



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Jose Fernando Pinedo Salas
<https://orcid.org/0000-0003-1152-2851>

José Arturo Díaz Yauyo
<https://orcid.org/0000-0002-1471-5213>

ASESOR:

Ing. M.Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina
<https://orcid.org/0000-0003-2686-5486>

Tarapoto, Perú

2023



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional


Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Presentado por

Jose Fernando Pinedo Salas

José Arturo Díaz Yauyo

Sustentada y aprobada el 03 de mayo del 2023, ante el honorable jurado:



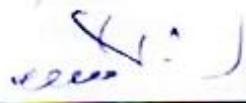
Presidente de Jurado
Ing. M. Sc. Vicente Juvenal Diaz Agip



Secretario de Jurado
Ing. Ernesto Eliseo Garcia Ramirez



Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. José Evergisto Alarcón Zamora



Asesor
Ing. M.Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Tarapoto, Perú

2023



Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo
Acta de Sustentación de Trabajo de Investigación
Para título de Ingeniero Civil N.º



Jurado reconocido con Resolución N° 194-2020-UNSM/FICA-CF-NLU
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela profesional de Ingeniería Civil

A las 16:05 h del día miércoles 03 de mayo 2023, inició al acto público de sustentación del trabajo de investigación MEDICIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN PAVIMENTOS DE LA CIUDAD DE TARAPOTO: MEDIANTE SMARTPHONE Y UN MÉTODO TRADICIONAL para optar el título de Ingeniero Civil, presentado por el Bach. Jose Fernando Pinedo Salas y el Bach. Jose Arturo Diaz Yauyo, con la asesoría del Ing. M. Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina.

Instalada la Mesa Directiva conformada por Ing., M. Sc, Vicente Juvenal Diaz Agip (presidente del jurado), Ing. M. Sc. Ernesto Eliseo García Ramírez (secretario), Ing. M. Sc. José Evergisto Alarcón Zamora, (vocal), y acompañados por Ing. M. Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina (asesor).

El presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Circular N° 015-2023-UNSM/FICA.

Seguidamente los autores expusieron el trabajo de investigación y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por los sustentantes y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG - CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue dieciséis (16); tal como se deja constar en la siguiente descripción:

De acuerdo con el Artículo 40° del RG - CTI, la nota obtenida es aprobatoria correspondiente a la calificación de dieciséis (16). Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo de treinta (30) días calendario.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° De.....

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y los autores del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 7:15 hora del mismo día miércoles 03 de mayo de 2023



Ing. Ernesto Eliseo García Ramírez
Secretario del Jurado.



Ing. M. Sc. Vicente Juvenal Díaz Agip
Presidente del Jurado



Ing. M. Sc. José Evergisto Alarcón Zamora
Vocal del Jurado



Ing. M. Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Jose Fernando Pinedo Salas, con DNI N° 74036426 y **José Arturo Díaz Yauyo**, con DNI N° 73230829, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, autores de la tesis titulada: **Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 03 de mayo del 2023.



.....
Jose Fernando Pinedo Salas
DNI N° 74036426



.....
José Arturo Díaz Yauyo
DNI N° 73230829

Declaración Jurada

Jose Fernando Pinedo Salas, con DNI N° 74036426, con domicilio legal en Jr. Dos de mayo Cdra 5 - Juanjui y **José Arturo Díaz Yauyo**, con DNI N° 73230829, domicilio legal en Jr. Pedro N° 237 Morales, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, **Declaramos Bajo Juramento** que, toda la documentación y todos los datos e información de la presente tesis, que acompaño es verás y auténtica.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 03 de mayo del 2023.



.....
Jose Fernando Pinedo Salas
DNI N° 74036426



.....
José Arturo Díaz Yauyo
DNI N° 73230829

Ficha de identificación

<p>Título de proyecto:</p> <p>Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional.</p>	<p>Área de investigación: Transportes</p> <p>Línea de investigación: Estrategias de tecnologías de información y comunicación (TIC) y sistemas constructivos convencionales y no convencionales para el desarrollo sostenible.</p> <p>Sublínea de investigación: Sistemas urbanísticos para el desarrollo sostenible.</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
--	--

<p>Autores:</p> <p>Jose Fernando Pinedo Salas José Arturo Díaz Yauyo</p>	<p>Faculta de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil</p> <p>https://orcid.org/0000-0003-1152-2851 https://orcid.org/0000-0002-1471-5213</p>
---	--

<p>Asesor:</p> <p>M.Sc. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela profesional de Ingeniería Civil y Arquitectura</p> <p>https://orcid.org/0000-0003-2686-5486</p>
--	--

Dedicatoria

Dedicado a mis padres y hermana, que siempre mostraron especial e incondicional apoyo, siendo mi principal fuente de fortaleza durante mi formación profesional y hasta el día de hoy en el camino para seguir cumpliendo mis objetivos y proyectos, siendo la realización de esta tesis uno de ellos.

Jose Fernando Pinedo Salas

De gran manera a mis padres por el gran incondicional apoyo emocional y económico brindado durante todos estos años de estudio, y a mis familiares por darme su aliento, gracias a ellos es que se logró este objetivo tan anhelado.

José Arturo Díaz Yauyo

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Martín, por su constante esfuerzo por mejorar su calidad de enseñanza impartida a través de sus docentes que día a día dedican con su esfuerzo, perseverancia y tiempo a formar a los futuros profesionales de la región y el país, compartiendo sus experiencia y conocimientos tan importantes en nuestro desarrollo como profesional.

A nuestro asesor en Ingeniero Máximo Alcibiades Vilca Cotrina, por sus conocimientos, concejos y experiencias compartidas en las aulas, para una correcta formación profesional.

A todos nuestros compañeros y colegas de la faculta de ingeniería civil, por su inagotable amistad tanto dentro como fuera de los ambientes de estudio.

Índice general

Ficha de identificación	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Índice general	9
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras	13
RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.1 Marco general del problema.....	17
1.2 Formulación del Problema.....	18
1.3 Hipótesis de investigación.....	19
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. Internacional	20
2.1.2. Nacional	20
2.1.2. Local	21
2.2. Fundamentos Teóricos.....	22
2.2.1. Definición de Rugosidad superficial del pavimento	22
2.2.2. Índice de Rugosidad internacional (IRI)	22
2.2.3. Escala y características del IRI	23
2.2.4. El Modelo de Cuarto de Carro – <i>Quarter Car Simulation</i> (QCS).	24
2.2.5. Factores que afectan la precisión del IRI	24
2.2.6. Norma Peruana respecto a la medición del IRI	25
2.2.7. Clasificación de IRI	26
2.2.8. Métodos utilizados para calcular el IRI	27
2.2.9. RoadBump	29
2.2.10. Levantamiento de perfil topográfico usando mira y nivel de ingeniero	29
2.2.11. ProVAL (View and Analyze Paviment Profiles)	30

2.2.12. Análisis de regresión y correlación.....	30
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Ámbito y condiciones de la investigación	31
3.1.1. Contexto de la investigación	31
3.1.2. Periodo de ejecución.....	32
3.1.3. Autorizaciones y permisos	32
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	32
3.1.4.1. Control Ambiental.....	32
3.1.4.2. Protocolos de bioseguridad.....	32
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	33
3.2 Sistema de variables	33
3.2.1. Variable independiente.....	33
3.2.2. Variable dependiente	33
3.2.3 Operacionalización de variables.....	34
3.3 Procedimientos de la investigación	35
3.3.1. Objetivo específico 1: Determinar el IRI en tres tramos del pavimento de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto por medio del método tradicional (mira y nivel).....	37
3.3.2. Objetivo específico 2: Determinar el IRI en los tres tramos por medio de la aplicación de smartphones RoadBump, teniendo en cuenta a los factores de influencia.....	43
3.3.3. Objetivo específico 3: Determinar la mejor condición para la obtención del IRI por medio de la aplicación para smartphone RoadBump.....	50
3.3.4. Objetivo específico 4: Comparar los IRI obtenidas por la mejor condición de recolección de datos con RoadBump y la obtenidas por la mira y el nivel.	51
3.3.5. Objetivo específico 5: Determinar el IRI del pavimento de la nueva vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto.....	52
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1. Resultado objetivo específico 1: Determinar el IRI en tres tramos del pavimento de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto por medio del método tradicional (mira y nivel).....	53
4.2. Resultado objetivo específico 2: Determinar el IRI en los tres tramos por medio de la aplicación de smartphones RoadBump, teniendo en cuenta a los factores de influencia.....	56

4.3. Resultado objetivo específico 3: Determinar la mejor condición para la obtención del IRI por medio de la aplicación para smartphone RoadBump. ..	61
4.4. Resultado objetivo específico 4: Comparar los IRI obtenidas por la mejor condición de recolección de datos con RoadBump y la obtenidas por la mira y el nivel.....	62
4.5. Resultado objetivo específico 5: Determinación del IRI en la vía de evitamiento de Tarapoto.....	64
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	72
PLANOS	91

Índice de tablas

Tabla 1. Infraestructura vial existente del Sistema Nacional de Carreteras, según superficie de rodadura	17
Tabla 2. Clasificación del IRI.	26
Tabla 3. Operacionalización de variables	34
Tabla 4. Factores de diseño	45
Tabla 5. Combinación de factores que influyen en el IRI obtenido con RoadBump....	46
Tabla 6. IRI de los perfiles calculados en ProVAL	55
Tabla 7. Valores de IRI respecto a factores en el automóvil.....	57
Tabla 8. Valores de IRI respecto a factores en la camioneta.....	58
Tabla 9. Comparación entre IRI de nivel y mira, e IRI de RoadBump.....	62
Tabla 10. Comparación entre IRI de nivel y mira, e IRI de RoadBump (corregido mediante regresión lineal).....	63
Tabla 11. Matriz de Consistencia	73
Tabla 12. Resultados obtenidos con RoadBump en los tres tramos estudiados	83
Tabla 13. Resultados obtenidos con RoadBump en la vía de evitamiento – Tarapoto.	85
Tabla 14. Resultados obtenidos con RoadBump en la vía de evitamiento – Tarapoto (corregido mediante regresión lineal)	88

Índice de figuras

Figura 1. Escala estándar que emplea el Banco Mundial para clasificar los caminos de acuerdo a su IRI. Fuente: Sayers y Karamihas, 1998.	23
Figura 2. Partes del modelo de cuarto de carro. Fuente: IMT, 1995.	24
Figura 3. Mira y Nivel Topográfico. Fuente: Geoequipos, 2014.	27
Figura 4. Perfilómetro Inercial tipo GMR Fuente: Dynatest, 2020.	28
Figura 5. Ubicación de la investigación, Perú. Fuente: Wikipedia.	31
Figura 6. Ubicación de la investigación, Departamento de San Martín. Fuente: Wikipedia.	31
Figura 7. Ubicación de la investigación, provincia de San Martín. Fuente: Wikipedia.	32
Figura 8. Vía de Evitamiento - Tarapoto, ubicación de la investigación. Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth.	32
Figura 9. Recolección de datos con mira y nivel (Tramo 1). Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 10. Recolección de datos con mira y nivel cada 250 mm, usando de referencia una cinta métrica (Tramo 2). Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 11. Datos de cotas huella de rodadura del Tramo 1 Carril Derecho en formato “.CSV”. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 12. Cargar un perfil en ProVAL. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 13. Parámetros para cargar un perfil en ProVAL. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 14. Perfil Longitudinal cargado en ProVAL. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 15. Cálculo del IRI en ProVAL. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 16. Automóvil usado en la investigación. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 17. Camioneta usada en la investigación. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 18. Smartphone con sujetador para recolección de datos con RoadBump. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 19. Configuración RoadBump. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 20. Captura de pantalla de resultados de IRI promedio RoadBump. Fuente: Elaboración Propia.	49
Figura 21. Captura de pantalla de <i>Step Graph del IRI</i> (RoadBump). Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 22. Captura de pantalla de resumen de resultados RoadBump. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura 23. Ejemplo de dispersión de datos. Fuente: Córdova, 2009.	51

Figura 24. Variación del IRI respecto a factores en el automóvil. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 25. Variación del IRI respecto a factores en el automóvil. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 26. Dispersión de IRI de nivel y mira, e IRI de RoadBump. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 27. IRI vía de evitamiento – Tarapoto, recolectado con RoadBump. Fuente: Elaboración propia.....	64
Figura 28. IRI vía de evitamiento – Tarapoto, recolectado con RoadBump (corregido mediante regresión lineal). Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 29. Recolección de datos con mira y nivel Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM). Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 30. Medición del Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) para levantamiento topográfico. Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 31. Recolección de datos con mira y nivel Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM). Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 32. Recolección de datos con RoadBump en camioneta Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM). Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 33. Recolección de datos con mira y nivel Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM). Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 34. Recolección de datos con RoadBump en automóvil Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM). Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 35. Perfil Longitudinal Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 36. Perfil Longitudinal Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) Carril Izquierdo. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 37. Perfil Longitudinal Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 38. Perfil Longitudinal Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM) Carril Izquierdo. Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 39. Perfil Longitudinal Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 40. Perfil Longitudinal Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM) Carril Izquierdo. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 41. Acercamiento al detalle de perfil longitudinal Tramo 1 (2+000 KM + 2+320 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia.....	82

RESUMEN

Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional

En el Perú existe una deficiencia en el control del estado de los pavimentos de las carreteras y ciudades, esto se debe principalmente, entre otros motivos, al alto coste económico que demanda un estudio para determinar el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), principal parámetro internacional para clasificar el estado de una vía. Ante esto surgen alternativas de bajo costo que ayudan a determinarlo, entre ellas el aplicativo para smartphones RoadBump. En la presente investigación se delimitó tres tramos de estudio a las cuales se realizó su levantamiento de perfil longitudinal haciendo uso del nivel de ingeniero y mira (Clase 1), apoyándonos de la aplicación para computador ProVAL para aplicar el filtro del cuatro de carro (Quarter car Simulation) se determinó su IRI, que al compararlo con los obtenidos por el aplicativo para smartphones RoadBump (clase 3) bajo distintas combinaciones de factores, se determinó que los mejores resultados se obtiene usando un automóvil a una velocidad de 35 km/h, con una presión de llantas a 27 PSI (-3 PSI por debajo de lo estandarizado), arrojando un error promedio de 10.17%. Además, se determinó, con estos datos, una fórmula de regresión lineal con la cual fue posible ajustar aún más los datos llegando a reducir el error promedio a un 0.45%. Demostrando que existe una correlación del 88.76% entre el IRI obtenido por el método tradicional (mira y nivel) y el IRI obtenido por un smartphone (RoadBump). Con estos resultados fue posible determinar el IRI promedio del pavimento existente en la vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto (12.9 km), determinando, bajo las óptimas condiciones de recolección de datos para el aplicativo RoadBump y haciendo uso de la fórmula de regresión lineal, un IRI de 2.922 m/km para el carril derecho y 2.923 m/km para el carril izquierdo, clasificando al pavimento según AASHTO como regular. Concluyendo así que RoadBump es una herramienta que muestra resultados (IRI) muy acertados (88.76% de similitud) bajo condiciones específicas y valiéndose del nivel de ingeniero y la mira como herramienta de calibración.

Palabras clave: IRI, Pavimentos, smartphone, RoadBump, Nivel - mira

ABSTRACT

Pavement roughness measurement and comparison in the city of Tarapoto: using Smartphone and a traditional method.

In Peru a deficiency exists in the control of the pavement condition of roads and cities, this is mainly due, among other reasons, to the high economic cost of a study to determine the IRI (International Roughness Index), the main international parameter to classify the condition of a road. In response to such situation, there are low-cost alternatives that help to determine it, among them the RoadBump smartphone application. In the present investigation, three study sections were delimited and their longitudinal profile survey was carried out using the engineer level and sight (Class 1). using the computer application ProVAL to apply the Quarter car filter (Quarter car Simulation). Using the computer application ProVAL to apply the quarter car filter (Quarter car Simulation), the IRI was determined, which was compared with those obtained by the smartphone application RoadBump (class 3) under different combinations of factors. It was determined that the best results were obtained using a car at a speed of 35 km/h, with a tire pressure of 27 PSI (-3 PSI below the standard), yielding an average error of 10.17%. In addition, a linear regression formula was determined with this data, with which further adjustment of the data was possible, reducing the average error to 0.45%. This showed that there is a correlation of 88.76% between the IRI obtained by the traditional method (sight and level) and the IRI obtained by a smartphone (RoadBump). According to these results, it was possible to determine the average IRI of the existing pavement on the Tarapoto bypass road (12.9 km), determining, under optimal data collection conditions for the RoadBump application and using the linear regression formula, an IRI of 2.922 m/km for the right lane and 2.923 m/km for the left lane, classifying the pavement as regular according to AASHTO. Thus concluding that RoadBump is a tool that shows very accurate results (IRI) (88.76% similarity) under specific conditions and using the engineer level and the sight as a calibration tool.

Keywords: IRI, Pavements, Smartphone, RoadBump, level - sight.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1 Marco general del problema

Actualmente el transporte es una de las partes más importantes dentro de los movimientos turísticos, industriales y comerciales. En el Perú, el sistema vial abarca Según el INEI (2012), un aproximado del 98% del sistema de transporte terrestre. Por esa razón es que la situación en el que se hallan las calzadas de rodadura de los pavimentos de las ciudades y autopistas influyen económica y socioculturalmente de manera significativa en nuestro país.

Se puede observar en la siguiente tabla según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2019), que aún se observa que hasta el año 2018 existe un gran porcentaje de carreteras sin asfaltar, especialmente en las carreteras vecinales, traduciéndose en un déficit en el desarrollo y crecimiento de la población, sobre todo al interior del país.

Tabla 1

Infraestructura vial existente del Sistema Nacional de Carreteras, según superficie de rodadura

**INFRAESTRUCTURA VIAL EXISTENTE DEL SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS, SEGÚN SUPERFICIE DE RODADURA:
1990-2018**

(Kilómetros)

AÑO	CLASIFICADOR DE RUTAS DEL SINAC	TOTAL	PAVIMENTADO				NO PAVIMENTADA			
			Nacional	Departamental	Vecinal	Sub-Total	Nacional	Departamental	Vecinal	Sub-Total
2018	D.S. N° 011-2016/MTC	168,473	21,434.0	3,623.1	1,858.9	26,916.0	5,675.6	23,882.5	111,999.0	141,557.1

Fuente: MTC (2019)

Dentro de las ciudades se puede llegar a las mismas observaciones, donde existen tanto calles pavimentadas como sin pavimentar, las cuales tienen funciones destinadas a actividades vinculadas al transporte de pasajeros ya sea en autos, buses, motocars o motos líneas. Estas actividades muchas veces son un medio de sustento económico para cientos de ciudadanos en nuestro país, y si estas calzadas de rodadura no exhiben un adecuado funcionamiento, el costo de mantener en actividad a los vehículos se verá incrementada, de la misma forma es el índice de accidentes relacionados con el tráfico vehicular se elevará y la comodidad del pasajero al transitar caerá.

Por dichas razones es que es de gran importancia el mantenimiento de las redes viales. El nivel de serviciabilidad, así como la calidad en un pavimento se sustenta, entre otras cuantificaciones, en la rugosidad de la superficie de rodadura por donde transitará el

vehículo, según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”, se mide con el índice de rugosidad internacional (IRI) que fue propuesta por el Banco Mundial durante la década de 1980 como una medida que busca estandarizar los proyectos viales en todo el mundo. Para ello es necesario cuantificar y determinar el estado de las calzadas partiendo de información obtenida in situ por medio de equipos específicos, para que con dichos datos se puedan crear proyectos de mejoramiento y conservación de carreteras.

Sin embargo, hacer uso de estos equipos representa un elevado costo por lo cual se opta por recopilar datos de campo de tramos representativos para evitarlo, o por medios más económicos e igual de precisos como es el caso de la app RoadBump. Esta aplicación permite medir la rugosidad por medio de las vibraciones que se llega a experimentar dentro de un vehículo al recorrer por una calzada, recopilando la información a través de los acelerómetros que incorpora actualmente los teléfonos inteligentes y procesando los resultados por medio de variables para simular el modelo de cuarto de carro propuesto por el Banco Mundial para determinar el IRI mediante ecuaciones lineales de correlación para obtener la rugosidad en unidades estándares para nuestro contexto metros por kilómetro.

Tarapoto es una ciudad ubicada en la parte Nororiental del Perú, en la actualidad se encuentra en una etapa de crecimiento. Es por tales motivos que las actividades como el comercio y el transporte de pasajeros y cargas son esenciales para la ciudad y la región.

De igual forma, en la ciudad, concurren un dominante número de mototaxis y otros vehículos ligeros comparando con los vehículos pesados, esto es debido a que es el medio de transporte más usado dentro de la región, como en sus alrededores. Sin embargo, por más que no existe un alto tránsito de vehículos pesados, la alta demanda de vehículos exige un buen estado de los pavimentos para una circulación vehicular segura y confortable, sin embargo, aún no existe un estudio en el cual se evalué el IRI dentro de las pistas de la ciudad.

Por ende, determinar un método para calcular el IRI de los pavimentos en la ciudad Tarapoto que sea accesible y económico marcaría un primer hito en la búsqueda de la mejora del servicio de tránsito.

1.2 Formulación del Problema

¿Los resultados de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de Tarapoto obtenidos al medir con un smartphone son comparables a los obtenidos por un método tradicional?

1.3 Hipótesis de investigación

Las medidas de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de Tarapoto obtenidas por medio de un smartphone son comparables en un 80% a las de un método tradicional.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Medir y comparar los resultados de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de Tarapoto obtenidos mediante un Smartphone y un método tradicional.

1.4.2 Objetivos específicos.

1. Determinar el IRI en tres tramos del pavimento de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto por medio del método tradicional (mira y nivel).
2. Determinar el IRI en los tres tramos por medio de la aplicación de smartphones RoadBump, teniendo en cuenta a los factores de influencia.
3. Determinar la mejor condición para la obtención del IRI por medio de la aplicación para smartphone RoadBump.
4. Comparar los IRI obtenidas por la mejor condición de recolección de datos con RoadBump y la obtenidas por la mira y el nivel.
5. Determinar el IRI del pavimento de la nueva vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

De acuerdo a la publicación científica de Kumar, Mukherjee, & Singh (2017), denominada "*Community Sensor Network for Monitoring Road Roughness Using Smartphones*", presentada en la prestigiosa revista llamada *American Society of Civil Engineers*, en el Volumen 31, N°3, en donde analizaron los valores del acelerómetro presentes en Smartphones para calcular el IRI, concluyeron que los teléfonos móviles ofertan una alternativa muy rentable y eficaz para realizar trabajos de monitoreos en redes de carreteras y autopistas en el país de India. Proponiéndolo como una alternativa ante la falta de acceso a instrumentos de alta precisión al interior del país (p. 58).

Otro estudio realizado por Hanson, et. al (2014), denominado "*Evaluation of low-cost consumer-level mobile phone technology for measuring international roughness index (IRI) values*", presentado en la revista científica *Canadian Journal of Civil Engineering* del país de Canadá, analizaron los efectos que tiene los parámetros de tipo de vehículo, velocidad, marca de smartphone y ubicación del smartphone en la recolección del IRI comparándolo con el IRI obtenido de un perfilómetro de clase I. Llegando a la conclusión de que los dispositivos Android proporcionó perfiles más cercanos al real en comparación con el iPhone, en cuanto a la ubicación del smartphone determinó que el parabrisas es la mejor ubicación para la recolección, también concluyeron que el menor valor de desviación de datos se obtuvo a una velocidad promedio de 50 km/h, mientras que la diferencia de datos recolectadas por automóvil y camión no fueron significativas (p. 819-827).

2.1.2. Nacional

De acuerdo a la tesis para optar por el título profesional de ingeniero civil elaborada por Vidal (2016), denominada "Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional", para la Pontificia Universidad Católica del Perú y llevada a cabo en la ciudad de Huanuco, llega a la conclusión: Durante la investigación se pudo demostrar que la

aplicación para teléfonos inteligentes denominada Roadroid logró proporcionar valores muy parecidos a los que se logra obtener haciendo uso de la mira y nivel, pero con el beneficio de ser una manera de ejecutar mucho menos complicada. De la misma manera se puede afirmar que el aplicativo Roadroid no tiende a aumentar en demasía el IRI producida de las variaciones de pendiente que existen al inicio de la toma de datos. De la misma manera, las horas de trabajo hombre y máquina empleadas con el aplicativo Roadroid son mínimas en comparación a las horas que se emplea usando la mira y el nivel, por lo que el rendimiento obtenido de este aplicativo para teléfonos inteligente es mejor (p. 83).

Conforme a la tesis para optar al título profesional de ingeniero civil elaborada por Almenara (2015), denominada "Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima", elaborada en la Pontificia Universidad Católica del Perú y llevada a cabo en la ciudad de Lima, llega a la conclusión: El aplicativo Roadroid representa una alternativa para la gestión vial en respecto a los costos que representa y los beneficios que otorga. Puede permitir llevar un control de la de rugosidad a lo largo del tiempo, traduciéndose en un dinamismo para la toma de decisiones para intervenir en una vía. Tras comparar los precios de un proyecto vigente para determinar el índice de rugosidad en un pavimento con un perfilómetro láser y los que conlleva el uso del aplicativo Roadroid, podemos llegar a un ahorro del 82.3% (p. 55)

Conforme a la tesis para optar el título profesional de ingeniería industrial y sistemas llevada a cabo por Moyano (2020), con la denominación "Procedimiento para determinar el Índice de Rugosidad Internacional con una aplicación móvil en Piura" presentada a la Universidad de Piura, llevada a cabo en la ciudad de Piura, concluyó: Que se encontró existencia una correlación lineal muy alta (98.7%) entre la diferencia del IRI obtenido por medio de mediciones de la mira y nivel y las obtenidas de la aplicación para smartphones RoadBump. Significando esto un indicador sobre la factibilidad del uso de esta aplicación para la obtención del IRI en un pavimento, proponiendo al automóvil como vehículo recomendable para la recolección sobre la camioneta (p. 69).

2.1.2. Local

Según la tesis para optar por el título profesional de ingeniería civil elaborada por Flores y Upiachihua (2021), denominada "Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del Km 00 + 000 hasta el Km 09 + 000 de capa asfáltica de la ruta EMP.PE-5N (DV. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín", presentada para la Universidad Nacional de San Martín,

ejecutada en la ciudad de Lamas, en la cual realizaron su investigación en una carretera asfaltada existente en la región y que representa el acceso más importante a una de la ciudades más turísticas de la zona, llegando a obtener los siguiente resultado trabajando con el rugosímetro MERLIN, el pavimento actualmente se encuentra en un nivel de servicio regular, ya que cuenta con un PSI de 2.42 en el carril derecho, mientras que en izquierdo 2.35, significando un IRI de 3.98 y 4.16 m/km respectivamente para cada carril, determinando que estos resultados se deben a la existencia de fallas superficiales y estructurales que afectan la funcionalidad de la capa de rodadura (p. 82).

2.2. Fundamentos Teóricos

2.2.1. Definición de Rugosidad superficial del pavimento

De acuerdo a la norma de ensayo ASTM E 867-06 *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*, la rugosidad se conceptualiza de la siguiente manera: “Es la desviación que sufre una superficie de rodadura en referencia a una Teórica superficie plana, con parámetros que logran afectar la dinámica del vehículo al transitar por esta, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje” (Badilla, 2009).

Al referirnos a rugosidad del pavimento, abarcamos a dos distintos tipos de evaluaciones: la evaluación de tipo estructural, que se relaciona con respecto a la facultad que posee el pavimento para lograr soportar la carga generada por los vehículos que los transita y la de tipo funcional, que se relaciona directamente con la sensación de confort o comodidad, al igual que seguridad, que experimenta el conductor o usuario al recorrer con su vehículo por dicho pavimento. Esta última evaluación, es de gran relevancia porque posee una relación directa con el coste de la función de operación de los vehículos, ya que, en concordancia de la dimensión de las anomalías superficiales presentes sobre él, pueden recaer en un desgaste en los vehículos, así como también generar un mayor consumo de combustible, sin mencionar que generan costos adicionales en actividades de mantenimiento y rehabilitación tempranas.

2.2.2. Índice de Rugosidad internacional (IRI)

Con la finalidad de que no existiera cambios o variaciones de país en país y la incertidumbre por una medida estándar para el cálculo de imperfecciones verticales en un pavimento, brota la demanda por determinar un índice que lograra valuar las circunstancias actuales y a futuro del estado superficial de un pavimento.

De estos motivos nació el IRI, que fue presentado y desarrollado por el Banco Mundial en el año 1982, cumpliendo la función de ser un parámetro de referencia para medir la calidad de rodadura de un pavimento (Sánchez & Solminihaç, 1989).

Su cálculo está basado en la acumulación de los desplazamientos verticales que sufre un usuario en su vehículo al transitar por un pavimento cuando este viaja a una velocidad constante de 80 km/h, calculando a partir del uso del *Quarter car Simulation* (Modelo de Cuarto de carro), dividido entre la distancia total del tramo del pavimento recorrido. Este índice se expresa en la siguiente unidades mm/m, m/km, in/mi, etc.

2.2.3. Escala y características del IRI

Poder calcular el IRI de un pavimento es necesario para llegar prever un posible deterioro temprano de este al inicio de su vida útil o mantener condiciones óptimas y confortable durante el mayor tiempo posible. Determinar este valor nos llevará a priorizar las reparaciones más urgentes y necesarias que tiene una vía y garantizar así una mejor inversión de tiempo y dinero del estado.

El proyecto financiado por el Banco Mundial, planteó una escala para la medida de los estados de vías y así como una velocidad prudente para transitarlas tal como se evidencia en la Figura 1.

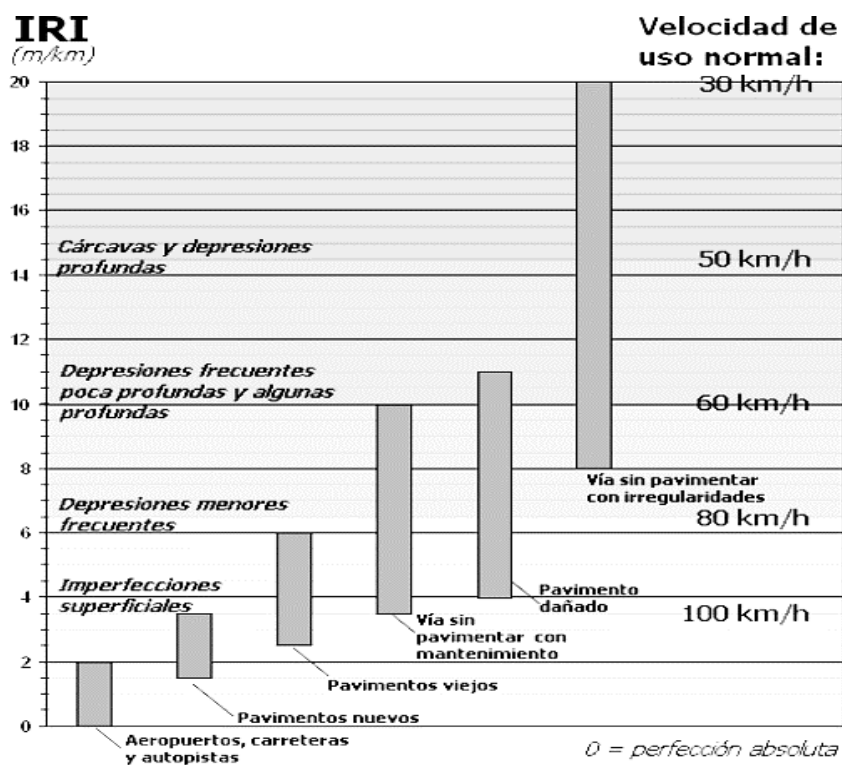


Figura 1. Escala estándar que emplea el Banco Mundial para clasificar los caminos de acuerdo a su IRI.

Fuente: Sayers y Karamihas, 1998.

De la Figura 1 se interpreta que las carreteras en mejor estado llegarán a tener un valor de IRI más bajo que aquellas que hayan sufrido algún deterioro o nunca hayan tenido algún tipo de mantenimiento o rehabilitación. De la misma forma podemos decir que, alcanzar valores de IRI igual a cero o que se acerquen mucho a este es sumamente difícil, casi imposible, desde el panorama constructivo, además el pavimento cuando es puesto en servicio para el tránsito, su regularidad comenzará a modificar de manera paulatina, en función del tráfico vehicular que circula sobre él.

2.2.4. El Modelo de Cuarto de Carro – *Quarter Car Simulation (QCS)*.

Para poder determinar el IRI se tuvo, en primer lugar, que establecer ecuaciones que tuvieron como base las deflexiones, sin depender de parámetros como el tiempo de recolección de muestra.

El modelo de cuarto de carro (*Quarter Car Simulation*) está basado en simular una rueda que es representada con un resorte vertical, la masa del eje que soporta dicha llanta, un resorte que representa la suspensión, un amortiguador y la masa de una cuarta parte del vehículo que soporta la suspensión de la rueda, tal como se aprecia en la Figura 2. “De la misma forma las deflexiones verticales acumuladas a lo largo del recorrido son divididas por la distancia longitudinal total del recorrido, o por una sección de esta, para de esta manera calcular la rugosidad en IRI” (Sayers y Karamihas, 1998).

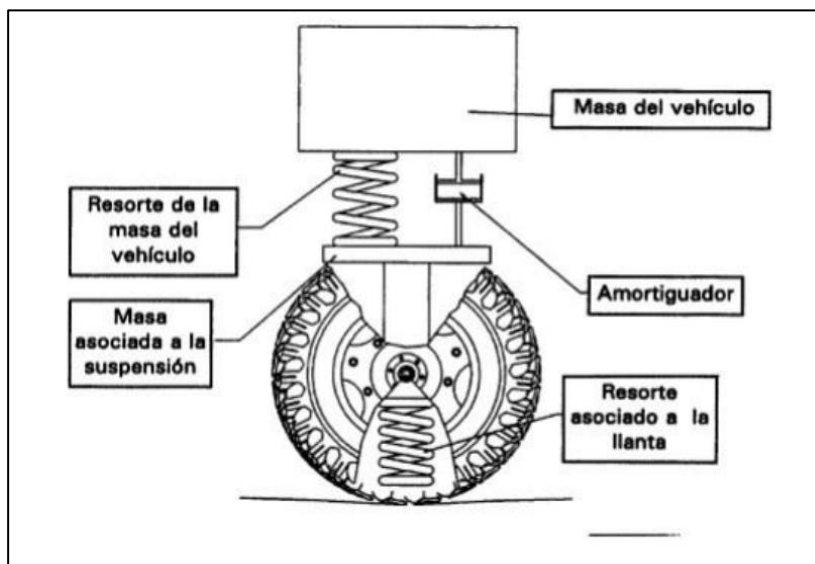


Figura 2. Partes del modelo de cuarto de carro.
Fuente: IMT, 1995.

2.2.5. Factores que afectan la precisión del IRI

Según Sayers, los orígenes de error pueden ser clasificadas en tres distintas categorías: Error por repetibilidad, error por calibración y errores por reproducibilidad (Sayers, Gillespie & Paterson, 1986).

Error por repetibilidad

Este tipo de error tiene una relación directa con la dispersión propia de los resultados que se encuentran en las mismas circunstancias de medición (Portuondo & Mores, 2010).

Durante la toma de muestra para el cálculo del IRI, al recolectar repetidamente con un equipo, no se llegará a obtener una completa exactitud entre estas, debido a que siempre existirán variaciones que son ocasionados por factores aleatorios o que son muy difíciles de controlar (Sayers, Gillespie & Paterson, 1986).

En términos generales, el error por repetibilidad tiene una relación directa con la longitud total de la evaluación. Por lo tanto, el error esperado puede ser disminuido aumentando la longitud del tramo de prueba o en caso contrario realizar mediciones repetidas en el mismo sitio de prueba.

Error por calibración

Este se define como el error propio que poseen los instrumentos de medición, produciendo que las mediciones de un instrumento difieran con otro, o que el mismo instrumento difiera en distintos momentos. Este error es corregible con la calibración, logrando cancelar las diferencias sistemáticas de la toma de medidas.

Error por reproducibilidad

Este error se concreta por la correspondencia entre resultados de mediciones en distintas condiciones o instrumentos (Portuondo & Moret, 2010).

Aunque los errores por repetibilidad logran ser controlados por medio de pruebas reiteradas y promedios, y los errores por calibración llegan a estabilizarse mediante métodos de calibración válidos, persistentemente se tendrán errores de reproducibilidad cuando el instrumento de medición difiere del instrumento de referencia.

2.2.6. Norma Peruana respecto a la medición del IRI

De acuerdo al Manual de Carreteras, se tienen que seguir las subsiguientes especificaciones acerca de la calidad de trabajo concluido, en cuanto respecta a valores de regularidad superficial (IRI) en conformidad al tipo de pavimento de la obra (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

Tratamientos superficiales

Para tratamiento superficiales se tendrá un valor de IRI que se considere admisible cuando el promedio por km o fracción da como resultado inferior o igual a 2,5 m/km, a menos que alguna especificación particular establezca un valor distinto.

Pavimento de concreto asfáltico

Para pavimentos de concreto asfáltico se tendrá las siguientes delimitaciones en consideración para la evaluación de la regularidad del pavimento entregado: las mediciones para el cálculo tendrán que ser ejecutadas en cada uno de los carriles del pavimento terminado seccionados en 5 kilómetros, haciendo un registro de la medición cada 100 metros.

Conjuntamente, en los tramos o secciones donde existan singularidades (intersecciones, puentes o pontones, pozos de inspección, etc.), no existirá exigencia para cumplir los valores de IRI, ya que estas singularidades producen alteraciones en el perfil longitudinal y no se consideran como deficiencias constructivas.

Pavimento de concreto hidráulico

Para los pavimentos de concreto hidráulico la rugosidad calculada en unidades IRI no deberá superar los 3,0 m/km. El trabajo de medición sobre la rodadura concluida se tendrá que realizar en todo lo largo de la vía y deberá considerar ambos carriles por tramos o secciones pre establecidos o aprobados por el consultor o supervisor, registrando estas medidas (IRI) en secciones de 100 metros.

2.2.7. Clasificación de IRI

Según la AASHTO el valor IRI se puede calificar como Muy bueno, Bueno, Regular, malo y muy malo, teniendo en cuenta su valor final, como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 2
Clasificación del IRI.

Pavimentos Flexibles (IRI – m/km)	Pavimentos Rígidos (IRI – m/km)	Clasificación
0 – 1.0	0 – 1.4	Muy Buena
1.0 – 1.9	1.4 – 2.3	Buena
1.9 – 3.6	2.3 – 3.6	Regular
3.6 – 6.4	3.6 – 6	Malo
>6.4	>6.0	Muy Malo

Fuente: Barrantes Jiménez, 2011.

2.2.8. Métodos utilizados para calcular el IRI

En la actualidad los métodos para calcular el IRI se dividen en cuatro clasificaciones. Esta clasificación, está en función a cómo se ven afectadas conforme a sus requisitos de calibración del instrumento, así como a su precisión asociada con el uso que le da el operador (Sayers, Gillespie & Paterson, 1986).

Clase 1. Perfiles de alta precisión

Esta primera clase de método para el cálculo del IRI se presenta como el modo más preciso, ya que este método requiere hacer un levantamiento del perfil longitudinal de un pavimento.

En la actualidad, la mira y nivel (Figura 3), son considerados como el equipo referencial por excelencia, pero también en esta clasificación se consideran otros métodos topográficos mecánicos equivalentes a éste, tal es el caso del equipo MERLIN. Estos métodos son adecuados para determinar la validación y calibración de otros métodos o instrumentos. Sin embargo, dado a su bajo rendimiento, no se recomienda como instrumentos adecuados para grandes longitudes de medición.



Figura 3. Mira y Nivel Topográfico.
Fuente: Geoequipos, 2014.

Características de esta clase según Sayers, Gillespie, & Paterson, 1986:

- El error por reproductibilidad de las medidas de esta clasificación no se puede ser mejorada.
- El error por medición es intrascendente para tramos de 320 m de longitud.
- El error por repetibilidad, con estos instrumentos, es alrededor de 0.3 m/km IRI en vías pavimentadas.

Clase 2. Otros métodos perfilométricos

De acuerdo al Banco Mundial esta clasificación agrupa otros métodos que para el cálculo del IRI, tienen como base funcional el perfil longitudinal de la rodadura. El hardware usado por la mayoría de instrumentos llega a sus resultados mediante un proceso de calibración, proporcionando datos muy precisos, pero no aún son superados por los instrumentos de clase 1. El valor del IRI obtenido mediante los instrumentos, está limitado por errores aleatorios que pueden generarse por las diferentes condiciones que afectan a la toma de datos. En esta categoría entran a figurar los perfilómetros de alta velocidad, y métodos estáticos con un intervalo de recolección de muestras mayor (superior a los 250 mm).

Cabe añadir que los perfilómetros de alta velocidad, poseen una significativa desventaja de significar ser los instrumentos de más alto costo y de uso complejo para llegar a determinar el IRI en una vía. Sin embargo, su gran ventaja se sustenta en su capacidad de obtener mediciones de alta fidelidad rápidamente.



Figura 4. Perfilómetro Inercial tipo GMR

Fuente: Dynatest, 2020.

Clase 3. Estimaciones del IRI partiendo de ecuaciones correlaciones

A esta clasificación entran a figurar aquellos instrumentos de medición de rugosidad que tienen la capacidad de calcular una rugosidad numérica dentro de un rango razonable correlacionando con un IRI obtenido por un instrumento de clase 1 o clase 2. Las medidas que se obtienen por estos instrumentos son usadas para estimar el valor del IRI mediante ecuaciones de regresión realizando un experimento de correlación con los datos obtenidos por algún otro instrumento de las anteriores clasificaciones. Esta clasificación también recibe la denominación de “tipo respuesta”, debido a la dependencia de las propiedades dinámicas propias de cada vehículo.

Clase 4. Valoraciones subjetivas y medidas no calibradas

En esta clasificación se incluye medidas de rugosidad que no poseen algún vínculo verificable a la escala de medida IRI, estas medidas se utilizan usualmente para obtener datos referenciales que permitirán obtener un estimado del nivel de la rugosidad del pavimento. Acá entra también a tallar aquellos instrumentos de tipo respuesta (clase 3) que son usados sin calibración, conversión o comparados para su regresión con otro instrumento de las anteriores clasificaciones (Sánchez & De Solminihaç, 1989).

2.2.9. RoadBump

David Grimmer, uno de los principales desarrolladores junto al equipo *National Center for Asphalt Technology* de la Universidad Auburn y el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Arkansas crearon el aplicativo para smartphones denominada RoadBump, destinada al cálculo de IRI en pavimentos, sostuvo para la página web Roads&Bridges en el 2015, presentándose como una alternativa económica para la evaluación de los pavimentos.

La aplicación RoadBump entra categoría de Clase 3, según la clasificación Banco Mundial, por lo cual se le considera una herramienta útil para el cálculo del IRI en pavimentos.

Para determinar la rugosidad de un pavimento RoadBump hace uso del GPS y el acelerómetro que viene incorporado en los dispositivos Android (mayormente de gama alta), para la recolección de datos que luego son procesados por ecuaciones diferenciales que recrea el modelo del cuarto de carro. El aplicativo además produce gráficos de IRI estimados en las longitudes de segmento que se especifique (Grimmer, 2015).

Durante la investigación se hizo la comparativa y calibración con una camioneta dotada de un equipo ARAN (*Automatic Road Analyzer*), donde los resultados del aplicativo no superan el 7.3% de variación con respecto a este, así como también el error promedio fue de 1.2% (Grimmer 2015),

2.2.10. Levantamiento de perfil topográfico usando mira y nivel de ingeniero

Según Franquet & Querol (2010), conceptualizan al levantamiento topográfico como el conjunto de operaciones realizadas sobre un determinado terreno, utilizando los instrumentos apropiados para con estos elaborar una fidedigna representación gráfica del terreno.

2.2.11. ProVAL (View and Analyze Paviment Profiles)

El software de ingeniería denominado ProVAL es una importante herramienta que permite visualizar y analizar perfiles de rodaduras de pavimentos longitudinales de diferentes maneras. De igual manera es posible la edición de la información de perfil y manipularlos por medio de sus diferentes herramientas. Este programa cuenta con la aprobación de la Administración Federal de Carreteras por sus siglas en inglés FHWA (*Federal Highway Administration*), el programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (LTPP) así como también del departamento de transportes de EE.UU., posicionándose como el software de más uso debido a su confianza en los resultados, además de ser de acceso gratuito.

Para esta investigación este programa nos permitirá evaluar el perfil longitudinal de la carpeta de rodadura, y al mismo tiempo aplicar la simulación de cuarto de carro (*Quarter Car Simulation*), para determinar el IRI, en nuestros tramos de estudio.

2.2.12. Análisis de regresión y correlación

Como parte del análisis de dos variables (X ; Y), podemos encontrar el análisis de existencia de relaciones entre ellas, que en conjunto forman parte de una variable bidimensional (Gorgas, Cardiel & Zamorano, 2011).

El análisis de regresión, representa un modelo el cual radica en calcular una relación funcional entre la variable Y con respecto a una variable independiente que tiene el propósito de calcular los valores de Y (Córdova, 2006).

Este método consiste en calcular la variación simultánea de ambas variables y su nivel de relación, la forma de calcular el nivel de relación recibe el nombre de coeficiente de correlación y el valor numérico del cuadrado del coeficiente de correlación se llama coeficiente de determinación (Córdova, 2006)

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

a) Ubicación Política-Geográfica de la investigación

La nueva vía de circunvalación de ciudad de Tarapoto, se encuentra ubicado en la provincia de San Martín, departamento de San Martín, Funcionando como principal desvío vehicular para el tránsito por el corredor vial Interoceánico Norte conocido coloquialmente como Carretera Fernando Belaunde Terry.

La ciudad de Tarapoto se encuentra en un promedio de 353 m.s.n.m., acentuada según el geógrafo peruano Javier Pulgar en el límite de la región natural zona de Selva Alta con selva Baja. Por esa razón es que a lo largo y ancho de la ciudad se observa una presencia de relieves accidentados, que dan vida a una topografía irregular sobre todo en su casco urbano, sin embargo, esta accidentada topografía se aminora al sur de la ciudad precisamente donde se focaliza nuestra investigación.



Figura 6. Ubicación de la investigación, Perú.

Fuente: Wikipedia.

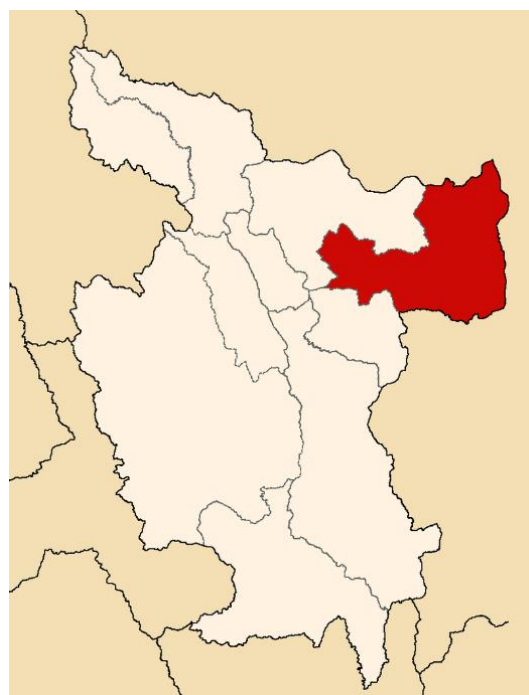


Figura 5. Ubicación de la investigación, Departamento de San Martín.

Fuente: Wikipedia.



Figura 7. Ubicación de la investigación, provincia de San Martín.

Fuente: Wikipedia.

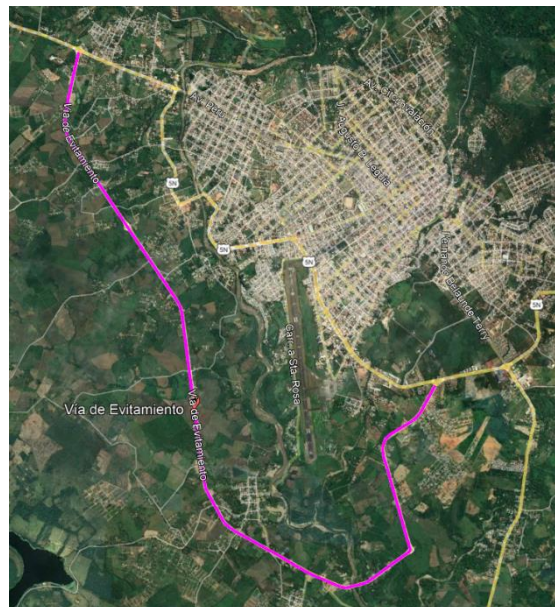


Figura 8. Vía de Evitamiento - Tarapoto, ubicación de la investigación.

Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth.

3.1.2. Periodo de ejecución

El periodo de ejecución del presente proyecto de Tesis tiene una duración de tres (03) meses, comprendido entre los meses de noviembre del 2022 hasta enero del 2023.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

No corresponde para este proyecto.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.

3.1.4.1. Control Ambiental

Durante el desarrollo de las actividades de campo que contemplo el presente trabajo de investigación, los autores declaran haber respetado y cumplido con el plan de manejo ambiental de la provincia de San Martín, respetando las acciones encaminadas a evitar impactos, efectos y/o riesgos ambientales, tal vino a ser el caso de la recolección de residuos inorgánicos y/o orgánicos producto de los ensayos, así como la clasificación de las mismas para su posible reciclaje.

3.1.4.2. Protocolos de bioseguridad

En el proceso de ejecución del presente trabajo de investigación se respetaron los principios, las normas, técnicas y buenas prácticas de bioseguridad, las cuales

buscaron proteger a los individuos, la comunidad y al medio ambiente involucrados durante dicho periodo de potenciales agentes biológicos causantes de enfermedades como el COVID-19.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Con respecto al ámbito ético, dentro de la ejecución de esta investigación, los involucrados somos conscientes que ha sido ejecutada de una manera verídica y responsable en su totalidad. Sin borrar, omitir o cambiar los datos obtenidos en búsqueda de concordar o tergiversar los resultados, ya que estos actos desacreditarían la investigación.

En lo que respecta a la redacción de este trabajo de investigación, se buscó la manera de erradicar todo acto que sea considerado plagio, para así respetar los principios de la pertenencia intelectual de los autores originales de las ideas en las que se soporta esta investigación, como se puede evidenciar a lo largo de la redacción de este texto.

Lo que concierne a la investigación, estudios preambulares y la recolección de datos en campo podemos afirmar que estos elementos fueron nuestras bases esenciales para poder establecer los resultados y las conclusiones, por ende, se entiende que los datos mostrados son de completa originalidad, por ellos están sujetos a los autores.

Otorgando confidencialidad de nuestro trabajo de investigación, podemos a disposición de quien se encuentre interesado para su utilidad o información de manera abierta, exacta, transparente y completa.

3.2 Sistema de variables

3.2.1. Variable independiente

- IRI obtenido por de las mediciones realizadas por el método tradicional (mira y nivel).
- IRI obtenido por de las mediciones realizadas por medio de la aplicación para smartphones RoadBump.

3.2.2. Variable dependiente

Comparación del IRI obtenido por medio de un smartphone y método tradicional.

3.2.3 Operacionalización de variables

Tabla 3
Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Dependiente	Comparación del IRI obtenido por medio de un smartphone y método tradicional.	Para Sartori (1984) la comparación tiene como objetivo la búsqueda de similitudes y disimilitudes, entre dos o más variables que pertenecen a un mismo género.	IRI	%
Independiente	IRI obtenido por de las mediciones realizadas por el método tradicional.	El IRI Según la norma de ensayo ASTM E 867-06 <i>Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems</i> , lo define como la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje	IRI	m/km
	IRI obtenido por de las mediciones realizadas por medio de la aplicación para <i>smartphones</i> RoadBump.	El IRI Según la norma de ensayo ASTM E 867-06 <i>Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems</i> , lo define como la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje	IRI	m/km

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Procedimientos de la investigación

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

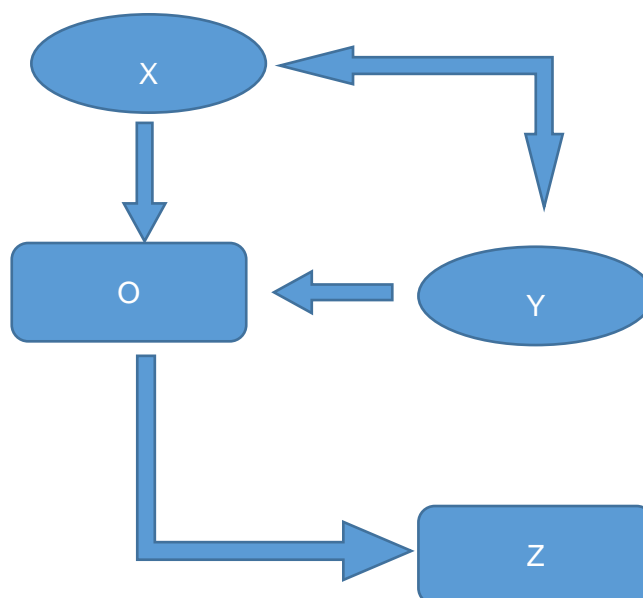
La investigación realizada es de tipo Aplicativa

Nivel de investigación

Descriptiva

Diseño de investigación

La presente investigación se realizó tanto en gabinete como en campo. El diseño de la investigación fue el siguiente.



Donde:

X= IRI obtenido por de las mediciones realizadas por el método tradicional.

Y= IRI obtenido por de las mediciones realizadas por medio de la aplicación para smartphones RoadBump.

O= Comparación del IRI obtenido por medio de un smartphone y método tradicional.

Z= Estado actual de los pavimentos de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto.

Población y muestra

Población

Pavimentos de la ciudad de Tarapoto de la región San Martín- Perú

Muestra

03 tramos de 320 metros de longitud ubicados en la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto de la región San Martín- Perú.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación uso fuentes bibliográficas de la especialidad de ingeniería revistas especializadas particulares en el tema, proyectos de investigación relacionados con el estudio de la rugosidad de pavimentos y las nuevas tecnologías para la determinación de este (uso de aplicativos para smartphone).

Fuente técnicas

- Revisión bibliográfica de antecedentes y teoría.
- Levantamiento de perfil topográfico.
- Aplicativo para computador ProVAL.
- Calibración de instrumentos (aplicativo para smartphone "RoadBump" con respecto a la mira y nivel).

Instrumento de selección de datos

- Recolección de datos topográficos.
- Procesamiento de datos por medio del aplicativo para computadoras ProVAL.
- Recolección de datos por medio del aplicativo para smartphone "RoadBump".
- Análisis y procesamiento de resultados.

Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los procesamientos y presentación de datos se hicieron de acuerdo al Manual de Carreteras, elaborado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en el año 2013, así como también haciendo uso del manual de usuario del aplicativo para computador Proval y el aplicativo para smartphone RoadBump, donde establece ciertos criterios para la óptima recolección y procesamiento de datos.

Del mismo modo se utilizaron cálculos estadísticos adecuados con la finalidad del procesamiento y calibración de los resultados obtenidos por medio del método tradicional (mira y nivel) y el aplicativo para smartphone RoadBump.

3.3.1. Objetivo específico 1: Determinar el IRI en tres tramos del pavimento de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto por medio del método tradicional (mira y nivel).

Determinación de los tramos de estudio para investigación

Para determinar los tramos de control se tuvo en cuenta las siguientes condiciones.

- Longitud: la longitud requerida para los tramos a evaluar será como mínimo 320 metros, ya que según Sayers W., Gillespie D., & Paterson O., 1986, el error por medición es intrascendente para esa longitud.
- Volumen de circulación de vehículos: La cantidad de vehículos que circulan por los tramos de estudio deberá ser la mínima posible, para facilitar la ejecución de la recolección de muestras a una velocidad constante y manteniendo una misma huella de rodadura.
- Singularidades: Las singularidades propias de una vía (Rompemuelles, badenes, puentes, etc.) deberán ser de preferencia nulas, ya que estas afectarán en la obtención del IRI, y con ella el control.
- Sentido de circulación: será necesario que los tramos de evaluación cuenten con dos sentidos de recorrido, con el fin de tener mejores resultados.

Después de considerar estos criterios, se seleccionó tres tramos dentro de la vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto (Tramo 1 2+00 km – 2+320 km, Tramo 2 5+550 km – 5+820 km y Tramo 3 9+500 – 9+820 km), dado que cumple con las condiciones especificadas con anterioridad, ubicadas estratégicamente en tres zonas a lo largo de la vía. También se consideró a la totalidad de la Vía de Evitamiento (12.9 km), como un tramo de estudio para la determinación de su IRI.

Recopilación de datos con Mira y Nivel de Ingeniero

Para el caso de esta investigación se realizará un levantamiento topográfico de la longitud de los 03 (tres) tramos de estudio, cada uno de 320 metros, con el fin de determinar el índice de Rugosidad Internacional (IRI) ya que la mira y el nivel está en la Clase 1 en los métodos para su obtención, por lo que servirá de referencia para los cálculos obtenidos por el aplicativo para smartphones RoadBump.

Para dar inicio a la recolección de datos se necesita contar con las siguiente herramientas y materiales, Mira y Nivel de Ingeniero, trípode, cinta métrica y conos de seguridad, los equipos de medición deben estar correctamente calibrados y conservados a fin de obtener datos precisos.

Luego de tener las herramientas necesarias y ubicar los tramos de evaluación se procederá con la recolección de datos:

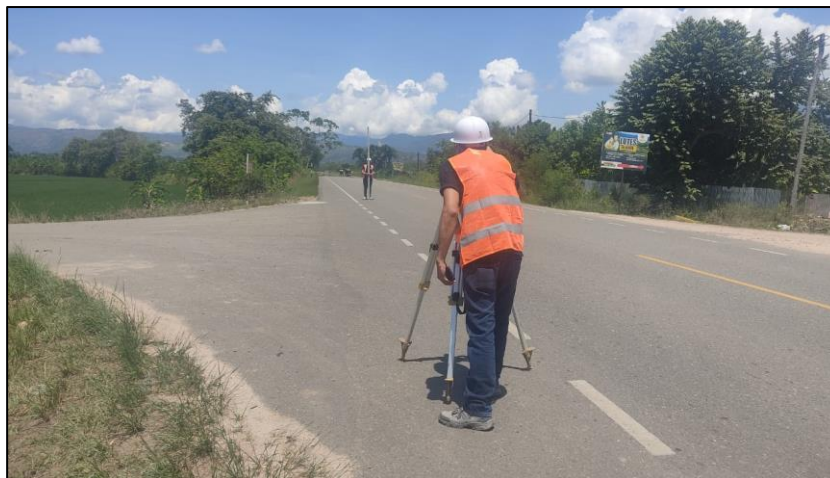


Figura 9. Recolección de datos con mira y nivel (Tramo 1).

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se instalará el nivel de ingeniero con la ayuda del trípode en un lugar apto para la mayor recolección y al mismo tiempo que sea fácil de ubicar para el cambio de estación, asegurando firmemente los puntos de fijación del instrumento para que no se mueva y altere la recolección de datos, verificando que esté nivelado horizontalmente y cerciorando que el instrumento quede a una altura cómoda para el operador.

Para tener una misma referencia que la aplicación, con la ayuda del GPS del smartphone se obtendrá la altura del primer punto, luego se procederá a la toma de muestras ayudándonos de la cinta métrica cada 250 mm, como indica el Banco Mundial para realizar la recolección de datos para determinar el IRI.



Figura 10. Recolección de datos con mira y nivel cada 250 mm, usando de referencia una cinta métrica (Tramo 2).

Fuente: Elaboración propia.

Este proceso se llevará a cabo a lo largo de los 320 metros a ambos carriles que contempla cada uno de los tramos, como lo indica el Banco Mundial debido a que en esta distancia el error por medición es intrascendente. Haciendo una recopilación de 1,281 medidas por carril 2,562 por tramo, que suman un total de 7,686 datos por los tres tramos evaluados. Una vez obtenido todos los datos se procederá con el cálculo de las cotas haciendo uso de las fórmulas.

$$Cota = cota anterior + (Va - Vi)$$

$$Cota = cota anterior + (Vi - Vd)$$

Donde:

VA = Vista atras

Vd = Vista adelante

Vi = Vista intermedia

Una vez obtenida las cotas de los tramos de los perfiles se procederá con el cálculo del Error de cierre (En) al igual que la Tolerancia de este error (Tn), constatando finalmente que el $En < Tn$. Si esta relación se cumple entonces podemos afirmar que la recolección de datos fue correcta.

$$En = (\sum Va - \sum Vd) - (Qf - Qi)$$

$$Tn = m\sqrt{k}$$

$$En < Tn$$

Donde:

En = error de cierre

Qf = cota final

Qi = cota inicial

Tn = tolerancia de error de cierre (mm)

m = Valor dependiente de instrumentos, para este caso 15 mm

k = Longitud total de la nivelación en km

Si no se cumple con la condición $En < Tn$, se procede a realizar la compensación de cotas usando el método proporcional y el método de cambios de estación, así finalmente se podrá obtener las cotas corregidas y válidas para el cálculo del IRI.

$$c = \frac{Dce}{Dac} x En$$

$$C = -\frac{En}{N}$$

Donde:

c = *Compensación – método Proporcional*

D_{ce} = *Distancia de cambio de estación*

D_{ac} = *Distancia acumulada total*

C = *Compensación por cambio de estación*

N = *número de cambio de estación.*

Una vez se tiene los datos corregidos se procederá a guardar las cotas de cada sentido por separados (carril derecho y carril izquierdo), en un formato de extensión “.CSV”, que es el formato necesario para la lectura del perfil en el programa ProVAL.

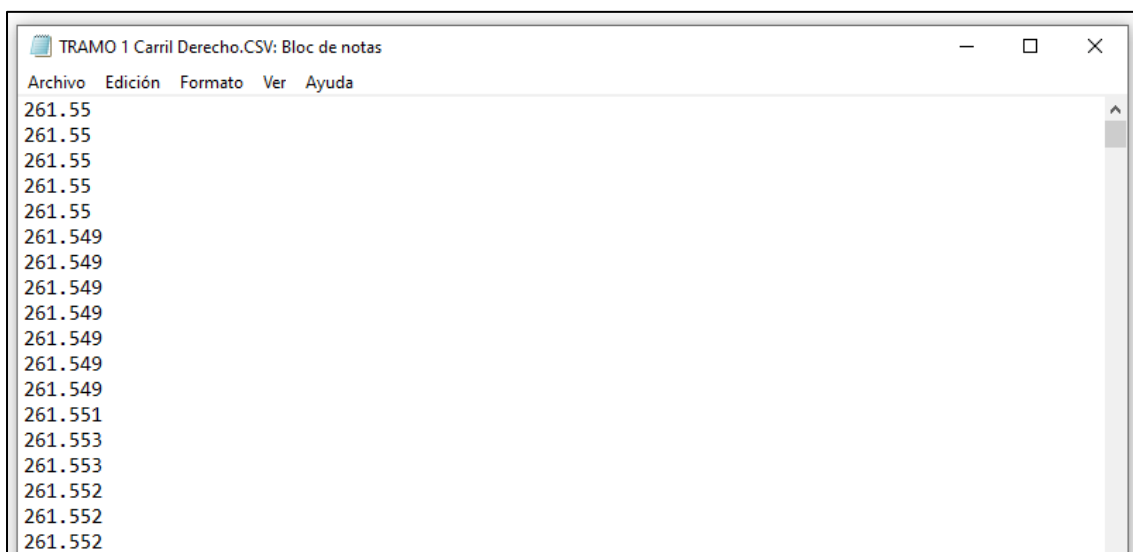


Figura 11. Datos de cotas huella de rodadura del Tramo 1 Carril Derecho en formato “.CSV”.

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento de datos y determinación de IRI con ProVAL

Una vez se tiene los datos del levantamiento topográfico del perfil con sus cotas debidamente corregidas y adjuntadas en un archivo formato “.CSV”, se procederá a abrir la aplicación para computadoras ProVAL, donde se dará clic en la opción proyecto nuevo, luego en la barra de herramientas en la opción “Add files”, donde se abrirá una ventana para luego cargar los archivos de los diferentes perfiles que ya fueron cambiados a formato “.CSV”.

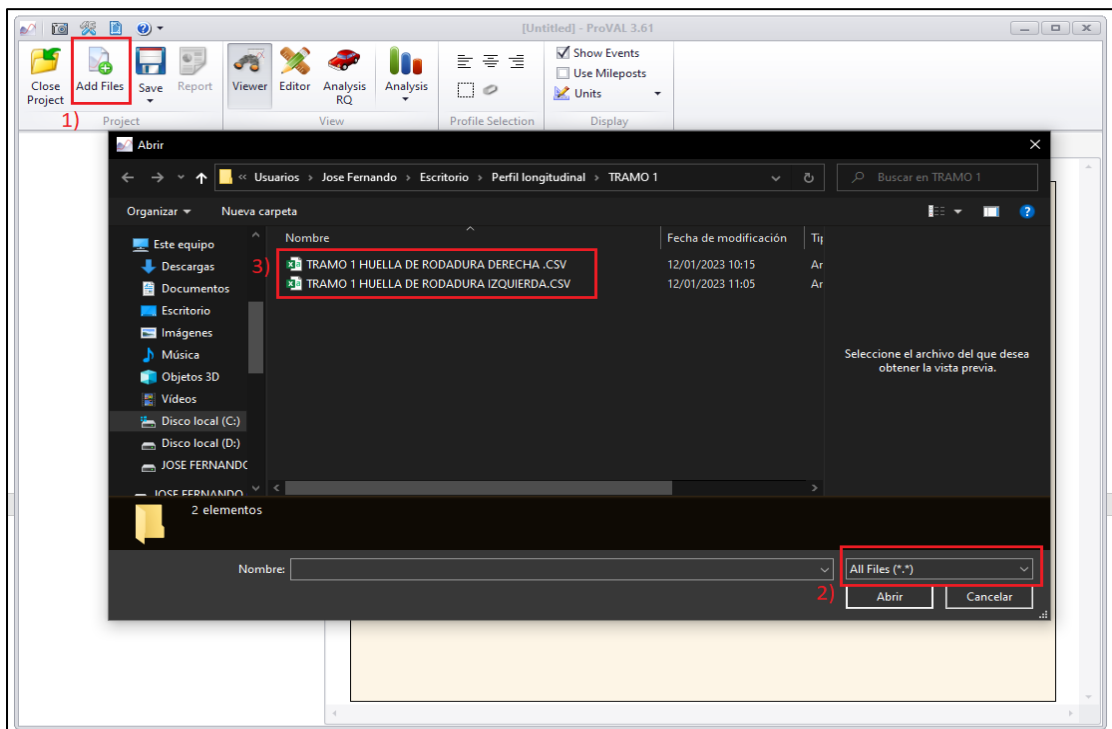


Figura 12. Cargar un perfil en ProVAL.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez hecho esto se mostrará una ventana similar a la Figura 13 en la cual se definirá los valores de trabajo, colocando 250 como intervalo de muestra, milímetros (mm) como unidad del intervalo, y las unidades de las cotas en metros (m), una vez colocado estos valores se dará clic en el botón “Next”.

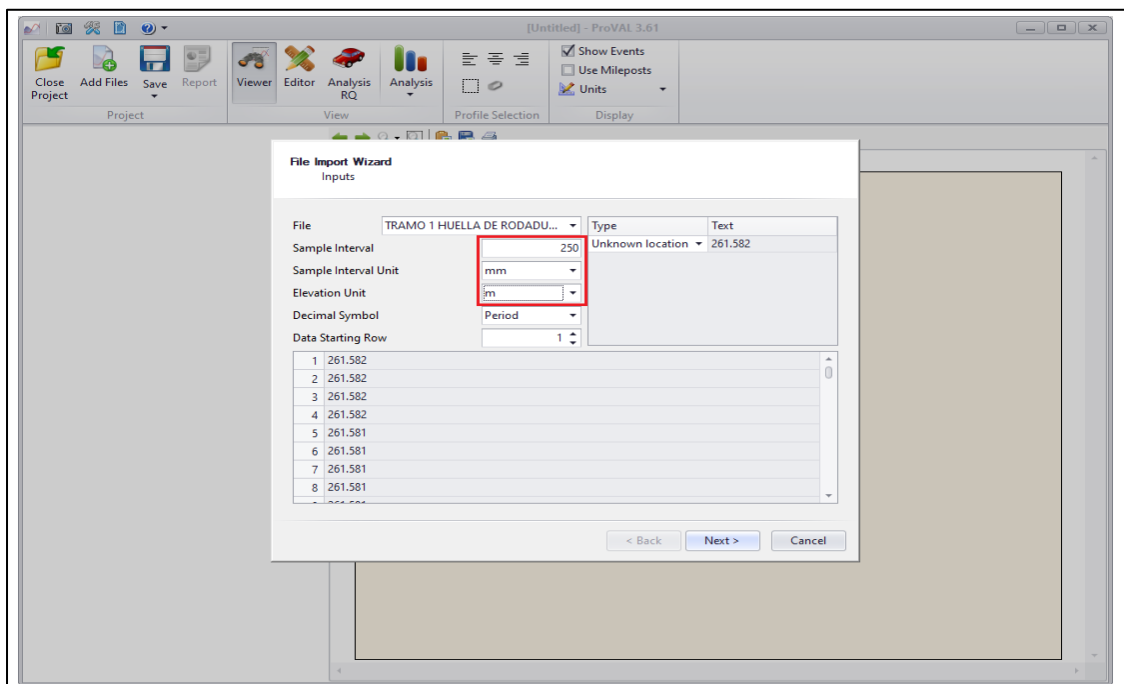


Figura 13. Parámetros para cargar un perfil en ProVAL.

Fuente: Elaboración propia

Seguido los pasos anteriores el programa automáticamente mostrará el perfil longitudinal del archivo cargado, si hay más archivos cargados se podrá seleccionar en el lado izquierdo según el nombre designado, tal como se muestra en la Figura 14.

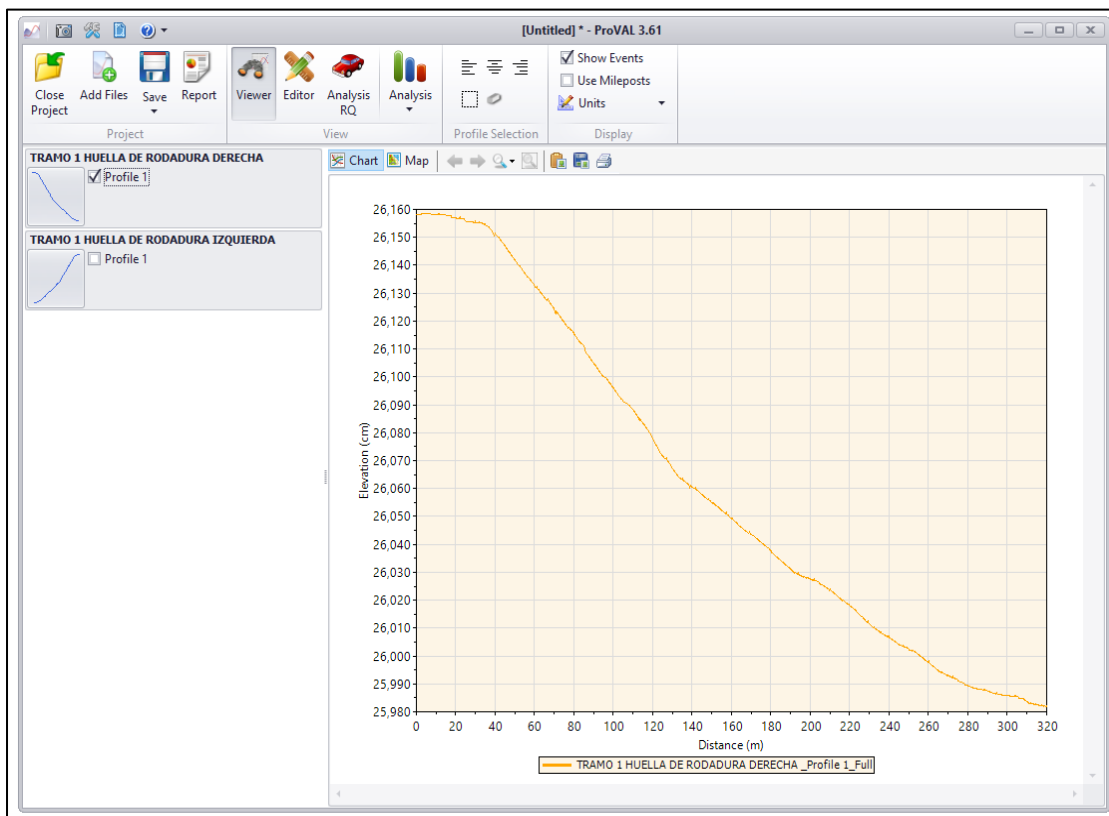


Figura 14. Perfil Longitudinal cargado en ProVAL.

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el IRI del perfil longitudinal seleccionado se dará clic sobre la barra de herramientas del programa específicamente en el denominado “*Analysis RQ*”, luego la ventana mostrará un apartado diferente. Se irá a ítem denominado “*Analysis Type*” y haciendo clic sobre la elección desplegar elegiremos la opción “*Overall*”, dado a que deseamos determinar el IRI en toda la sección del perfil como un valor único, también nos cercioraremos que el resultado buscado esté marcado en IRI, seleccionaremos el perfil que deseamos calcular y deshabilitamos la opción “*Apply 250 mm Filter*”, debido a que los datos ya se encuentran en un intervalo de 250 mm, por lo cual no es necesario este filtro, si la toma de datos se hubiera realizado en un intervalo distinto esta opción se deja habilitada. Una vez esto se puede dar clic en el botón “*Analyze*”. Hecho esto arrojará automáticamente en un cuadro el valor IRI calculado para el tramo.

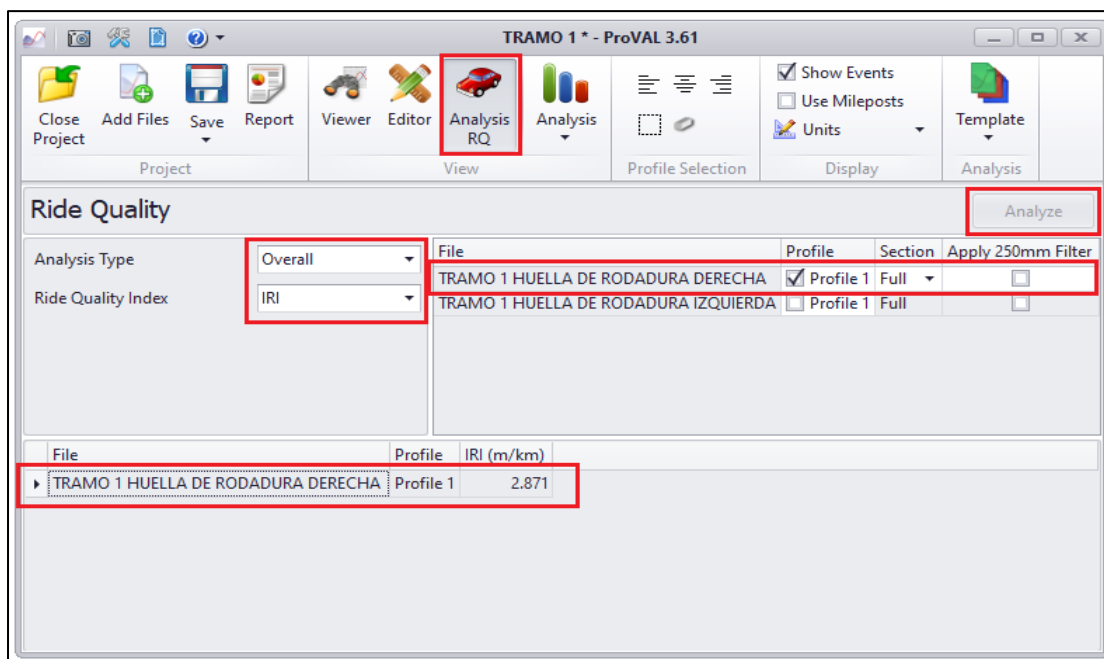


Figura 15. Cálculo del IRI en ProVAL.

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Objetivo específico 2: Determinar el IRI en los tres tramos por medio de la aplicación de smartphones RoadBump, teniendo en cuenta a los factores de influencia.

Determinar los factores que influyen en la obtención de IRI

Después de realizar el análisis al marco teórico y a los antecedentes, se concluyó que los factores a evaluar son: la velocidad de conducción del vehículo, tipo de vehículo, sentido de conducción y presión en las llantas.

Las velocidades a estudiar deberán ser las permitidas en zonas urbanas, según el Reglamento Nacional de Tránsito (2009), las velocidades en estas zonas se encuentran entre un rango de 30 a 60 km/h, las cuales son menores a las usadas en estudios anteriores y a la velocidad de diseño del cuarto de carro, sin embargo, se deben usar velocidades dentro de este rango ya que se desea tener una referencia para evaluar pavimentos dentro de las ciudades. Por esas razones el equipo optó por realizar el experimento a las velocidades promedio de 35 y 45 km/h.

Del mismo modo se evaluó la obtención del IRI por medio de dos tipos de vehículo: un automóvil y una camioneta.

También se tuvo en cuenta el sentido de conducción para determinar el IRI en ambos carriles de los tramos de estudio, con la finalidad de evaluar más datos.

Últimamente se consideró a la presión de las llantas como un factor importante para los resultados del IRI ya que estos interactúan directamente en la percepción del confort al momento de conducir el vehículo, por ende, se consideró un valor superior (+1 PSI) y un valor inferior (-3 PSI) de acuerdo al fabricante de las llantas del vehículo correspondiendo 30 PSI para el automóvil y 32 PSI para la camioneta.

Dentro del manual de uso del *Bump Integrator*, otro instrumento de medición del IRI, que entra en la Clase 3, nos indica otros factores a tener en cuenta al momento del uso del instrumento, dentro de ellos se indica a la temperatura de la calzada que deberá estar en un rango entre los 10°C – 30°C, para desprestigiar este factor se decidió llevar a cabo las mediciones durante las primeras horas de la mañana. El factor clima es otro a tener en cuenta, donde se indica que la calzada debe estar libre de toda presencia de humedad u obstáculos ocasionados por dichas precipitaciones que puedan llegar a afectar la adherencia de la rueda, del mismo modo viento fuertes podrían ocasionar vibraciones ajenas al pavimento en evaluación, es por ello que el estudio se llevó a cabo en una mañana soleada libre de brisas violentas desprestigiar este factor.

Determinación del vehículo

Para la investigación se evaluará la respuesta de la aplicación desde el interior de un automóvil y una camioneta. Los modelos de los vehículos usados fueron: automóvil fue un Toyota modelo Ayga modelo 2022 y la camioneta fue una Toyota Hilux 2021.



Figura 16. Automóvil usado en la investigación.

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Camioneta usada en la investigación.

Fuente: Elaboración propia

Diseño del experimento para la recolección de datos con RoadBump.

Para determinar la mejor condición para la recolección de datos se deberá combinar los diferentes factores que influyen en la recolección de datos.

Los factores y los valores que estos tendrán durante el experimento se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 4

Factores de diseño

Factores	Valor 1	Valor 2
Tipo de vehículo	Automóvil	Camioneta
Velocidad	35 km/h	45 km/h
Sentido de conducción	Carril Derecho	Carril Izquierdo
Presión de llantas	-3 PSI	+1 PSI

Fuente: Elaboración propia

Y la combinación de estos factores:

Tabla 5*Combinación de factores que influyen en el IRI obtenido con RoadBump*

Combinación de factores			
Vehículo	Velocidad	Sentido	Presión de llantas
Automóvil	35 km/h	Carril Derecho	27 PSI (-3 PSI)
Automóvil	35 km/h	Carril Derecho	31 PSI (+1 PSI)
Automóvil	35 km/h	Carril Izquierdo	27 PSI (-3 PSI)
Automóvil	35 km/h	Carril Izquierdo	31 PSI (+1 PSI)
Automóvil	45 km/h	Carril Derecho	27 PSI (-3 PSI)
Automóvil	45 km/h	Carril Derecho	31 PSI (+1 PSI)
Automóvil	45 km/h	Carril Izquierdo	27 PSI (-3 PSI)
Automóvil	45 km/h	Carril Izquierdo	31 PSI (+1 PSI)
Camioneta	35 km/h	Carril Derecho	29 PSI (-3 PSI)
Camioneta	35 km/h	Carril Derecho	33 PSI (+1 PSI)
Camioneta	35 km/h	Carril Izquierdo	29 PSI (-3 PSI)
Camioneta	35 km/h	Carril Izquierdo	33 PSI (+1 PSI)
Camioneta	45 km/h	Carril Derecho	29 PSI (-3 PSI)
Camioneta	45 km/h	Carril Derecho	33 PSI (+1 PSI)
Camioneta	45 km/h	Carril Izquierdo	29 PSI (-3 PSI)
Camioneta	45 km/h	Carril Izquierdo	33 PSI (+1 PSI)

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se puede concluir que es necesario un mínimo de 16 (dieciséis) viajes por tramo para tener al menos un dato del IRI por cada combinación, para nuestra investigación se optó por realizar 02 (dos) viajes por cada combinación de factor, así como se muestra en el Anexo 3.

Recolección de datos con la aplicación para smartphones RoadBump

Para la obtención de IRI con el aplicativo RoadBump, es necesario primero instalarlo de manera sencilla buscándolo en la "Play Store". Existen dos versiones, una gratuita y otra versión de pago, en la presente investigación se utilizó la versión de pago debido a que nos permite usar todas las herramientas con las que cuenta, la cuales fueron de mucha ayuda para realizar esta investigación.

Los desarrolladores recomiendan hacer uso de la aplicación en un celular Android de alta gama, para nuestro caso utilizamos en equipo Poco X3 Pro, considerado un celular de gama media-alta.

Con respecto a la recolección de muestra los desarrolladores indican que las ubicaciones recomendadas para la recolección de datos dentro de un vehículo son: el tablero, parabrisa y piso, cerciorando que el equipo se quede lo más fijado posible, y que se encuentre alineado con respecto a las llantas del vehículo. Para esta investigación se optó por usar un sujetador de móviles para el parabrisas, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Smartphone con sujetador para recolección de datos con RoadBump.
Fuente: Elaboración propia.

Para dar inicio a la recolección de datos, la guía del aplicativo *RoadBump*, nos da las siguientes indicaciones previas:

- Activar el GPS integrado del teléfono, así como también activar el modo avión del dispositivo, esto con la intención que el dispositivo no modifique los datos producto del cambio de señal que suele darse al estar activada la red.
- Entrar al aplicativo e ir al apartado de ajustes, para configurar la aplicación en el sistema métrico, así como también modificar la velocidad mínima (Figura 19), se trabajará a una velocidad de recolección mínima de 32 km/h (20 mph).

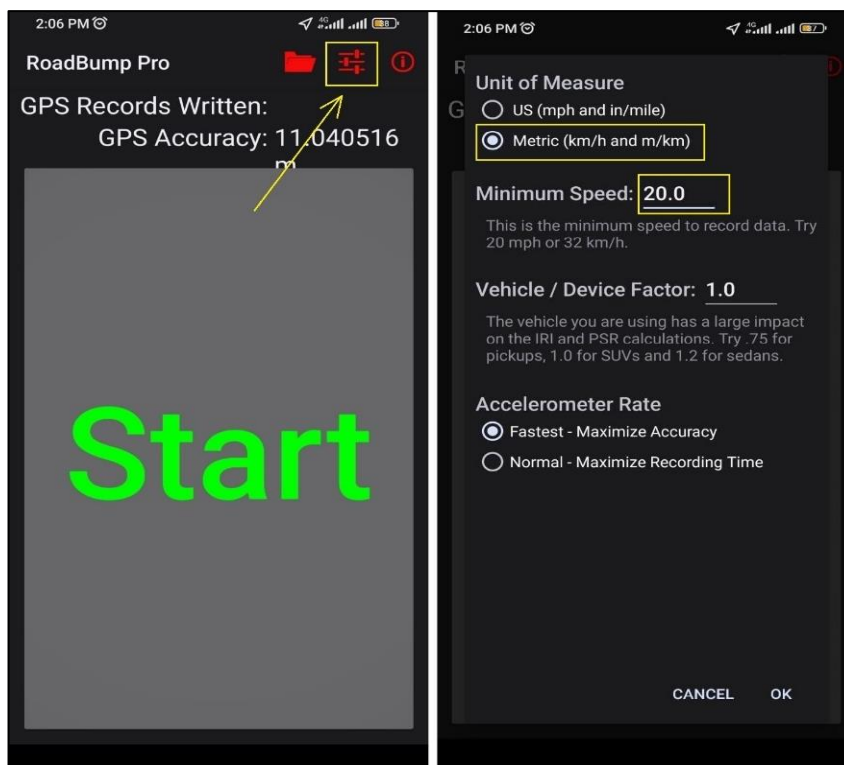


Figura 19. Configuración RoadBump.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez configurado estos parámetros se puede proceder con la recolección de datos, siguiendo los pasos descritos a continuación:

- Presionar el botón “*Start*”, y conducir por el tramo a una velocidad constante, luego presionar en “*Stop*” cuando se finalice el recorrido.
- Se mostrará en pantalla un mapa donde indicará el punto inicial (flecha verde) y punto final (flecha roja) de recolección de datos, estos puntos son editables por lo que se recomienda empezar y terminar la recolección de datos unos segundos antes y después del tramo de estudio. De igual manera se mostrará de forma predeterminada un gráfico que representa el IRI a lo largo del tramo, así como también en la parte inferior se apreciará la variación de la velocidad durante el recorrido (Figura 20).
- También la aplicación cuenta con la opción gráfica “*Step Graph*”, que muestra los resultados del IRI calculados cada 100 metros a lo largo del tramo de estudio, en esta opción también se aprecia la variación de velocidad en la parte inferior (Figura 21).

- Así como también el programa puede mostrarnos un resumen en forma de texto como se evidencia en la Figura 22, donde muestra los datos más importantes de la prueba, entre ellos el dato de nuestro interés el IRI del tramo.

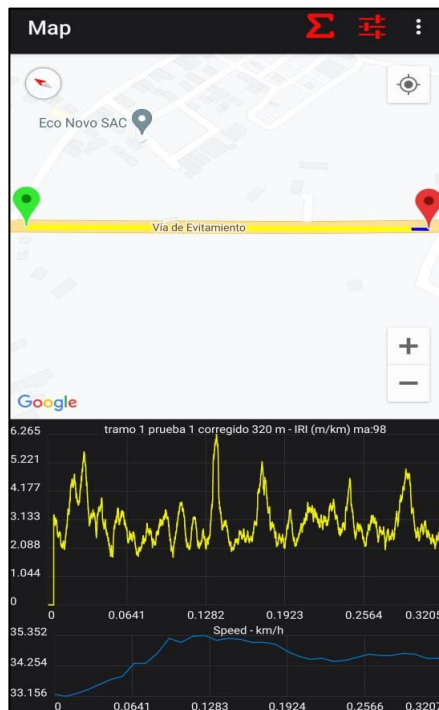


Figura 20. Captura de pantalla de resultados de IRI promedio RoadBump. Fuente: Elaboración Propia.

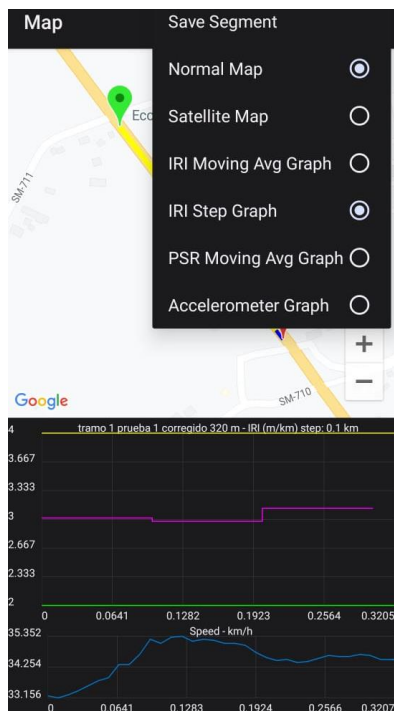


Figura 21. Captura de pantalla de Step Graph del IRI (RoadBump). Fuente: Elaboración propia.

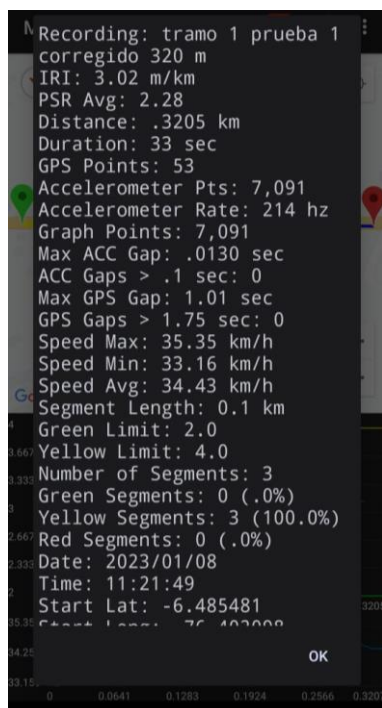


Figura 22. Captura de pantalla de resumen de resultados RoadBump.

Fuente: Elaboración propia.

Las recomendaciones que dan los desarrolladores para la conducción del vehículo en la recolección de muestras son las siguientes:

- Acelerar y desacelerar con suavidad.
- Manejar a una distancia constante respecto a la berma (0.60 m), sin hacer movimientos bruscos al volante.
- No manejar cuando exista precipitaciones o viento excesivo, esto causará mala recolección de muestras.

3.3.3. Objetivo específico 3: Determinar la mejor condición para la obtención del IRI por medio de la aplicación para smartphone RoadBump

Para determinar la mejor condición se deberá analizar los resultados obtenidos en la camioneta y el automóvil bajo las distintas condiciones.

Uno primer punto a evaluar será la consistencia de los resultados en cada uno de los vehículos, es decir, las evaluaciones realizadas en los distintos tramos deberán presentar un comportamiento similar bajo una misma combinación de factores. Esto se puede interpretar de la siguiente manera si en el Tramo 01 el resultado del IRI de la combinación: automóvil, 35 km/h, 31 PSI (+1 PSI), aumenta con respecto a la combinación anterior: automóvil, 35 km/h, 27 PSI (-3 PSI), este deberá ser repetible

en el resto de tramos, de la misma manera con respecto a las otras combinaciones, marcando un mismo patrón en todos los tramos, si cumple esta condición estamos hablando que existe una consistencia en los resultados.

Una vez que se determine si el vehículo presenta consistencia, se procederá a seleccionar aquella combinación de factores que se asemeje más al IRI resultante del procesamiento de datos de la mira y nivel por medio del aplicativo ProVAL, y de esta manera se habrá determinada la mejor condición para la obtención del IRI por medio del aplicativo para smartphone RoadBump.

3.3.4. Objetivo específico 4: Comparar los IRI obtenidas por la mejor condición de recolección de datos con RoadBump y la obtenidas por la mira y el nivel.

Para la comparación de datos se usará el análisis de regresión, que representa un modelo para calcular una relación funcional entre la variable Y con respecto a una variable independiente que tiene el propósito de calcular los valores de Y (Córdova,2006).

Diagrama de dispersión

Se presenta de manera que se logra visualizar el nivel de relación que guardan dos variables (X, Y) observando el gráfico elaborado en el plano cartesiano utilizando los datos (X_1, Y_1), recibiendo el nombre de “Modelo de regresión”, la representación obtenida muestra la tendencia de la relación auténtica entre dos variables analizadas, a esta tendencia se buscará ajustarse a una función matemática que podría ser lineal o no lineal (Córdova,2009).

Regresión lineal simple

Este consiste en obtener la ecuación de la recta $Y = a + bX$ que se adapte mejor a todos los valores de la muestra de variables de dos dimensiones (X, Y), donde Y es dependiente y X dependiente (Córdova,2009).

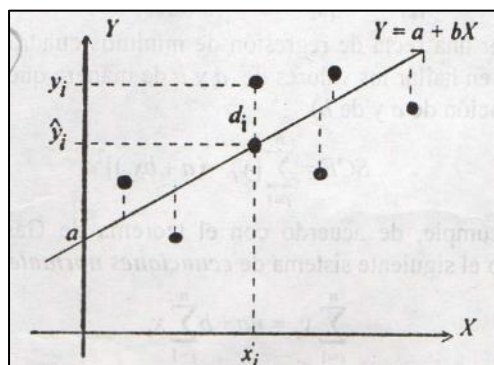


Figura 23. Ejemplo de dispersión de datos.
Fuente: Córdova, 2009

Córdova (2009), menciona lo siguiente:

- El coeficiente b es la pendiente o el coeficiente de regresión lineal.
- La constante a es la ordenada en el origen.
- La pendiente se analiza por el signo de la siguiente manera.

El coeficiente b se interpreta de la siguiente manera:

- Si $b > 0$, se entiende que existe una tendencia lineal creciente, o sea que para mayores valores de X corresponderá mayores valores de Y .
- Si $b = 0$, quiere decir que Y será constante para todos los valores de X .
- Si $b < 0$, quiere decir que la tendencia lineal es decreciente, o sea que para mayores valores de X corresponderá menores valores de Y .

Coeficiente de correlación

La correlación se encarga de estudiar el nivel de relación de dos variables, de este modo el análisis de la correlación tiene como objetivo estudiar hasta dónde llega la dependencia entre dos variables, representado por la letra r pudiendo llegar a obtener un valor real entre un rango de -1 a $+1$ (Gorgas, 2011).

Se interpreta de la siguiente manera:

- Si $r = -1$, quiere decir que existe una correlación lineal perfecta negativa.
- Si $r = 0$; nos da a entender que no existe correlación entre las dos variables.
- Si $r = 1$; quiere decir que existe una correlación lineal perfecta positiva.

Coeficiente de determinación.

El coeficiente de determinación sirve como una manera de medir la proximidad del ajuste del modelo de regresión. Cuanto mayor sea el valor de su magnitud, el ajuste será más exacto y la ecuación de regresión tendrá una mayor utilidad es representado como r^2 , pudiendo tomar valores entre 0 y 1 (Córdova, 2009).

3.3.5. Objetivo específico 5: Determinar el IRI del pavimento de la nueva vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto.

Una vez determinada la mejor condición (combinación de factores) para obtener el IRI con el aplicativo para smartphones. Se procedió a realizar el recorrido en toda vía de evitamiento (12.9 km) bajo dichas condiciones.

Los datos obtenidos (IRI) deberán ser corregidos haciendo uso de la fórmula de regresión lineal

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado objetivo específico 1:

Determinar el IRI en tres tramos del pavimento de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto por medio del método tradicional (mira y nivel).

Como se redactó ítems atrás se realizó la medición con nivel de ingeniero y mira en 03 (tres) Tramos de 320 metros cada uno, en la huella de rodadura de sus dos sentidos, a su vez estos tramos están ubicado estratégicamente cumpliendo con las condiciones expuestas con anterioridad.

Para comprobar la confiabilidad de estos resultados, se realizó el análisis de “error de cierre” (E_n) y la “Tolerancia para el error de cierre” (T_n).

Para el Tramo 1 (2+000 KM + 2+320 KM) Carril Derecho:

$$E_n = (\sum Va - \sum Vd) - (Q_f - Q_i) = (3.74 - 5.502) - (259.82 - 261.582)$$

$$E_n = 0$$

$$T_n = m\sqrt{k} = 15 \times \sqrt{0.32} = 8.485 \text{ mm}$$

$$E_n < T_n$$

Como se puede observar en este perfil longitudinal se cumple con la condición $E_n < T_n$, por lo que el siguiente paso a seguir sería la compensación de cotas, sin embargo, el cálculo de “Error de cierre” es igual a cero, esto significa que no es necesario la compensación, además esto demuestra que los datos recolectados con el nivel de ingeniero y la mira son altamente confiables.

Este mismo proceso se llevó a cabo en todos los perfiles tal como se describe a continuación.

Para el Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) Carril Izquierdo:

$$E_n = (\sum Va - \sum Vd) - (Q_f - Q_i) = (3.739 - 5.526) - (261.550 - 259.763)$$

$$E_n = 0$$

$$T_n = m\sqrt{k} = 15 \times \sqrt{0.32} = 8.485 \text{ mm}$$

$$E_n < T_n$$

Para el Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM) Carril Derecho:

$$En = (\sum Va - \sum Vd) - (Qf - Qi) = (4.395 - 6.033) - (241.012 - 242.650)$$

$$En = 0$$

$$Tn = m\sqrt{k} = 15 \times \sqrt{0.32} = 8.485 \text{ mm}$$

$$En < Tn$$

Para el Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM) Carril Izquierdo:

$$En = (\sum Va - \sum Vd) - (Qf - Qi) = (6.026 - 4.395) - (242.630 - 240.999)$$

$$En = 0$$

$$Tn = m\sqrt{k} = 15 \times \sqrt{0.32} = 8.485 \text{ mm}$$

$$En < Tn$$

Para el Tramo 3 (9+500 KM - 9+820 KM) Carril Derecho:

$$En = (\sum Va - \sum Vd) - (Qf - Qi) = (6.829 - 10.591) - (229.435 - 233.197)$$

$$En = 0$$

$$Tn = m\sqrt{k} = 15 \times \sqrt{0.32} = 8.485 \text{ mm}$$

$$En < Tn$$

Para el Tramo 3 (9+500 KM - 9+820 KM) Carril Izquierdo:

$$En = (\sum Va - \sum Vd) - (Qf - Qi) = (6.829 - 10.591) - (229.435 - 233.197)$$

$$En = 0$$

$$Tn = m\sqrt{k} = 15 \times \sqrt{0.32} = 8.485 \text{ mm}$$

$$En < Tn$$

Como se puede apreciar, en todos los perfiles se cumple con la condición $En < Tn$, con un error de cierre igual a cero, por lo cual en ninguno de los perfiles es necesario realizar la compensación. Estos resultados demuestran la confianza de las medidas hechas con el nivel de ingeniero, y se debe a diversos factores entre los que destaca la corta longitud del tramo, la correcta calibración del instrumento y la buena manipulación por parte del operador del instrumento.

Una vez se tiene las cotas de los perfiles longitudinales se procedió a pasarlos en formato ".CSV", para su lectura en el programa ProVAL. Los resultados de estos perfiles se muestran en el Anexo 5. A partir de esto se describe:

En la Figura 35 y 36 se observa el perfil longitudinal del Tramo 1 (2+000 KM + 2+320 KM) Carril Derecho y Carril Izquierdo respectivamente, donde se puede apreciar la

variación que tiene el nivel a lo largo de este. El perfil posee una pendiente mínima de 0.6% a lo largo del tramo. Teniendo una diferencia de cota promedio entre punto inicial y final de 1.774 metros.

En la Figura 37 y 38 se observa el perfil longitudinal del Tramo 2 (5+500 KM + 5+820 KM) Carril Derecho y Carril Izquierdo respectivamente. En este perfil se puede observar la presencia de una pendiente más cambiante y pronunciada producto de la curva vertical existente en el tramo, llegando a variar desde 0.10% entre los 50 y 130 metros, hasta los 2.3% entre los 210 y 280 metros del tramo en el sentido del carril derecho. Teniendo una diferencia de cota promedio entre el punto inicial y final de 1.635 metros.

En la Figura 39 y 40 se observa el perfil longitudinal del Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM) Carril Derecho y Carril Izquierdo respectivamente. En este perfil se puede observar la presencia de una pendiente casi constante de 1.19% a lo largo de todo el tramo. Teniendo en el tramo una diferencia de cota promedio entre el punto inicial y final de 3.8 metros.

En la 41 se plasma un acercamiento al detalle del perfil. Se puede observar que existen pequeñas gibas casi imperceptibles en el campo a simple vista, cada giba tiene una variación de aproximadamente de 0.005 metros con respecto al punto más próximo, estas imperfecciones son producto de la vida útil que ha tenido el pavimento por lo cual su presencia es de esperarse.

Una vez cargados los perfiles en el software ProVAL se procederá a calcular el IRI siguiendo los pasos explicados en el capítulo anterior. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6
IRI de los perfiles calculados en ProVAL

Perfil	IRI
Tramo 1 Carril Derecho	2.871 m/km
Tramo 1 Carril Izquierdo	2.961 m/km
Tramo 2 Carril Derecho	2.957 m/km
Tramo 2 Carril Izquierdo	2.994 m/km
Tramo 3 Carril Derecho	3.011 m/km
Tramo 3 Carril Izquierdo	2.989 m/km

Fuente: Elaboración propia

Analizando los valores de la Tabla 6, podemos afirmar que, según la clasificación propuesta por el AASHTO, los pavimentos de los tramos estudiados se encuentran en una condición regular, ya que se ubican entre el rango de 1.90 a 3.60 m/km.

En la misma tabla podemos observar que los valores de los tramos varían dependiendo del sentido de conducción, esto se debe a que los perfiles no son exactamente iguales, del mismo modo los tramos al tener pendiente, la reacción del vehículo hacia esta no será la misma al momento de recorrer a favor que en contra de ella.

Discusión de resultado N°1

Se eligieron tres tramos de 320 metros de los cuales se realizó su levantamiento longitudinal por ambos carriles con nivel de ingeniero y mira cada 250 mm (clase 1) para el cálculo del IRI, este funcionó como referente para la calibración del IRI obtenido por la aplicación RoadBump, y elegir la combinación que obtenga resultados más cercanos al real. El filtro para la elección de dichos Tramos estuvo en función a los factores descrito por Sayers, et al (1986). Ubicándolos finalmente el Tramo 1 en 2+000 KM + 2+320 KM, Tramo 2 en 5+500 KM - 5+820 KM y Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM de la nueva vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto.

4.2. Resultado objetivo específico 2:

Determinar el IRI en los tres tramos por medio de la aplicación de smartphones RoadBump, teniendo en cuenta a los factores de influencia.

Para obtener los resultados se realizó dos viajes por cada combinación de factor que interfiere en la determinación del IRI con el aplicativo RoadBump. La obtención de IRI de cada uno de estos viajes se evidencia en la Tabla 12 Anexo 5.

Resultados obtenidos en el automóvil

A continuación, se presentan los resultados promedio obtenidos por cada combinación de factores para el automóvil.

Tabla 7
Valores de IRI respecto a factores en el automóvil.

Tramos	IRI (m/km)				
	PaVa	PaVb	PbVb	PbVa	PaVa
Tramo 1 Carril Derecho	3.025	3.125	3.760	3.755	3.025
Tramo 1 Carril Izquierdo	3.055	3.150	3.865	3.785	3.055
Tramo 2 Carril Derecho	3.325	3.300	4.265	4.085	3.325
Tramo 2 Carril Izquierdo	3.385	3.475	4.145	4.180	3.385
Tramo 3 Carril Derecho	3.350	3.445	4.175	4.165	3.350
Tramo 3 Carril Izquierdo	3.395	3.515	4.195	4.065	3.395
PROMEDIO	3.256	3.335	4.068	4.006	3.256

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Pa = Presión de llantas 27 PSI (-3 PSI)

Pb = Presión de llantas 31 PSI (+1 PSI)

Va = Velocidad de 35 km/h

Vb = Velocidad de 45 km/h

Estos valores obtenidos por la aplicación para smartphones RoadBump, se puede lograr apreciar de manera más práctica en la siguiente gráfica.

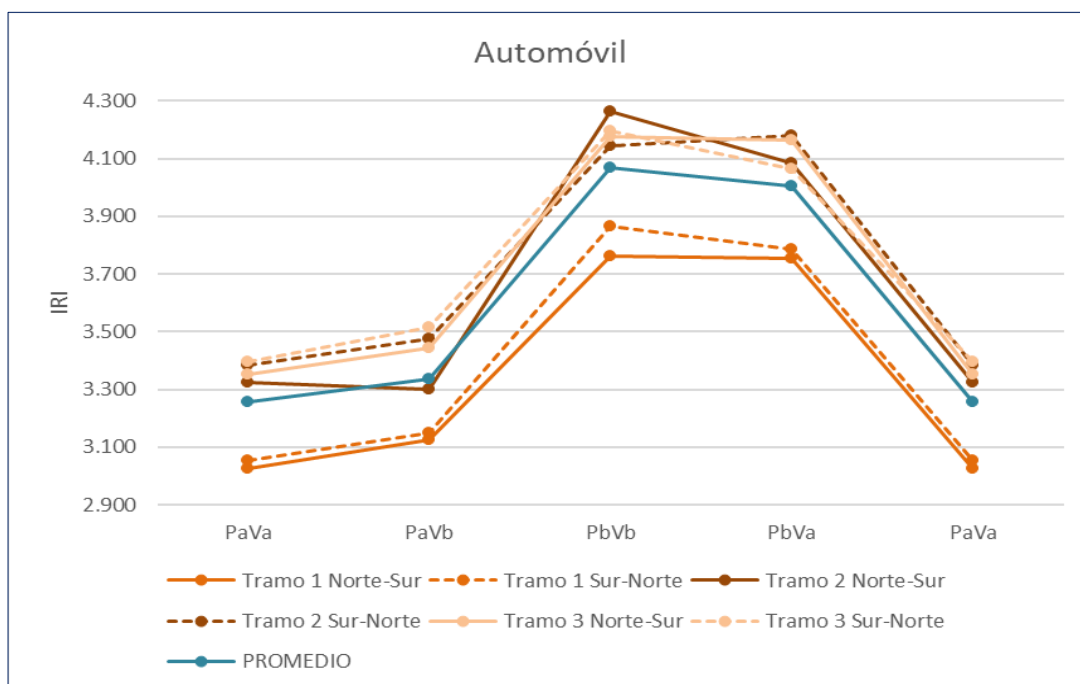


Figura 24. Variación del IRI respecto a factores en el automóvil.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretando los valores de la Tabla 7 y lo plasmado en la Figura 24, podemos afirmar:

- Cuando la velocidad se incrementó de 35 a 45 km/h (Va a Vb), manteniendo la presión a 27 PSI (-3 PSI), Pa, el IRI aumentó ligeramente en todos los Tramos con excepción del Tramo 2 Carril Derecho, donde existe una ligera disminución del IRI.
- Cuando se incrementa la presión de 27 PSI (-3 PSI) a 31 PSI (+1 PSI), Pa a Pb, y conduciendo a la velocidad de 45 km/h (Vb), los IRI aumentan ampliamente en todos los tramos.
- Cuando se reduce la velocidad de 45 a 35 km/h (Vb a Va) manteniendo la presión en 31 PSI (+1 PSI), Pb, se observa que en el IRI disminuye en Tramo 1 Carril Izquierdo, Tramo 2 Carril Derecho y Tramo 3 Carril Izquierdo, en una mínima cuantía el Tramo 1 Carril Derecho y Tramo 3 Carril Derecho, mientras que en el Tramo 2 Carril Izquierdo el IRI se incrementó ligeramente.
- Finalmente, cuando se reduce la presión de 31 PSI (+1 PSI) a 27 PSI (-3 PSI), Pb a Pa, conduciendo a una velocidad de 35 km/h (Va), el IRI recae con notoriedad.

Resultados obtenidos en la camioneta

A continuación, se presentan los resultados promedio obtenidos por cada combinación de factores para la camioneta.

Tabla 8
Valores de IRI respecto a factores en la camioneta

Tramos	IRI (m/km)				
	PaVa	PaVb	PbVb	PbVa	PaVa
Tramo 1 Carril Derecho	2.130	2.290	2.490	2.200	2.130
Tramo 1 Carril Izquierdo	2.045	2.435	2.415	2.330	2.045
Tramo 2 Carril Derecho	2.505	2.605	2.810	2.525	2.505
Tramo 2 Carril Izquierdo	2.440	2.725	2.765	2.775	2.440
Tramo 3 Carril Derecho	2.405	2.630	2.640	2.660	2.405
Tramo 3 Carril Izquierdo	2.495	2.560	2.850	2.565	2.495
PROMEDIO	2.337	2.541	2.662	2.509	2.337

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

P_a = Presión de llantas 29 PSI (-3 PSI)

P_b = Presión de llantas 33 PSI (+1 PSI)

V_a = Velocidad de 35 km/h

V_b = Velocidad de 45 km/h

De igual forma estos valores obtenidos por la aplicación para smartphones RoadBump, se puede lograr apreciar de manera más práctica en la gráfica.

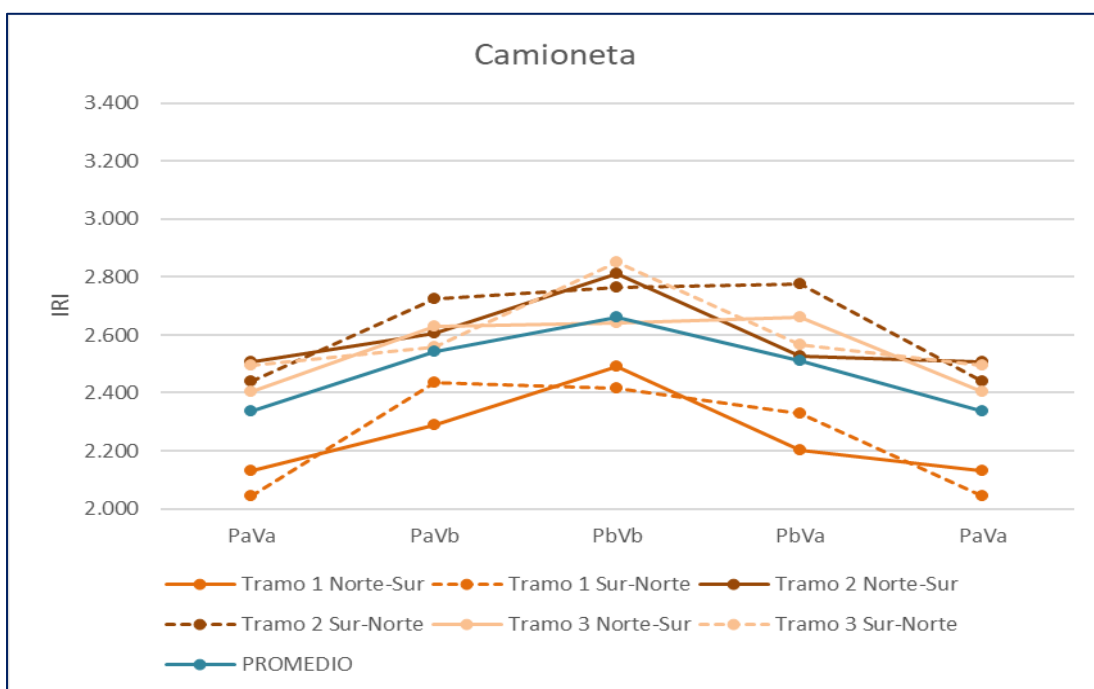


Figura 25. Variación del IRI respecto a factores en el automóvil.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretando los valores de la Tabla 8 y lo plasmado en la Figura 25, podemos afirmar:

- Cuando la velocidad se incrementó de 35 a 45 km/h (V_a a V_b), manteniendo la presión a 29 PSI (-3 PSI), P_a , el IRI aumentó en todos los tramos, sin embargo, este no es muy consistente entre los diferentes perfiles.
- Cuando se incrementa la presión de 29 PSI (-3 PSI) a 33 PSI (+1 PSI), P_a a P_b , conduciendo a la velocidad de 45 km/h (V_b), los IRI aumentan en todos el Tramo 1 Carril Derecho, Tramo 2 Carril Derecho, Tramo 3 Carril Izquierdo y en una menor medida el Tramo 2 Carril Izquierdo mientras que se observa una disminución en el Tramo 1 Carril Izquierdo y en el Tramo 3 Carril Derecho.

- Cuando se reduce la velocidad de 45 a 35 km/h (V_b a V_a) manteniendo la presión en 33 PSI (+1 PSI), P_b , se observa que en el IRI disminuye en el Tramo 1 Carril Derecho, Tramo 1 Carril Izquierdo, Tramo 2 Carril Derecho y Tramo 3 Carril Izquierdo mientras que aumenta en el Tramo 2 Carril Izquierdo, Tramo 3 Carril Derecho.
- Finalmente, cuando se reduce la presión de 33 PSI (+1 PSI) a 29 PSI (-3 PSI), P_b a P_a , conduciendo a una velocidad de 35 km/h (V_a), el IRI recae en todos los tramos.

Discusión de resultados N°2

En el automóvil se puede observar cada combinación de factores influye en la obtención del IRI con el aplicativo RoadBump, siendo los factores de velocidad y presión los que más afectan significativamente, esto se evidencia en todos los tramos marcando una tendencia. También podemos afirmar que estos dos factores se encuentran relacionados, ya que el efecto de la velocidad será diferente dependiendo de la presión de las llantas. Del mismo modo se observa que en los resultados mostrados en los distintos, existe consistencia con respecto a las condiciones circuladas en cada experimento, lo cual muestra al vehículo como instrumento de medición favorable.

En lo que respecta al factor sentido podemos ver que existe cierto efecto en la obtención del IRI, siendo más evidente en el Tramo 2, sin embargo, no deja de ser consistente con los demás tramos.

Se puede apreciar en los resultados obtenidos en la camioneta no se marca una consistencia en cuanto al efecto de los factores y las combinaciones de estos como lo hacían en el automóvil. También podemos recalcar que una de las causas probables ante esta conducta, puede deberse a las reacciones particularidades del vehículo ante el tramo, ya que su sistema de suspensión es superior a la de un automóvil, llegando a atenuar de una mejor manera la rugosidad de la calzada, esto también puede evidenciarse en los resultados del IRI donde se aprecia claramente que los obtenidos por la camioneta son mucho menores a las obtenidas por el automóvil.

4.3. Resultado objetivo específico 3:

Determinar la mejor condición para la obtención del IRI por medio de la aplicación para smartphone RoadBump.

Entonces a partir de los resultados anteriores podemos afirmar que los resultados de los factores en el automóvil muestran una conducta independientemente al tramo o sentido (en su mayoría). Al igual que podemos afirmar que la sensibilidad ante la rugosidad de pavimentos es mayor, evidenciándose esto en la amplitud de los datos resultados del recorrido vistos en la Figura 24, determinando a este como el vehículo para esta investigación para la determinación del IRI con el aplicativo RoadBump.

Una vez definido que el automóvil es el vehículo que tiene más consistencia en la medición de IRI con el aplicativo RoadBump (clase 3), se analizó los datos obtenidos con la combinación de los factores, determinando que el escenario que tuvo datos más cercado al IRI obtenido con el nivel de ingeniero y mira (clase 1), fue la combinación del vehículo conducido a una velocidad de 35 km/h con una presión en las llantas de 27 PSI (-3 PSI).

Discusión de resultados N°3

Partiendo de los resultados vistos con anterioridad y realizando un análisis se resultó que el automóvil conducido a 35km/h con una presión de 27 PSI (-3 PSI) en las llantas, dicho resultado concuerda con los obtenidos por Moyano (2020), quien en sus conclusiones señala al automóvil como instrumento ideal por encima de la camioneta, quien, al igual que el presente trabajo no encontró consistencia en los resultados obtenidos por el segundo vehículo.

4.4. Resultado objetivo específico 4:

Comparar los IRI obtenidas por la mejor condición de recolección de datos con RoadBump y la obtenidas por la mira y el nivel.

Los resultados de la toma de muestra bajo la mejor condición se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 9

Comparación entre IRI de nivel y mira, e IRI de RoadBump

Tramo	IRI – nivel y mira	IRI RoadBump	Error
Tramo 1 Carril Derecho	2.871	3.020	5.19%
		3.030	5.54%
Tramo 1 Carril Izquierdo	2.918	3.060	4.87%
		3.050	4.52%
Tramo 2 Carril Derecho	2.98	3.300	10.74%
		3.350	12.42%
Tramo 2 Carril Izquierdo	2.973	3.370	13.35%
		3.400	14.36%
Tramo 3 Carril Derecho	2.993	3.340	11.59%
		3.360	12.26%
Tramo 3 Carril Izquierdo	2.989	3.380	13.08%
		3.410	14.08%
Promedio	-	-	10.17%

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo un promedio de error del 10.17%. Estos datos fueron contrastados por medio del método de regresión lineal, obteniendo el coeficiente de determinación.

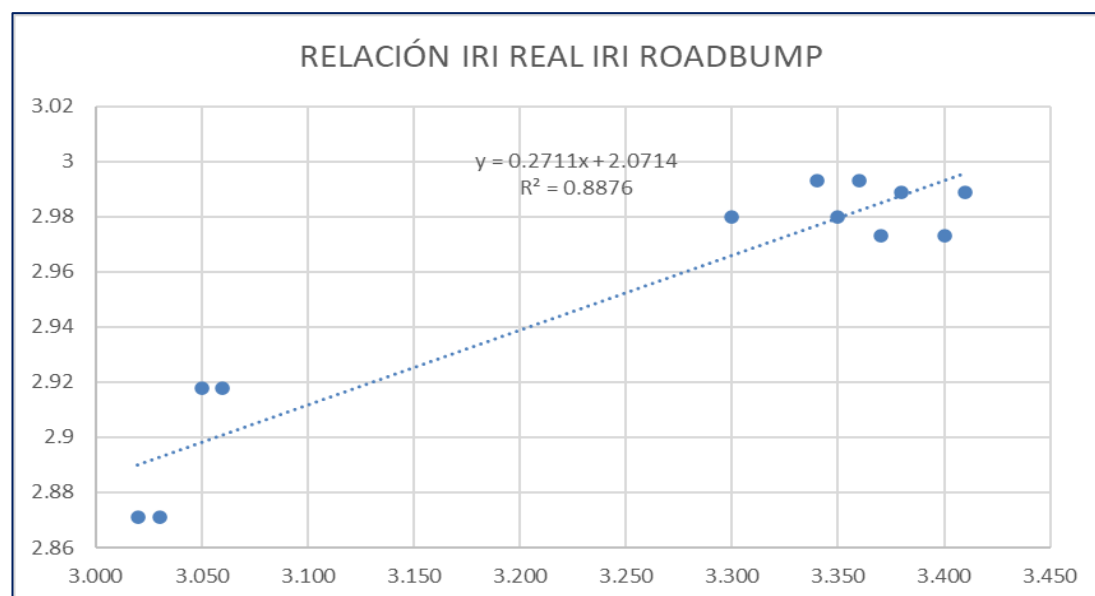


Figura 26. Dispersión de IRI de nivel y mira, e IRI de RoadBump.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 26 podemos apreciar que entre el IRI obtenido con el nivel de ingeniero y la mira, y el IRI obtenido por el aplicativo RoadBump, presentan una tendencia lineal positiva, queriendo decir que a mayor valor de IRI calculado con mira y nivel, mayor será el IRI que recolectará el aplicativo RoadBump, lo cual es coherente, también podemos observar un coeficiente de determinación $r^2=0.8876$, que nos indica que existe una similitud entre los datos de un 88.76%, demostrando una correlación de datos muy precisa.

Sin embargo, haciendo uso de la ecuación de regresión lineal $y = 0.2711x + 2.0714$, podemos obtener datos aún más semejantes como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10

Comparación entre IRI de nivel y mira, e IRI de RoadBump (corregido mediante regresión lineal)

TRAMO	IRI REAL	IRI ROADBUMP	Error	IRI ROADBUMP (Promedio)
Tramo 1 Carril Derecho	2.871	2.890	0.70%	2.891
		2.893	0.77%	
Tramo 1 Carril Izquierdo	2.918	2.901	-0.58%	2.900
		2.898	-0.69%	
Tramo 2 Carril Derecho	2.98	2.966	-0.47%	2.973
		2.980	0.00%	
Tramo 2 Carril Izquierdo	2.973	2.985	0.40%	2.989
		2.993	0.67%	
Tramo 3 Carril Derecho	2.993	2.977	-0.53%	2.980
		2.982	-0.37%	
Tramo 3 Carril Izquierdo	2.989	2.988	-0.03%	2.992
		2.996	0.23%	
Promedio	-	-	+/- 0.45%	-

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, haciendo uso de la regresión lineal, se pudo corregir los IRI obtenido con el RoadBump, llegando a reducir el error promedio absoluto de 10.17% a 0.45%. aproximando a un IRI real. De esta manera se ha determinado una forma de corregir los datos obtenidos por el aplicativo RoadBump, para obtener un IRI más cercano al verdadero.

Discusión de resultados N°4

Determinando que el automóvil conducido a una velocidad de 35 km/h y con la presión de -3 PSI es la óptima combinación para obtener el IRI con el aplicativo RoadBump, ya que se obtiene medidas más cercanas al IRI real (nivel y mirra) presentando un error promedio absoluto de 10.17%. Obtenido este dato se procedió a realizar el diagrama de dispersión de datos determinando que la correlación entre estos es del 88.76%, una cifra muy alta. De igual forma se determinó la fórmula de regresión lineal $y=0.2711x+2.0714$, la cual indica una tendencia lineal creciente, además usando esta fórmula permitió ajustar aún más los datos reduciendo el margen promedio de error absoluto a un 0.45%. Estos datos se asemejan a los obtenidos por Moyano (2020) quien obtuvo una correlación lineal de 98.7% entre las mediciones hechas con el aplicativo RoadBump y las de la mira y el nivel.

4.5. Resultado objetivo específico 5: Determinación del IRI en la vía de evitamiento de Tarapoto

Una vez determinada la mejor combinación de factores para obtener el IRI con el aplicativo para smartphones RoadBump (Automóvil conducido a 35 km/h con presión de llantas a 27 PSI). Se procedió a realizar el recorrido en toda vía de evitamiento (12.9 km). Obteniendo los datos descritos en la Tabla 13 Anexo 6 que se expresan en el siguiente gráfico.

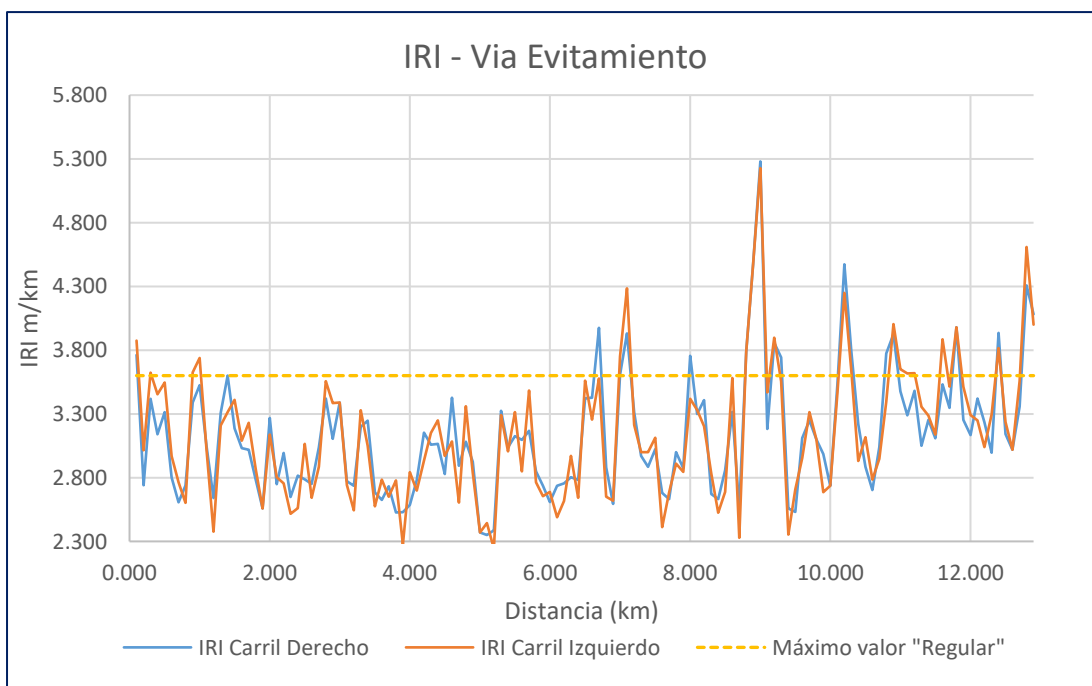


Figura 27. IRI vía de evitamiento – Tarapoto, recolectado con RoadBump.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar los datos entre los dos sentidos de circulación no poseen mayor variación obteniendo un IRI promedio de 3.136 m/km en el Carril Derecho y 3.144 m/km en el Carril Izquierdo, también en el gráfico podemos apreciar que algunos tramos superan el límite de la clasificación de IRI “Regular” propuesta por AASHTO que va desde los 2.3 hasta 3.6 m/km, cabe recalcar que estos tramos presentan (en su mayoría), singularidades propias de la vía (curvas verticales, curvas horizontales, puentes) por lo que según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” no existirá exigencia para cumplir los valores de IRI, ya que estas singularidades producen alteraciones en el perfil longitudinal y no se consideran como deficiencias constructivas.

Sin embargo, estos datos deberán ser corregidos haciendo uso de la fórmula de regresión lineal $y = 0.2711x + 2.0714$, obteniendo los datos descritos en la Tabla 14 Anexo 7, representados en la Figura 28.

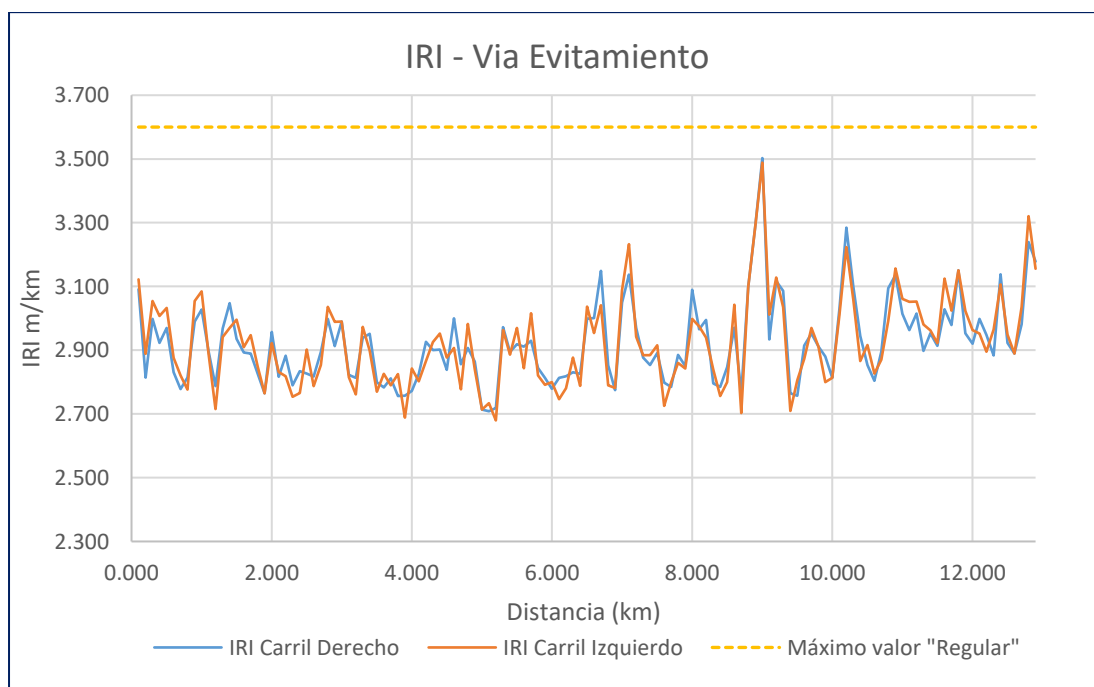


Figura 28. IRI vía de evitamiento – Tarapoto, recolectado con RoadBump (corregido mediante regresión lineal).

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar ahora ningún tramo supera el límite de 3.6 m/km que establece la AASHTO para la clasificación de pavimentos asfálticos regulares, incluido aquellos tramos que presentan singularidades propias de la vía, bien estos datos podrían no considerarse dentro del promedio final, sin embargo, esta investigación lo consideró porque no se determinó un método para su ajuste. De estos

datos se obtuvo como IRI promedio 2.922 m/km en el Carril Derecho y 2.923 m/km en el Carril Izquierdo determinando que el estado actual de la vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto es regular.

Discusión de resultados N°5

Una vez se obtuvo las mejores condiciones para calcular el IRI por medio del aplicativo para smartphones RoadBump, se procedió a replicarlos para determinar el IRI en toda la vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto, determinando así un IRI de 3.136 m/km en el carril norte-sur y 3.144 m/km en el carril sur-norte la cual sobrepasaba los límites para ser considerado un pavimento "Regular", conforme a lo estipulado en el Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción"; sin embargo, a estos datos obtenidos se le aplicó la fórmula de regresión lineal calculada con anterioridad a partir de la comparación de datos obtenidos por la mira y nivel y procesados en el aplicativo para computadoras ProVAL con el fin de reajustarlos dado que el aplicativo RoadBump se categoriza como instrumento de Clase 3, determinando así que el IRI en el carril norte-sur es de 2.922 m/km y 2.923 m/km en el carril sur-norte, clasificando al pavimento según AASHTO como regular. Demostrando la viabilidad de este instrumento para determinar el IRI.

CONCLUSIONES

- Dentro de la investigación se concluyó que de los factores estudiados que afectan la obtención del IRI por medio de la aplicación RoadBump, los que tienen mayor influencia son el tipo de vehículo, la velocidad de conducción, la presión de llantas y en una medida despreciable el sentido de conducción.
- Tras realizar el cálculo del IRI en los 03 Tramos de estudio y en los dos carriles por medio del nivel de ingeniero y la mira, para luego compararlos con los resultados obtenidos de combinación de factores para determinar el IRI usando el aplicativo RoadBump, se concluye que la mejor combinación de factores es un automóvil conducido a 35 km/h con una presión en las llantas a 27 PSI (-3 PSI), presentando un error absoluto promedio de 10.17%.
- Usando los IRI recolectado por RoadBump bajo la mejor combinación de factores y los IRI obtenidos con el nivel de ingeniero y mira para realizar un diagrama de dispersión se obtuvo una ecuación de regresión lineal $y = 0.2711x + 2.0714$, además de obtener una correlación de 0.8876 demostrando que la fórmula es altamente funcional, con el cual fue posible ajustar aún más los datos obtenidos por el aplicativo reduciendo el promedio de error absoluto a un 0.45%.
- Se determinó el IRI en el pavimento de la vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto (12.9 km) haciendo uso de la mejor combinación de factores para la determinación del IRI por medio del RoadBump y la ecuación de regresión lineal obtenida al compararlo con el IRI calculado con nivel de ingeniero y mira, dando como resultado un IRI de 2.922 m/km en el Carril Derecho y 2.923 m/km en el Carril Izquierdo, que según los rangos establecidos por la AASHTO se clasifica como un pavimento regular.
- Haciendo uso del IRI obtenido por medio del nivel de ingeniero y la mira para comparar los resultados de la mejor combinación de factores para determinar el IRI mediante el aplicativo para smartphones RoadBump, se obtuvo una similitud de 88.76%, concluyendo que es posible estimar el IRI de un pavimento haciendo uso del RoadBump, bajo condiciones específicas.

RECOMENDACIONES

- Para la recolección de los datos para determinar el IRI con el aplicativo para smartphones RoadBump, se recomienda conducir a una velocidad estable y constante, en tramos donde existe singularidades propias del pavimento se recomienda reducir y acelerar suavemente buscando que el vehículo no genere vibraciones ajenas a las provocadas por la carpeta de rodadura.
- Del mismo modo se recomienda la recolección de datos bajo condiciones climáticas optimas en la cuales destacan, ausencia de precipitaciones, vientos violentos, temperaturas muy bajas y/o elevadas, dado que estos pueden afectar el comportamiento propio de la calzada obteniendo mediciones erróneas en el aplicativo RoadBump
- Esta investigación se redujo a estudiar y determinar las mejores condiciones para obtener el IRI mediante RoadBump entre cuatro factores: tipo de vehículo, velocidad de conducción, presión en las llantas y sentido de circulación, sin embargo, se recomiendo estudiar otros factores que puede influir como son las singularidades propias de la vía, la ubicación del smartphone y el coeficiente de corrección del mismo aplicativo.
- Se recomienda usar un método de clase 1 para tener como principal referencia ante los datos obtenidos por el aplicativo para smartphones RoadBump, ya que en esta clasificación se considera a los instrumentos de alta precisión.
- A partir del IRI determinado en la vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto, se recomienda realizar trabajos de mantenimiento que aminoren las deflexiones presentes en las calzadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almenara, I (2015). *Aplicación De Teléfonos Inteligentes Para Determinar La Rugosidad De Pavimentos Urbanos En Lima*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Aranibar, M. & Saavedra K. (2019) *Determinación del estado actual del pavimento mediante la medición del índice de condición del pavimento (PCI) y el índice de rugosidad internacional (IRI) en la vía principal Izcuchaca - Huarcocondo*. Universidad Andina del Cusco
- Arones, M & Canchay, P. (2019) *Evaluación del pavimento flexible de la avenida la Marina entre avenida 28 de julio y los Rosales en Punchana 2018*. Universidad Científica del Perú
- Badilla G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial del pavimento mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI). aspectos y consideraciones importantes* Universidad de Costa Rica
- Córdova, M. (2006). *Estadística Inferencial*. MOSHERA S.R.L
- Cundill, M. (1991). *The MERLIN Low-Cost Road Roughness Measuring Machine*. Transport and Road Research Laboratory, Berkshire.
- Flores, L. (2022) *Análisis comparativo del IRI entre el teléfono inteligente y el rugosímetro de Merlín, dando propuesta de solución en la A.V Los Ángeles del Distrito de Pocollay, Tacna - 2022*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
- Flores, M. & Upiachihua, G. (2021) *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las propiedades físicas y mecánicas del Km 00 + 000 hasta el Km 09 + 000 de capa asfáltica de la ruta EMP.PE-5N (DV. Lamas), provincia Lamas, departamento San Martín*. Universidad Nacional de San Martín.
- Franquet J. & Querol A. (2010) *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional*. Universidad nacional de educación a distancia Centro asociado de tortosa
- Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias*. ISBN
- Grimmer D. (2015) *Speaker phone: New app tells you degree of road roughness*. Roads and Bridges
<https://www.roadsbridges.com/earthmoving/article/10647895/speaker-phone>

- Hanson T., Cameron C. & Hildebrand E. (2014) *Evaluation of low-cost consumer-level mobile phone technology for measuring international roughness index (IRI) values*. Canadian Journal of Civil Engineering, 41(9), 819-827
- Instituto Mexicano Del Transporte. 1995. *La respuesta dinámica de un cuarto de carro y el Índice Internacional de Rugosidad*. Publicación Técnica No.67.
- Instituto Mexicano Del Transporte (IMT). 1998. *Índice Internacional de Rugosidad en la Red de Carreteras de México*. Publicación Técnica N0.108.
- Kumar, R., Mukherjee, A. & Singh, V. (2017) *Community Sensor Network for Monitoring Road Roughness Using Smartphones*. American Society of Civil Engineers, 31(3),
- López, J. & Villarre, H. (2021). *Aplicación del smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021*. Universidad Privada de Tacna
- Manco, K. (2020) *Análisis de la variabilidad del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la carretera Baños Del Inca – Llacanora, utilizando el equipo MERLIN y la aplicación Roadroid en un smartphone*. Universidad Privada del Norte
- Moyano, M. (2020) *Procedimiento para determinar el Índice de Rugosidad Internacional con una aplicación móvil en Piura*. Universidad de Piura
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción*. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) (2019). *Informes y publicaciones / Transportes*.
portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/cuadros/Transportes_Carretero_1_1.xlsx
- Oblitas, B., Medina, I & Paredes, C. (2021) *Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos*. Revista ITECKNE- Universidad Santo Tomás
- Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Anuario Estadístico 2020*.
- Proval (2010). *ProVal 3, Guía del Usuario*. Proval
- Ramírez, B. (2017). *Cálculo Del IRI Mediante Acelerómetro De Smartphone En El Tramo Huarmey – Casma De La Carretera Panamericana Norte*. Pontificia Universidad Católica del Perú

- ROADROID. (2014). *Referencia de proyectos Roadroid*.
<https://www.roadroid.com/common/References/Roadroid%20Referencia%20de%20proyectos.pdf>
- Sánchez S., I., & De Solminihac T., H. (1989). *El IRI: un indicador de la regularidad superficial. Ingeniería de Construcción*.
- Sayers, M. (1995). *On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile*. University of Michigan, Transportation Research, Michigan.
- Sayers M. W., Gillespie D., T., & Paterson O., W. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. Banco Mundial. Washington: Grupo del Banco Mundial.
- Sayers, M. W., & Karamihas, S. M. (1998). *The Little Book of Profiling*. University of Michigan Transportation Research Institute.
- Staniek, M. (2021). *Road pavement condition diagnostics using smartphone-based data crowdsourcing in smart cities. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(4). <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.09.004>
- Tingay, H. (2021) *Análisis del Índice De Rugosidad Internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños Del Inca, utilizando el rugosímetro de MERLIN*. Universidad Nacional de Cajamarca
- Vidal, D (2016) *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 11
Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	OPERALIZACIÓN VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Los resultados de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de Tarapoto obtenidos al medir con un smartphone son comparables a los obtenidos por un método tradicional?	<p>Objetivo general Medir y comparar los resultados de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de Tarapoto obtenidos mediante un Smartphone y un método tradicional.</p>	Las medidas de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de Tarapoto obtenidas por medio de un smartphone son comparables en un 80% a las de un método tradicional.	<p>Variable Independiente: -IRI obtenido por de las mediciones realizadas por el método tradicional.</p>	<p>Variable independiente : Procesamiento del perfil longitudinal con ProVAL Procesamiento de datos por RoadBump</p> <p>Variable Independiente : Análisis de regresión, análisis de dispersión de coeficiente de correlación.</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada</p>
	<p>Objetivos Específicos a) Determinar los factores que influyen en la recolección de datos para la obtención de IRI por medio de la aplicación RoadBump. b) Determinar el IRI en tres tramos del pavimento de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto por medio del método tradicional (mira y nivel). c) Determinar el IRI en los tres tramos por medio de la aplicación de smartphones RoadBump, teniendo en cuenta a los factores de influencia. d) Determinar la mejor condición para la obtención del IRI por medio de la aplicación para smartphone RoadBump. e) Comparar los IRI obtenidas por la mejor condición de recolección de datos con RoadBump y la obtenidas por la mira y el nivel. f) Determinar el IRI del pavimento de la nueva vía de evitamiento de la ciudad de Tarapoto.</p>		<p>Variable Independiente: -IRI obtenido por de las mediciones realizadas por medio de la aplicación para smartphones RoadBump.</p> <p>Variable Independiente: Comparación del IRI obtenido por medio de un smartphone y método tradicional.</p>		<p>Nivel de Investigación: Descriptiva</p> <p>Diseño de investigación: No experimental</p> <p>Población: Pavimentos de la ciudad de Tarapoto de la región San Martín-Perú</p> <p>Muestra 03 tramos de 320 metros de longitud ubicados en la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Tarapoto de la región San Martín- Perú.</p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2**Declaratorio de autenticidad**

Yo, Jose Fernando Pinedo Salas, con DNI N° 74036426, y José Arturo Diaz Yauyo con DNI N° 73230829, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autores de la tesis titulada: **Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional**. Y asesorado por el Ing. M. Sc. Máximo Alcibíades Vilca Cotrina.

Declaramos Bajo juramento que:

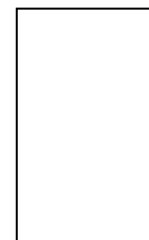
1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido plagiada.
4. Los datos presentados son resultados reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 17 de abril del 2023



Jose Fernando Pinedo Salas
DNI: 74036426



José Arturo Díaz Yauyo
DNI: 73230829

Declaración de autenticidad

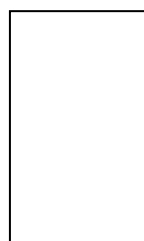
Ing. M.sc Máximo Alcibíades Vilca Cotrina, con DNI N° 16448408, Docente de la Escuela profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, asesor de la tesis titulada: **Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de autoría de mi asesorado.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido plagiada.
4. Los datos presentados son resultados reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 24 de abril del 2023



Asesor
Ing. M. Sc. Máximo Alcibíades Vilca
Cotrina

ANEXO 3



Figura 29. Recolección de datos con mira y nivel Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM). Fuente: Elaboración propia.



Figura 30. Medición del Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) para levantamiento topográfico. Fuente: Elaboración propia.



Figura 31. Recolección de datos con mira y nivel Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM). Fuente: Elaboración propia.

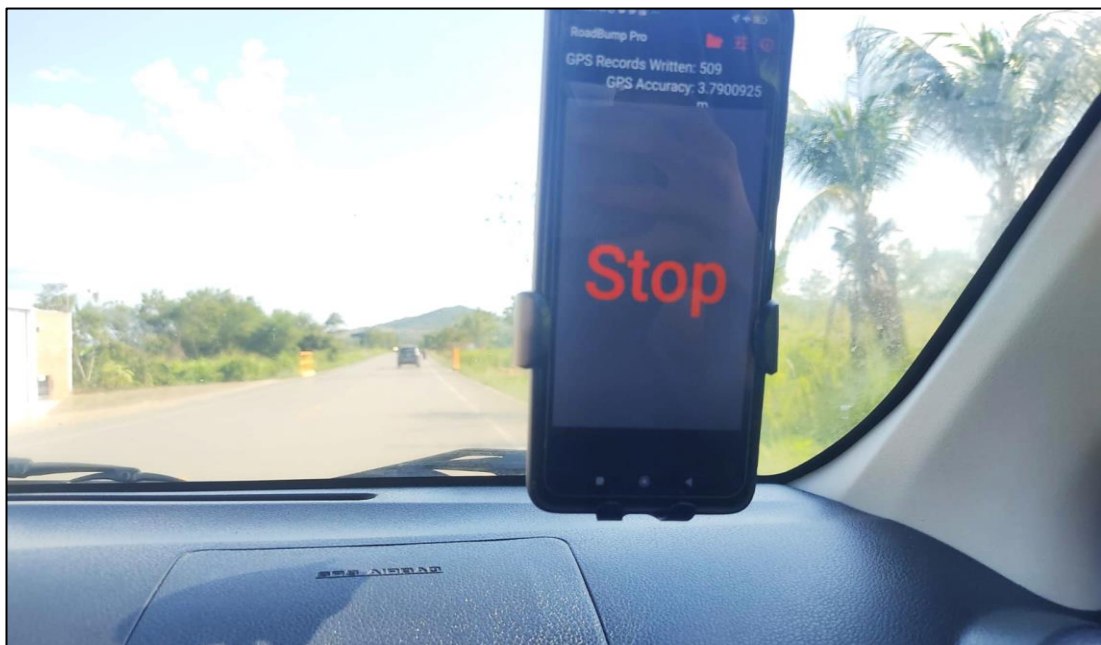


Figura 32. Recolección de datos con RoadBump en camioneta Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM). Fuente: Elaboración propia.



Figura 33. Recolección de datos con mira y nivel Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM). Fuente: Elaboración propia.



Figura 34. Recolección de datos con RoadBump en automóvil Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM). Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4

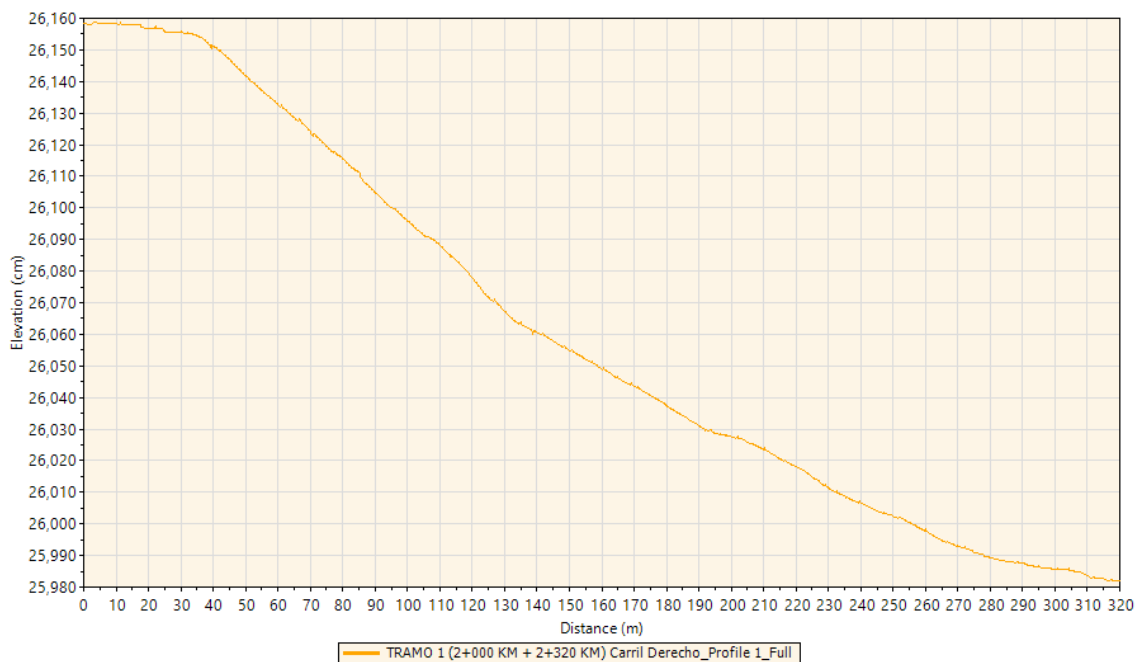


Figura 35. Perfil Longitudinal Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia

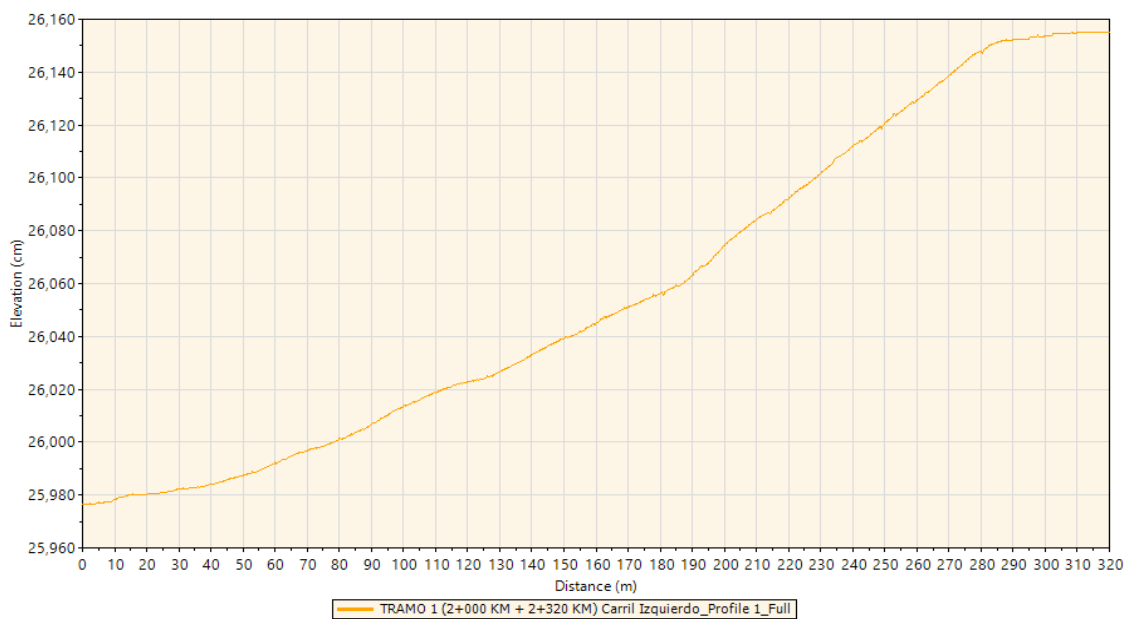


Figura 36. Perfil Longitudinal Tramo 1 (2+000 KM - 2+320 KM) Carril Izquierdo. Fuente: Elaboración propia

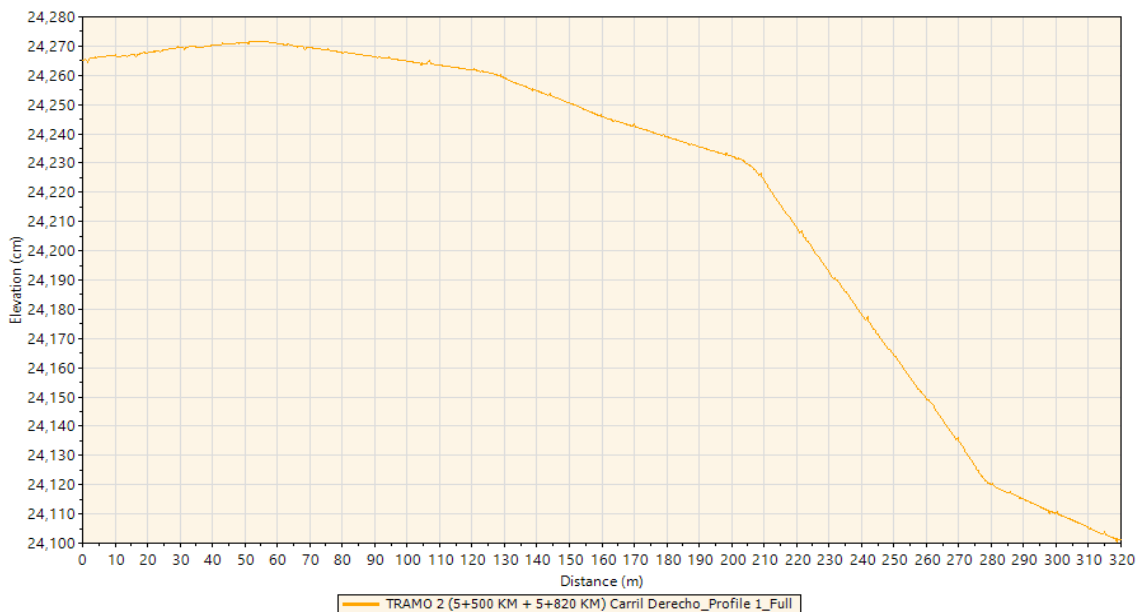


Figura 37. Perfil Longitudinal Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia

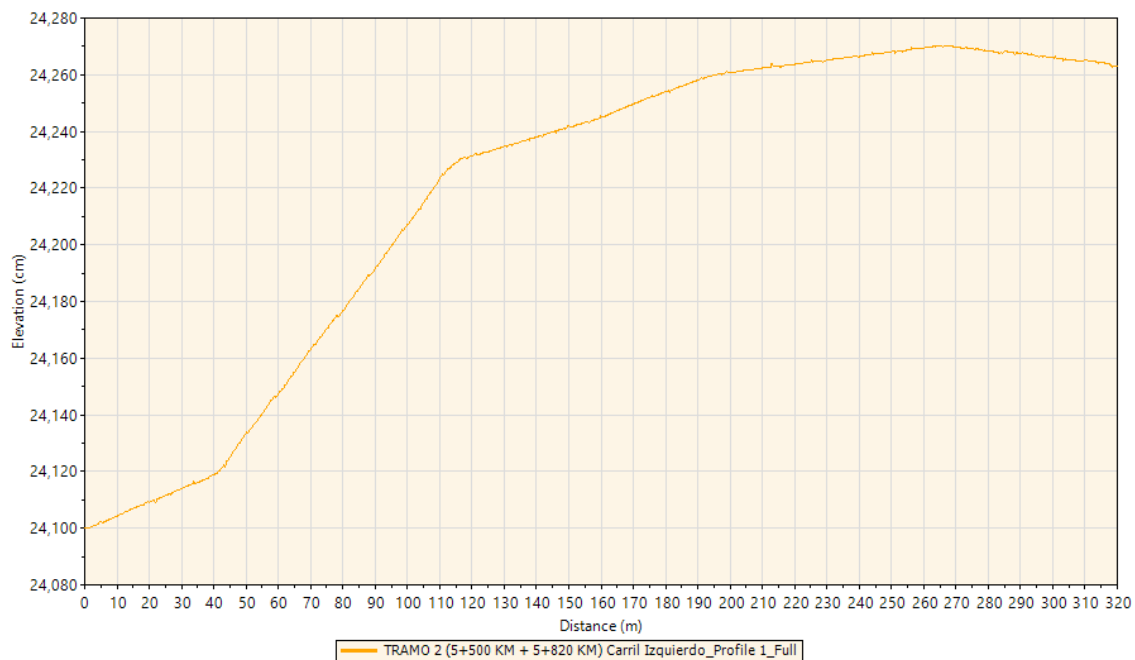


Figura 38. Perfil Longitudinal Tramo 2 (5+500 KM - 5+820 KM) Carril Izquierdo. Fuente: Elaboración propia

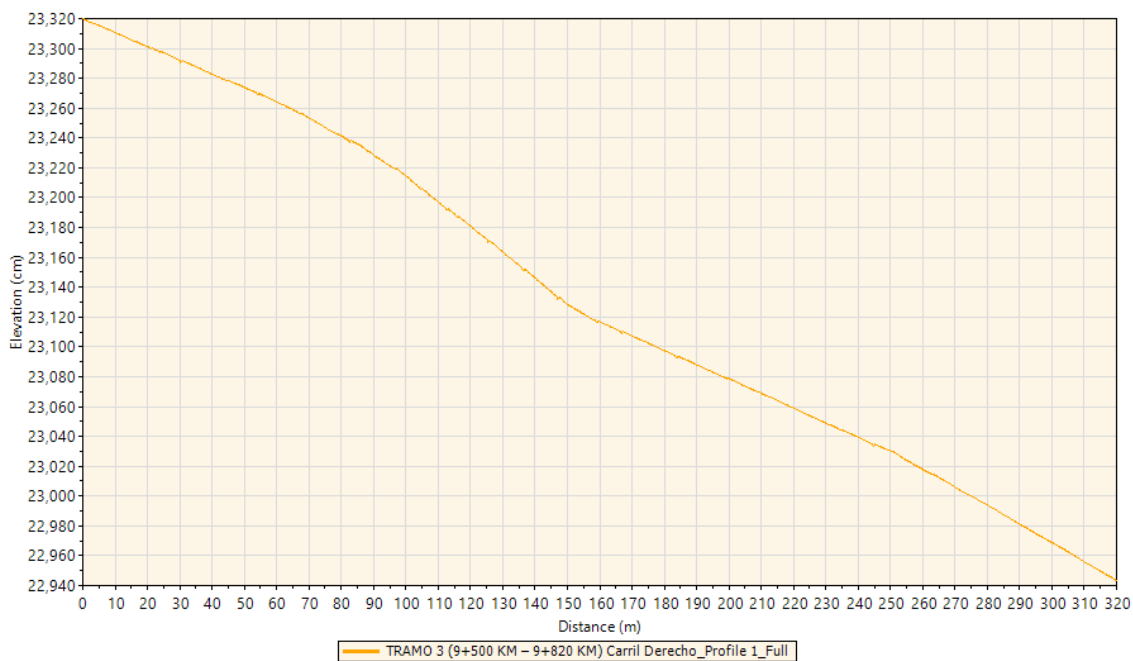


Figura 39. Perfil Longitudinal Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia

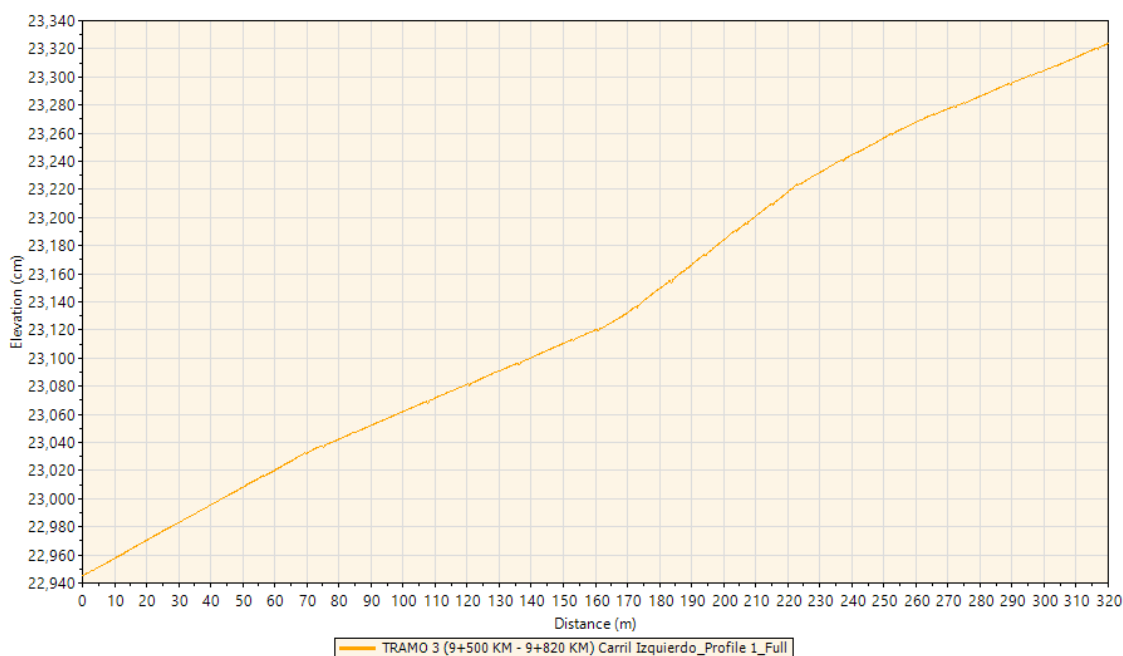


Figura 40. Perfil Longitudinal Tramo 3 (9+500 KM – 9+820 KM) Carril Izquierdo. Fuente: Elaboración propia

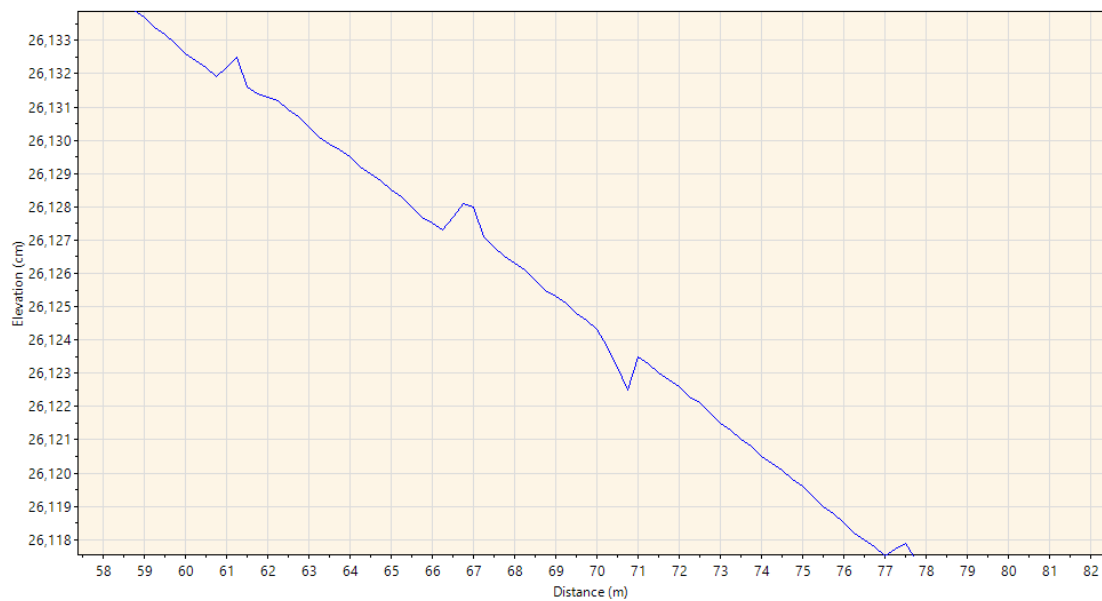


Figura 41. Acercamiento al detalle de perfil longitudinal Tramo 1 (2+000 KM + 2+320 KM) Carril Derecho. Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

Tabla 12

Resultados obtenidos con RoadBump en los tres tramos estudiados

Resultados obtenidos con RoadBump en los tres tramos estudiados.					
Tramo	Vehículo	Presión	Sentido	Velocidad (km/h)	IRI (m/km)
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	3.020
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	3.030
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.060
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.050
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	3.110
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	3.140
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.180
Tramo 1	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.120
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	3.830
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	3.680
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.820
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.750
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	3.830
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	3.690
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.860
Tramo 1	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.870
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	2.170
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	2.090
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.070
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.020
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	2.300
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	2.280
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.410
Tramo 1	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.460
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	2.200
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	2.200
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.330
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.330
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	2.510
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	2.470
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.310
Tramo 1	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.520
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	3.300
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	3.350
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.370
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.400
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	3.270
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	3.330
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.480
Tramo 2	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.470
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	4.000
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	4.170
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	4.190
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	4.170
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	4.250
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	4.280
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	4.040
Tramo 2	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	4.250

Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	2.460
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	2.550
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.400
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.480
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	2.590
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	2.620
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.700
Tramo 2	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.750
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	2.460
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	2.590
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.780
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.770
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	2.760
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	2.860
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.760
Tramo 2	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.770
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	3.340
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	3.360
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.380
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.410
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	3.410
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	3.480
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.510
Tramo 3	Automóvil	27 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	3.520
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	4.150
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	4.180
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	4.150
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	3.980
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	4.140
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	4.210
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	4.180
Tramo 3	Automóvil	31 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	4.210
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	2.480
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	35	2.330
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.540
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.450
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	2.620
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Derecho	45	2.640
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.650
Tramo 3	Camioneta	29 PSI (-3 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.470
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	2.670
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	35	2.650
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.580
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	35	2.550
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	2.590
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Derecho	45	2.690
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.810
Tramo 3	Camioneta	33 PSI (+1 PSI)	Carril Izquierdo	45	2.890

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6

Tabla 13

Resultados obtenidos con RoadBump en la vía de evitamiento – Tarapoto.

Resultados obtenidos con RoadBump en la vía de evitamiento - Tarapoto.					
Odómetro		IRI RoadBump Carril Derecho (m/km)	Estado	IRI RoadBump Carril Izquierdo (m/km)	Estado
Inicio (km)	Fin (km)				
0.000	0.100	3.762	Malo	3.875	Malo
0.100	0.200	2.740	Regular	3.014	Regular
0.200	0.300	3.419	Regular	3.624	Malo
0.300	0.400	3.140	Regular	3.454	Regular
0.400	0.500	3.314	Regular	3.546	Regular
0.500	0.600	2.801	Regular	2.969	Regular
0.600	0.700	2.607	Regular	2.763	Regular
0.700	0.800	2.738	Regular	2.601	Regular
0.800	0.900	3.389	Regular	3.626	Malo
0.900	1.000	3.526	Regular	3.738	Malo
1.000	1.100	3.045	Regular	3.015	Regular
1.100	1.200	2.640	Regular	2.376	Regular
1.200	1.300	3.308	Regular	3.209	Regular
1.300	1.400	3.601	Malo	3.313	Regular
1.400	1.500	3.187	Regular	3.410	Regular
1.500	1.600	3.030	Regular	3.091	Regular
1.600	1.700	3.019	Regular	3.230	Regular
1.700	1.800	2.786	Regular	2.870	Regular
1.800	1.900	2.559	Regular	2.559	Regular
1.900	2.000	3.268	Regular	3.137	Regular
2.000	2.100	2.749	Regular	2.804	Regular
2.100	2.200	2.994	Regular	2.754	Regular
2.200	2.300	2.649	Regular	2.517	Regular
2.300	2.400	2.815	Regular	2.562	Regular
2.400	2.500	2.787	Regular	3.065	Regular
2.500	2.600	2.751	Regular	2.641	Regular
2.600	2.700	3.038	Regular	2.886	Regular
2.700	2.800	3.420	Regular	3.557	Regular
2.800	2.900	3.105	Regular	3.385	Regular
2.900	3.000	3.389	Regular	3.389	Regular
3.000	3.100	2.771	Regular	2.744	Regular
3.100	3.200	2.735	Regular	2.544	Regular
3.200	3.300	3.200	Regular	3.328	Regular
3.300	3.400	3.246	Regular	3.051	Regular
3.400	3.500	2.683	Regular	2.576	Regular
3.500	3.600	2.626	Regular	2.784	Regular
3.600	3.700	2.732	Regular	2.650	Regular
3.700	3.800	2.526	Regular	2.779	Regular
3.800	3.900	2.530	Regular	2.277	Regular
3.900	4.000	2.585	Regular	2.843	Regular
4.000	4.100	2.781	Regular	2.698	Regular
4.100	4.200	3.153	Regular	2.933	Regular
4.200	4.300	3.059	Regular	3.151	Regular
4.300	4.400	3.065	Regular	3.249	Regular
4.400	4.500	2.829	Regular	2.971	Regular
4.500	4.600	3.426	Regular	3.083	Regular

4.600	4.700	2.893	Regular	2.604	Regular
4.700	4.800	3.082	Regular	3.359	Regular
4.800	4.900	2.924	Regular	2.836	Regular
4.900	5.000	2.371	Regular	2.371	Regular
5.000	5.100	2.350	Regular	2.444	Regular
5.100	5.200	2.387	Regular	2.244	Regular
5.200	5.300	3.324	Regular	3.290	Regular
5.300	5.400	3.037	Regular	3.006	Regular
5.400	5.500	3.125	Regular	3.313	Regular
5.500	5.600	3.096	Regular	2.849	Regular
5.600	5.700	3.166	Regular	3.483	Regular
5.700	5.800	2.850	Regular	2.765	Regular
5.800	5.900	2.737	Regular	2.655	Regular
5.900	6.000	2.609	Regular	2.688	Regular
6.000	6.100	2.736	Regular	2.490	Regular
6.100	6.200	2.754	Regular	2.616	Regular
6.200	6.300	2.803	Regular	2.971	Regular
6.300	6.400	2.782	Regular	2.643	Regular
6.400	6.500	3.423	Regular	3.560	Regular
6.500	6.600	3.427	Regular	3.256	Regular
6.600	6.700	3.974	Malo	3.577	Regular
6.700	6.800	2.880	Regular	2.650	Regular
6.800	6.900	2.593	Regular	2.619	Regular
6.900	7.000	3.607	Malo	3.751	Malo
7.000	7.100	3.931	Malo	4.285	Malo
7.100	7.200	3.313	Regular	3.213	Regular
7.200	7.300	2.971	Regular	3.001	Regular
7.300	7.400	2.885	Regular	3.000	Regular
7.400	7.500	3.023	Regular	3.113	Regular
7.500	7.600	2.680	Regular	2.412	Regular
7.600	7.700	2.631	Regular	2.684	Regular
7.700	7.800	3.001	Regular	2.911	Regular
7.800	7.900	2.874	Regular	2.845	Regular
7.900	8.000	3.756	Malo	3.418	Regular
8.000	8.100	3.298	Regular	3.331	Regular
8.100	8.200	3.408	Regular	3.203	Regular
8.200	8.300	2.672	Regular	2.832	Regular
8.300	8.400	2.631	Regular	2.526	Regular
8.400	8.500	2.859	Regular	2.687	Regular
8.500	8.600	3.316	Regular	3.581	Regular
8.600	8.700	2.559	Regular	2.329	Regular
8.700	8.800	3.786	Malo	3.786	Malo
8.800	8.900	4.476	Malo	4.476	Malo
8.900	9.000	5.280	Malo	5.227	Malo
9.000	9.100	3.183	Regular	3.469	Regular
9.100	9.200	3.858	Malo	3.897	Malo
9.200	9.300	3.742	Malo	3.555	Regular
9.300	9.400	2.559	Regular	2.354	Regular
9.400	9.500	2.530	Regular	2.707	Regular
9.500	9.600	3.110	Regular	2.955	Regular
9.600	9.700	3.248	Regular	3.313	Regular
9.700	9.800	3.100	Regular	3.100	Regular
9.800	9.900	2.985	Regular	2.686	Regular
9.900	10.000	2.736	Regular	2.736	Regular
10.000	10.100	3.536	Regular	3.466	Regular
10.100	10.200	4.474	Malo	4.250	Malo

10.200	10.300	3.792	Malo	3.640	Malo
10.300	10.400	3.221	Regular	2.931	Regular
10.400	10.500	2.886	Regular	3.116	Regular
10.500	10.600	2.703	Regular	2.785	Regular
10.600	10.700	3.039	Regular	2.948	Regular
10.700	10.800	3.773	Malo	3.396	Regular
10.800	10.900	3.925	Malo	4.004	Malo
10.900	11.000	3.477	Regular	3.650	Malo
11.000	11.100	3.288	Regular	3.617	Malo
11.100	11.200	3.481	Regular	3.620	Malo
11.200	11.300	3.050	Regular	3.355	Regular
11.300	11.400	3.254	Regular	3.286	Regular
11.400	11.500	3.108	Regular	3.139	Regular
11.500	11.600	3.531	Regular	3.884	Malo
11.600	11.700	3.348	Regular	3.515	Regular
11.700	11.800	3.980	Malo	3.980	Malo
11.800	11.900	3.252	Regular	3.512	Regular
11.900	12.000	3.133	Regular	3.290	Regular
12.000	12.100	3.420	Regular	3.249	Regular
12.100	12.200	3.235	Regular	3.041	Regular
12.200	12.300	2.996	Regular	3.296	Regular
12.300	12.400	3.935	Malo	3.817	Malo
12.400	12.500	3.142	Regular	3.237	Regular
12.500	12.600	3.019	Regular	3.019	Regular
12.600	12.700	3.358	Regular	3.559	Regular
12.700	12.800	4.307	Malo	4.609	Malo
12.800	12.900	4.082	Malo	4.001	Malo
PROMEDIO		3.136	Regular	3.144	Regular

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7

Tabla 14

Resultados obtenidos con RoadBump en la vía de evitamiento – Tarapoto (corregido mediante regresión lineal)

Odómetro		IRI RoadBump Carril Derecho (m/km)	Clasificación	IRI RoadBump Carril Izquierdo (m/km)	Clasificación
Inicio (km)	Fin (km)				
0.000	0.100	3.091	Regular	3.122	Regular
0.100	0.200	2.814	Regular	2.889	Regular
0.200	0.300	2.998	Regular	3.054	Regular
0.300	0.400	2.923	Regular	3.008	Regular
0.400	0.500	2.970	Regular	3.033	Regular
0.500	0.600	2.831	Regular	2.876	Regular
0.600	0.700	2.778	Regular	2.821	Regular
0.700	0.800	2.814	Regular	2.777	Regular
0.800	0.900	2.990	Regular	3.054	Regular
0.900	1.000	3.027	Regular	3.085	Regular
1.000	1.100	2.897	Regular	2.889	Regular
1.100	1.200	2.787	Regular	2.715	Regular
1.200	1.300	2.968	Regular	2.941	Regular
1.300	1.400	3.048	Regular	2.970	Regular
1.400	1.500	2.935	Regular	2.996	Regular
1.500	1.600	2.893	Regular	2.909	Regular
1.600	1.700	2.890	Regular	2.947	Regular
1.700	1.800	2.827	Regular	2.849	Regular
1.800	1.900	2.765	Regular	2.765	Regular
1.900	2.000	2.957	Regular	2.922	Regular
2.000	2.100	2.817	Regular	2.832	Regular
2.100	2.200	2.883	Regular	2.818	Regular
2.200	2.300	2.790	Regular	2.754	Regular
2.300	2.400	2.835	Regular	2.766	Regular
2.400	2.500	2.827	Regular	2.902	Regular
2.500	2.600	2.817	Regular	2.787	Regular
2.600	2.700	2.895	Regular	2.854	Regular
2.700	2.800	2.998	Regular	3.036	Regular
2.800	2.900	2.913	Regular	2.989	Regular
2.900	3.000	2.990	Regular	2.990	Regular
3.000	3.100	2.823	Regular	2.815	Regular
3.100	3.200	2.813	Regular	2.761	Regular
3.200	3.300	2.939	Regular	2.974	Regular
3.300	3.400	2.951	Regular	2.899	Regular
3.400	3.500	2.799	Regular	2.770	Regular
3.500	3.600	2.783	Regular	2.826	Regular
3.600	3.700	2.812	Regular	2.790	Regular
3.700	3.800	2.756	Regular	2.825	Regular
3.800	3.900	2.757	Regular	2.689	Regular
3.900	4.000	2.772	Regular	2.842	Regular
4.000	4.100	2.825	Regular	2.803	Regular
4.100	4.200	2.926	Regular	2.866	Regular
4.200	4.300	2.901	Regular	2.926	Regular
4.300	4.400	2.902	Regular	2.952	Regular
4.400	4.500	2.838	Regular	2.877	Regular
4.500	4.600	3.000	Regular	2.907	Regular
4.600	4.700	2.856	Regular	2.777	Regular

4.700	4.800	2.907	Regular	2.982	Regular
4.800	4.900	2.864	Regular	2.840	Regular
4.900	5.000	2.714	Regular	2.714	Regular
5.000	5.100	2.709	Regular	2.734	Regular
5.100	5.200	2.719	Regular	2.680	Regular
5.200	5.300	2.972	Regular	2.963	Regular
5.300	5.400	2.895	Regular	2.886	Regular
5.400	5.500	2.919	Regular	2.970	Regular
5.500	5.600	2.911	Regular	2.844	Regular
5.600	5.700	2.930	Regular	3.016	Regular
5.700	5.800	2.844	Regular	2.821	Regular
5.800	5.900	2.813	Regular	2.791	Regular
5.900	6.000	2.779	Regular	2.800	Regular
6.000	6.100	2.813	Regular	2.746	Regular
6.100	6.200	2.818	Regular	2.781	Regular
6.200	6.300	2.831	Regular	2.877	Regular
6.300	6.400	2.826	Regular	2.788	Regular
6.400	6.500	2.999	Regular	3.037	Regular
6.500	6.600	3.001	Regular	2.954	Regular
6.600	6.700	3.149	Regular	3.041	Regular
6.700	6.800	2.852	Regular	2.790	Regular
6.800	6.900	2.774	Regular	2.781	Regular
6.900	7.000	3.049	Regular	3.088	Regular
7.000	7.100	3.137	Regular	3.233	Regular
7.100	7.200	2.969	Regular	2.943	Regular
7.200	7.300	2.877	Regular	2.885	Regular
7.300	7.400	2.853	Regular	2.885	Regular
7.400	7.500	2.891	Regular	2.915	Regular
7.500	7.600	2.798	Regular	2.725	Regular
7.600	7.700	2.785	Regular	2.799	Regular
7.700	7.800	2.885	Regular	2.861	Regular
7.800	7.900	2.850	Regular	2.843	Regular
7.900	8.000	3.090	Regular	2.998	Regular
8.000	8.100	2.966	Regular	2.975	Regular
8.100	8.200	2.995	Regular	2.940	Regular
8.200	8.300	2.796	Regular	2.839	Regular
8.300	8.400	2.785	Regular	2.756	Regular
8.400	8.500	2.846	Regular	2.800	Regular
8.500	8.600	2.970	Regular	3.042	Regular
8.600	8.700	2.765	Regular	2.703	Regular
8.700	8.800	3.098	Regular	3.098	Regular
8.800	8.900	3.285	Regular	3.285	Regular
8.900	9.000	3.503	Regular	3.488	Regular
9.000	9.100	2.934	Regular	3.012	Regular
9.100	9.200	3.117	Regular	3.128	Regular
9.200	9.300	3.086	Regular	3.035	Regular
9.300	9.400	2.765	Regular	2.710	Regular
9.400	9.500	2.757	Regular	2.805	Regular
9.500	9.600	2.915	Regular	2.872	Regular
9.600	9.700	2.952	Regular	2.970	Regular
9.700	9.800	2.912	Regular	2.912	Regular
9.800	9.900	2.881	Regular	2.800	Regular
9.900	10.000	2.813	Regular	2.813	Regular
10.000	10.100	3.030	Regular	3.011	Regular
10.100	10.200	3.284	Regular	3.224	Regular
10.200	10.300	3.099	Regular	3.058	Regular

10.300	10.400	2.945	Regular	2.866	Regular
10.400	10.500	2.854	Regular	2.916	Regular
10.500	10.600	2.804	Regular	2.826	Regular
10.600	10.700	2.895	Regular	2.871	Regular
10.700	10.800	3.094	Regular	2.992	Regular
10.800	10.900	3.136	Regular	3.157	Regular
10.900	11.000	3.014	Regular	3.061	Regular
11.000	11.100	2.963	Regular	3.052	Regular
11.100	11.200	3.015	Regular	3.053	Regular
11.200	11.300	2.898	Regular	2.981	Regular
11.300	11.400	2.953	Regular	2.962	Regular
11.400	11.500	2.914	Regular	2.922	Regular
11.500	11.600	3.029	Regular	3.124	Regular
11.600	11.700	2.979	Regular	3.024	Regular
11.700	11.800	3.150	Regular	3.150	Regular
11.800	11.900	2.953	Regular	3.024	Regular
11.900	12.000	2.921	Regular	2.963	Regular
12.000	12.100	2.998	Regular	2.952	Regular
12.100	12.200	2.948	Regular	2.896	Regular
12.200	12.300	2.884	Regular	2.965	Regular
12.300	12.400	3.138	Regular	3.106	Regular
12.400	12.500	2.923	Regular	2.949	Regular
12.500	12.600	2.890	Regular	2.890	Regular
12.600	12.700	2.982	Regular	3.036	Regular
12.700	12.800	3.239	Regular	3.321	Regular
12.800	12.900	3.178	Regular	3.156	Regular
PROMEDIO		2.922	Regular	2.924	Regular

Fuente: Elaboración propia.

Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional

por Jose Fernando Pinedo Salas José Arturo Díaz Yauyo

Fecha de entrega: 02-jun-2023 10:03a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2107535375

Nombre del archivo: G._CIVIL_-_Jose_Fernando_Pinedo_Salas_Jos_Arturo_D_az_Yauyo.docx (7.48M)

Total de palabras: 20024

Total de caracteres: 105807

Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Tarapoto: mediante Smartphone y un método tradicional

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%