Roughness Experiment, Technical Paper Number 45*. Washintong: Banco Mundial.

ANEXOS

Anexo 1: Elaboración y construcción del rugosímetro Merlín.

Anexo 1	
DESCRIPCIÓN	Imágenes de la construcción y elaboración del equipo rugosímetro Merlín.
Fotografías	
	
	

Anexo 2: Calibración del equipo y evaluación del tramo de la avenida Rumichaca Ñan.

Anexo 2	
DESCRIPCIÓN	Imágenes de la calibración del equipo rugosímetro Merlín y evaluación del tramo de la Avenida Rumichaca Ñan.
Fotografías	
	

Anexo 3: Inspección visual de fallas

Anexo 3	
DESCRIPCIÓN	Imágenes de algunas fallas importantes en el tramo mediante la inspección visual para el cálculo del PSI.
Fotografías	
	

Anexo 4: Nivelación de puntos tomados con el Merlín mediante el nivel topográfico y mira.

Anexo 4	
DESCRIPCIÓN	Imágenes de la Utilización y Toma de datos con el nivel de Ingeniero








Fotografías







Anexo 5: Formato utilizado en la evaluación de campo con el equipo Merlín.

Universidad Politécnica Salesiana Laboratorio de Pavimentos Rugosímetro Merlín										
Tramo: <u>386 metros</u> Operador: <u>David Estévez</u> Carril: <u>Derecho - Sur - Norte</u>					Ubicación: <u>Av. Rumichaca Ñān</u> N° de ensayo: <u># 1</u> Fecha: <u>04/06/2023</u> Hora: <u>9:00 am</u>					
Informe de resultados en campo										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	39	22	22	20	19	30	25	22	28	27
2	26	27	23	21	21	22	24	25	24	25
3	24	23	23	23	21	22	23	22	23	22
4	23	26	23	26	23	25	25	24	22	28
5	26	22	25	20	19	22	20	11	15	16
6	27	18	32	24	17	27	27	22	21	25
7	28	25	29	1	24	30	26	20	24	18
8	26	26	23	22	31	2	28	22	28	24
9	23	22	19	18	20	27	22	25	19	17
10	20	23	21	31	24	24	23	20	27	19
11	23	24	29	19	28	19	26	26	22	18
12	18	20	25	18	26	21	31	19	23	20
13	26	25	28	22	18	21	24	32	23	21
14	11	28	29	16	24	23	19	31	20	28
15	26	22	23	20	21	26	24	28	23	25
16	21	23	28	15	25	22	18	25	23	24
17	19	26	4	28	20	24	22	28	28	28
18	19	23	29	23	22	22	23	26	18	22
19	22	23	29	15	20	23	24	24	23	20
20	24	22	22	25	24	20	26	20	24	26
Descripción de tipo de pavimento: <u>Pavimento en caliente</u> <u>presenta varios daños.</u>										
Observaciones: <u>El punto 7-4 cae en un sumide-</u> <u>ro por lo que al realizar el cálculo se deberá</u> <u>descartar dicha lectura.</u>										

Anexo 6: Visualización de fallas

PATOLOGÍAS OBSERVADAS							Observaciones	Fotografía
Abscisa	Tramo	Carril	Tipo	Severidad	Daño			
					Largo (m)	Ancho (m)		
0+000	1	D	Bache	Alto	0,63	0,83	Bache con profundidad de 4.85 en mal estado en lateral de la vía	
0+020		D	Fisura Transversal	Media	1,3	1,6	Fisura Transversal de severidad media con abertura de 3 mm	
0+050		D	Fisura Transversal	Media	1,08	0,3	Fisura Transversal de severidad media con abertura de 2.5 mm	
0+065		D	Fisura Longitudinal	Media	4,3	1,2	Fisura Longitudinal de severidad media con abertura de 4 mm, penetra el agua	
0+096		D	Fisura Transversal	Media	2	0,4	Fisura Transversal de severidad media con abertura de 3 mm	
0+150		D	Fisura Longitudinal	Media	1,76	0,8	Fisura Longitudinal de severidad media con abertura de 2 mm, penetra el agua	
0+183		D	Fisura Transversal	Media	0,46	0,2	Fisura Transversal de severidad media con abertura de 2.5 mm	

0+210	D	Fisura Longitudinal	Media	1,2	0,2	Fisura Longitudinal de severidad media con abertura de 2 mm, penetra el agua	
0+265	D	Fisura Transversal	Media	3	0,4	Fisura Transversal de severidad media con abertura de 1.5 mm	
0+272	D	Fisura Longitudinal	Media	6	0,3	Fisura Longitudinal de severidad media con abertura de 1 mm, penetra el agua	
0+346	D	Fisura Transversal	Media	0,95	0,2	Fisura Transversal de severidad media con abertura de 1.65 mm	
0+368	D	Falla Ahuellamiento	Media	2,5	0,8	Es de nivel medio	