



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

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



“ANALISIS COMPARATIVO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO DE LA AV. LA CULTURA DE LA CIUDAD DEL CUSCO MEDIANTE EL APLICATIVO PARA SMARTPHONE ROADROID, RUGOSIMETRO ELECTRONICO BUMP INTEGRATOR B1-100A Y RUGOSIMETRO DE MERLIN”

PRESENTADO POR:

Bach. Anderson Jhussety Lloclla Huaychao

Bach. Kevin Kenyo Sánchez Hurtado

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**ASESOR: Mgt. Ing. Civil Jean Fernando Pérez
Montesinos**

CUSCO – PERU

2019



DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen Reyna De Estrella, por haber permitido concretar mis metas y darnos fuerza para continuar en este camino y lograr mi objetivo, por mostrarme su amor incondicional en mi vida.

A mis padres, Carlos Hernan Lloclla Gamarra y Lucha Huaychao Condori por su amor, apoyo y ánimos en todo momento. Por el entusiasmo e ímpetu que nos ayudó a concluir los objetivos trazados en este largo camino.

A mi familia, por estar siempre motivándome para ser un mejor estudiante, por sus consejos y el cariño brindado desde que tengo memoria.

A mis amigos, por estar siempre apoyándome en estos momentos importantes, por su cariño sincero y ayuda cuando los necesite.

Para todos ellos es esta dedicatoria de tesis, pues les debo su apoyo incondicional, ánimo y palabras de aliento en todo este proceso de formación profesional.

Anderson



DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de Guadalupe, por haber permitido concretar mis metas y darnos fuerza para continuar en este camino y lograr mi objetivo, por mostrarme su amor incondicional en mi vida.

A mi madre, Julia Hurtado Vargas, por su amor, apoyo y ánimos en todo momento. Por el entusiasmo e ímpetu que me ayudó a concluir los objetivos trazados en este largo camino.

A mi familia, por estar siempre motivándome para ser un mejor estudiante, por sus consejos y el cariño brindado desde que tengo memoria.

A mis amigos, por estar siempre apoyándome en estos momentos importantes, por su cariño sincero y ayuda cuando los necesite.

Para todos ellos es esta dedicatoria de tesis, pues les debo su apoyo incondicional, ánimo y palabras de aliento en todo este proceso de formación profesional.

Kevin



AGRADECIMIENTO

A DIOS, por darnos la fuerza y bendición de poder estar culminando una parte de nuestro camino para cumplir con nuestras metas trazadas.

A NUESTROS PADRES Y FAMILIARES, por guiarnos por el camino correcto, por brindarnos todo su amor, apoyo incondicional, sustento y confianza en cada paso y decisión tomada en nuestras vidas.

A NUESTRO ASESOR DE TESIS Magister Ingeniero civil Jean Fernando Pérez Montesinos por dirigirnos de la forma correcta en nuestro proyecto, por darnos asesorías y consejos de manera constante, quedamos eternamente agradecidos.

AL INGENIERO LARS FORSLÖF, por habernos proporcionado de manera gratuita la aplicación Roadroid.

AL INGENIERO, Ed Gutiérrez Carlotto por habernos apoyado de manera constante dentro de la recolección de datos de nuestra investigación.

A LA DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL CUSCO, por habernos facilitado los equipos de laboratorio Rugosímetro de Merlín y Rugosímetro electrónico Bump Integrator para llevar a cabo los ensayos de nuestra investigación.

A NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS, por su apoyo, buenas vibras y amistad, que de manera desinteresada nos ayudaron durante la realización de nuestro proyecto y a través de toda nuestra vida universitaria.

Anderson y Kevin



RESUMEN

La investigación tiene por nombre “ANALISIS COMPARATIVO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO DE LA AV. LA CULTURA DE LA CIUDAD DEL CUSCO MEDIANTE EL APLICATIVO PARA SMARTPHONE ROADROID, RUGOSIMETRO ELECTRONICO BUMP INTEGRATOR B1-100A Y RUGOSIMETRO DE MERLIN” En la investigación se llevó a cabo la comparación del índice de rugosidad internacional del pavimento de la av. La cultura de la ciudad del Cusco (plaza Limacpampa- paradero control) medidos con los equipos: Rugosímetro de Merlín, Rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100a y aplicativo para Smartphone Roadroid, así mismo se calculó el ratio de serviciabilidad presente (PSR) en la vía estudiada en función al índice de rugosidad internacional. La metodología que contiene la investigación es de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, método hipotético deductivo y diseño no experimental.

Se compararon los resultados proporcionados con la condición observada en campo por los tres equipos en la av. La Cultura de la ciudad del Cusco, tanto para el carril de subida como el de bajada, luego se realizó el procesamiento de datos para obtener resultados y posteriormente analizarlos.

Se determinó que el carril de bajada tiene los IRI medidos de 7.31 m/km, 6.75 m/km y 6.79 m/km mediante rugosímetro de merlín, rugosímetro electrónico Bump Integrator y Roadroid sucesivamente con un promedio de 6.95 m/km y en el carril de subida con los datos de 3.88 m/km , 3.98 m/km y 3.04 m/km teniendo un IRI promedio de 3.63 m/km lo que corrobora que el carril de bajada se encuentra en un estado más deteriorado que el de subida y en ambas vías los valores del índice de rugosidad internacional se encuentran fuera de los límites establecidos dentro de la norma NTP CE 0.10 PAVIMENTOS URBANOS el cual da un valor máximo permitido para el de IRI de 2.5m/km para pavimentos flexibles.

Con el desarrollo de la investigación se determinó que la variación para los resultados del IRI mediante el aplicativo para Smartphone ROADROID, rugosímetro de Merlín y rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a. en los carriles críticos estudiados de la Av. La Cultura tienen un promedio de porcentaje de variación de 18.92%.

Palabras clave: IRI, PSR, ROADROID, Bump Integrator, Rugosímetro de Merlín.

**ABSTRACT**

The investigation is called “COMPARATIVE ANALYSIS OF THE INDIVIDUAL RUGOSITY INDEX OF THE PAVEMENT OF THE AV. THE CULTURE OF THE CITY OF CUSCO THROUGH THE APPLICATION FOR SMARTPHONE ROADROID, ELECTRONIC RUGOSIMETER BUMP INTEGRATOR B1-100A AND RUGOSIMETRO DE MERLIN ”In the investigation the comparison of the international roughness index of the pavement of the av. The culture of the city of Cusco (Limacpampa- whereabouts control square) measured with the equipment: Merlin rugosimeter, Bump Integrator B1-100a electronic rugosimeter and Roadroid Smartphone application, also calculated the ratio of present serviceability (PSR) in the route studied according to the international roughness index. The methodology contained in the research is quantitative approach, descriptive level, hypothetical deductive method and non-experimental design.

The results provided were compared with the condition observed in the field by the three teams in the av. The Culture of the city of Cusco, both for the up and down lanes, then the data processing was performed to obtain results and subsequently analyze them.

It was determined that the descent lane has the measured IRIs of 7.31m/km, 6.75m/km and 6.79m/km by means of merlin rugosimeter, Bump Integrator and Roadroid electronic rugosimeter successively with an average of 6.95 m/km and in the lane of rise with the data of 3.88m/km, 3.98m/km and 3.04m/km having an average IRI of 3.63m/km which corroborates that the descent lane is in a more deteriorated state than the ascent and in both ways the values of the international roughness index are outside the limits established within the NTP CE 0.10 URBAN PAVEMENTS standard which gives a maximum allowed value for the IRI of 2.5m/km for flexible pavements.

With the development of the investigation, it was determined that the variation for the IRI results through the ROADROID Smartphone application, Merlin rugosimeter and Bump Integrator b1-100a electronic rugosimeter. in the critical lanes studied on Av. La Cultura have an average percentage of variation of 18.92%.

Keywords: IRI, PSR, ROADROID, Bump Integrator, Merlin Roughness Meter.



INTRODUCCION

El aumento de la población y un parque automotor cada vez incrementado en la Ciudad del Cusco, generan una situación crítica de congestionamiento vehicular principalmente en horas punta, en las mañanas (7.00 am), medio día (1.00 pm) y en la noche (8.00 pm) esto generado principalmente por los horarios escolares.

Las carreteras continúan siendo el método de transporte más eficaz para cubrir cualquier tipo de demanda, el crecimiento urbano y turístico genera la necesidad y aumento de viajes para la vía de la av. La Cultura en la ciudad del Cusco siendo una de las arterias principales que existe dentro de nuestra ciudad.

Los pavimentos asfálticos son una solución económica y sostenible para la construcción de vías, ya que el tráfico se puede abrir según el avance diario de obra y luego se pueden reciclar permanentemente. Las carreteras se diseñaron para una vida útil de 10 a 20 años. (Lavaud, 2011).

Sin embargo, muchas de ellas están fallando prematuramente con la aparición de agrietamientos, huecos y ahuellamientos, debido, principalmente, a los métodos constructivos y la falta de mantenimiento. Estas fallas prematuras hacen que gasten innecesariamente millones de soles en mantenimiento cada año. El éxito en construir un pavimento de calidad no es solo dado por un buen diseño y preparación de mezcla de asfalto en caliente con buenos materiales, también es una suma importancia una correcta colocación y compactación de la mezcla, lo que finalmente sí nos da la medida de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) inicial. Es muy importante que los ingenieros de diseño, personal que labora en las plantas de Asfalto, Los operadores de máquinas y supervisores de obra, comprendan las variables relevantes durante la construcción de los pavimentos asfálticos que van a incidir en su rendimiento y comodidad de los usuarios. Teniendo como una variable muy importante en la calidad de un pavimento asfáltico la rugosidad superficial, medida actualmente como IRI.

Según (Ignacio Sanchez S. Hernan de Solminihae T., 1989) y estudios reconocidos en los últimos 15 años el IRI que ha obtenido durante la construcción de un pavimento influye en:

- “El IRI y el Índice de Servicio (PSI) durante la vida útil del Pavimento.”
- “El costo de mantenimiento vial, los costos de mantenimiento se reducen considerablemente en los pavimentos con un IRI inicial de 1,2 mt / km.”
- “La vida útil del pavimento, reduciendo el IRI inicial en un 50%, se incrementa la vida útil del pavimento en 27%.”



- “Las vibraciones percibidas por los conductores y pasajeros que pueden afectar la percepción del confort de los usuarios según las condiciones del pavimento.”
- “Los accidentes de tránsito, hay un aumento de accidentes de 1,6 veces más cuando el IRI pasa de 1,56m / km a un rango de 1,61 a 3,20 m / km.”
- “La resistencia al rodamiento de un pavimento. Este se incrementa con respecto a la rugosidad en una proporción de 3 a 6% de acuerdo al incremento por unidad de IRI.”
- “El Consumo de Combustible. Para una operación constante de velocidad, el consumo de combustible aumenta de 0,6 a 2,5% por cada unidad de IRI.”

Para realizar la investigación se contó con los equipos necesarios para la toma de datos los cuales fueron el rugosímetro de Merlín, el rugosímetro electrónico Bump Integrator y el aplicativo para Smartphone Roadroid.

Además, esta investigación está constituida por 5 capítulos:

Capítulo I: Se hace mención al Planteamiento del Problema, el cual contiene la identificación del problema, justificación e importancia de la investigación, limitaciones de la investigación, objetivos, hipótesis y además la definición de variables.

Capítulo II: Está referido al Marco Teórico, en el cual se mencionan los antecedentes de la tesis y las bases teóricas pertinentes que sustenta la investigación.

Capítulo III: Esta referida a la Metodología, la cual consta de la metodología de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, además, de instrumentos, procedimientos de recolección de datos y procedimiento de análisis de datos.

Capítulo IV: Se refiere a los resultados.

Capítulo V: Referido a la discusión.



INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS xi

INDICE DE FIGURAS xiv

1. Capítulo I: Planteamiento del Problema. 1

 1.1. Identificación del Problema..... 1

 1.1.1. Descripción del Problema. 1

 1.2. Justificación e importancia de la Investigación..... 2

 1.2.1. Justificación técnica. 2

 1.2.2. Justificación Social. 2

 1.2.3. Justificación por Viabilidad. 3

 1.2.4. Justificación por Relevancia..... 3

 1.3. Limitaciones de la Investigación. 4

 1.4. Objetivo de la Investigación..... 4

 1.4.1. Objetivo General..... 4

 1.4.2. Objetivos Específicos..... 4

2. Capítulo II: Marco Teórico...... 5

 2.1. Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual. 5

 2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional. 5

 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional. 7

 2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes..... 8

 2.2.1. Regularidad Superficial..... 8

 2.2.2. Ratio de Serviciabilidad Presente (PSR)..... 9

 2.2.3. Sistemas de Medida de la Regularidad Superficial. 10

 2.2.4. Serviciabilidad 11

 2.2.5. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)..... 13

 2.2.6. Métodos de medida del IRI 14

 2.2.7. La Escala IRI 16



2.2.8. Precisión de las medidas 17

2.2.9. Rugosímetro de Merlín 18

2.2.10. Bump Integrator B1-100a..... 19

2.2.11. ROADROID 25

2.2.12. IRI estimado (eIRI) 29

2.2.13. IRI calculado (cIRI) 29

2.3. Hipótesis..... 30

2.3.1. Hipótesis General..... 30

2.3.2. Sub Hipótesis..... 30

2.4. Definición de Variables..... 30

2.4.1. Variable Dependiente..... 30

2.4.2. Variables Independientes. 31

2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables 31

3. Capítulo III: Metodología. 33

3.1. Metodología de la Investigación..... 33

3.1.1. Enfoque de la Investigación. 33

3.1.2. Nivel o alcance de la Investigación. 33

3.1.3. Método de la Investigación. 34

3.2. Diseño de la Investigación. 34

3.2.1. Diseño Metodológico..... 34

3.2.2. Diseño de Ingeniería. 35

3.3. Población y Muestra. 36

3.3.1. Población..... 36

3.3.2. Muestra..... 36

3.3.3. Criterios de inclusión 37

3.4. Instrumentos. 37

3.4.1. Instrumentos de recolección de Datos. 37



3.4.2.	Instrumentos de Ingeniería.....	39
3.5.	Procedimiento de Recolección de Datos.....	40
3.5.1.	Recolección de datos con el rugosímetro de MERLIN	40
3.5.2.	Recolección de datos con el rugosímetro electrónico Bump Integrator ...	45
3.5.3.	Recolección de datos con el software para Smartphone Roadroid.....	55
3.6.	Procedimientos de Análisis de Datos.....	63
3.6.1.	Análisis de datos mediante el rugosímetro de Merlín.....	63
3.6.2.	Análisis de datos mediante el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a	66
3.6.1.	Análisis de datos mediante el software para Smartphone ROADROID ..	71
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS.....	78
5.	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	92



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: PSR (Present Serviceability Rating) 9

Tabla 2: Escala de Calificación de la Serviciabilidad Según AASHO (AASHO 1962). 12

Tabla 3: Estado superficial según la rugosidad. 13

Tabla 4: Estado de la vía según ROADROID. 28

Tabla 5: Formato del rugosímetro de merlín para la toma de datos 38

Tabla 6: Formato de la toma de datos de software roadroid 39

Tabla 7: llenado del formato de campo de rugosímetro de Merlín..... 45

Tabla 8: Datos obtenidos en campo 62

Tabla 9: Agrupación de datos repetidos..... 63

Tabla 10: Conteo de datos agrupados 64

Tabla 11: desviación estándar y el coeficiente de variación de los valores BI. 68

Tabla 12: Comparación datos BI con merlín..... 69

Tabla 13: Comparación entre IRI obtenido con BI y Merlín 70

Tabla 14: datos ROADROID carril de bajada..... 71

Tabla 15: datos ROADROID carril de subida..... 72

Tabla 16: Análisis de datos mediante ROADROID 74

Tabla 17: Análisis de datos mediante ROADROID 75

Tabla 18: Promedio de valores IRI cada 400 metros en el sentido de bajada 76

Tabla 19: Promedio de valores IRI cada 400 metros en el sentido de subida 77

Tabla 20: Bump Integrator B1-100a Iri Promedio Vs Iri Calculado 78

Tabla 21: Rugosímetro de Merlín Iri Promedio Vs Iri Calculado 79

Tabla 22: ROADROID Iri Promedio Vs Iri Calculado..... 80

Tabla 23: Comparación del cIRI para el rugosímetro de Merlín, bump integrator y ROADROID. 81

Tabla 24: IRI promedio carril de bajada 82

Tabla 25: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín. 83

Tabla 26: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín. 84

Tabla 27: IRI carril de bajada..... 86

Tabla 28: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín. 87



Tabla 29: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín. 88

Tabla 30: Calculo del PSR respecto al pIRI..... 90

Tabla 31: valores de PSR 91

Tabla 32: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 103

Tabla 33: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 104

Tabla 34: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 105

Tabla 35: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 106

Tabla 36: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 107

Tabla 37: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 108

Tabla 38: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 109

Tabla 39: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 110

Tabla 40: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 111

Tabla 41: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 112

Tabla 42: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 113

Tabla 43: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 114

Tabla 44: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 115

Tabla 45: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 116

Tabla 46: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 117

Tabla 47: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 118

Tabla 48: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 119

Tabla 49: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 120

Tabla 50: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 121

Tabla 51: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 122

Tabla 52: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 123

Tabla 53: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 124

Tabla 54: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 125

Tabla 55: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 126

Tabla 56: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 127

Tabla 57: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 128

Tabla 58: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 129

Tabla 59: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 130

Tabla 60: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 131

Tabla 61: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI 132



Tabla 62: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	133
Tabla 63: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	134
Tabla 64: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	135
Tabla 65: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	136
Tabla 66: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	137
Tabla 67: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	138
Tabla 68: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	139
Tabla 69: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	140
Tabla 70: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	141
Tabla 71: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	142
Tabla 72: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	143
Tabla 73: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	144
Tabla 74: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	145
Tabla 75: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	146
Tabla 76: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	147
Tabla 77: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	148
Tabla 78: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	149
Tabla 79: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	150
Tabla 80: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	151
Tabla 81: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	152
Tabla 82: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	153
Tabla 83: Datos recolectados con el rugosímetro de Merlín y cálculo del IRI	154



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de Perfilómetro APL 11

Figura 2: Esquema De Un Perfilómetro SDP 11

Figura 3: Escala de rugosidad IRI (m/km) 14

.Figura 4: Escala de valores del índice de rugosidad internacional (IRI) 16

Figura 5: Relación entre los valores del índice de rugosidad internacional y algunas características de circulación. 17

Figura 6: Rugosímetro De Merlín..... 19

Figura 7: Posición del Bump sobre el vehículo 21

Figura 8: Montaje del Bump Integrator 22

Figura 9: Analizador Electrónico de Rugosidad de Pavimentos. 23

Figura 10: Encoder y cable de conexión 24

Figura 11: Rugosímetro y componentes 24

Figura 12: Software para descarga de datos 25

Figura 13: Prototipo del Roadroid 26

Figura 14: Prototipo de Roadroid 27

Figura 15: Uso de la aplicación Roadroid en vías 28

Figura 16: Representación de la vía analizada en Google Maps 29

Figura 17: Formato de la toma de datos del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 39

Figura 18: Recolección de datos con el rugosímetro de Merlín 40

Figura 19: Recolección de datos con el rugosímetro de Merlín 41

Figura 20: Recolección de datos con el rugosímetro de Merlín 41

Figura 21: Toma de datos con rugosímetro de Merlín..... 42

Figura 22: Calibración del rugosímetro de Merlín 42

Figura 23: Señal en la rueda del rugosímetro de Merlín 43

Figura 24: Toma de datos con rugosímetro de Merlín..... 43

Figura 25: toma de datos cada 2 metros..... 44

Figura 26: Rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100^a 46

Figura 27: Camioneta para la instalación del equipo..... 46

Figura 28: Software de descarga..... 47

Figura 29: Perforación e instalación en la camioneta 47

Figura 30: Instalación del rugosímetro electrónico bump integrator..... 48



Figura 31: Instalación del rugosímetro electrónico bump integrator..... 48

Figura 32: Instalación del rugosímetro electrónico bump integrator..... 49

Figura 33: esquema de configuración del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 49

Figura 34: Medición de los 10 metros para el desplazamiento del vehículo 49

Figura 35: Pantalla inicial del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a..... 50

Figura 36: Segunda pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 50

Figura 37: Tercera pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a..... 51

Figura 38: Cuarta pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 51

Figura 39: Mensaje de salida de la pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 51

Figura 40: Esquema de la Configuración Del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 52

Figura 41: toma de datos mediante el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a 53

Figura 42: software de descarga de datos bump integrator b1-100^a..... 54

Figura 43: Guardar los datos del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a..... 54

Figura 44: datos guardados del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a..... 55

Figura 45: Descarga de datos bump integrator b1-100^a..... 55

Figura 46: Vehículo utilizado en la toma de datos 56

Figura 47: Smartphone utilizado en la toma de datos..... 56

Figura 48: aplicación para Smartphone Roadroid versión 2.4.1 57

Figura 49: Inicio de la aplicación Smartphone Roadroid..... 58

Figura 50: Configuración del tipo de vehículo dentro de la aplicación 58

Figura 51: Tipo de vehículo utilizado en la toma de datos 58

Figura 52: Pantalla principal de la aplicación para Smartphone ROADROID 59

Figura 53: Calibración del teléfono para la aplicación 59

Figura 54: Pantalla de inicio de toma de datos..... 60

Figura 55: Subir datos a la página web del programa..... 60

Figura 56: Carga de datos para subir a la pagina web los datos recolectados..... 60

Figura 57: Iniciar sesion en el programa..... 61

Figura 58: Generar datos..... 61

Figura 59: Mapa de la zona medida con Roadroid 62

Figura 60: Histograma de frecuencias 64



Figura 61: Calculo del rango “D” 65

Figura 62: Calculo del factor de corrección 65

Figura 63: Valor “D” corregido 66

Figura 64: Valor del IRI..... 66

Figura 65: Análisis de datos bump integrator b1-100^a..... 67

Figura 66: Análisis de datos bump integrator b1-100^a..... 67

Figura 67: Lecturas BI vs Merlín..... 69

Figura 68: Gráfico de dispersión IRI vs Distancia para el carril de bajada en **m/km** 73

Figura 69: Gráfico de dispersión IRI vs Distancia para el carril de subida en **m/km** 73

Figura 70: Análisis de datos mediante ROADROID..... 74

Figura 71: Ahuellamientos profundos observados en la toma de datos mediante Rugosímetro de Merlín 75

Figura 72: comparación de datos IRI carril de subida 85

Figura 73: comparación de datos IRI carril de bajada 89



1. Capítulo I: Planteamiento del Problema.

1.1. Identificación del Problema.

1.1.1. Descripción del Problema.

Todo tipo de evaluaciones que se realizan en los pavimentos nos brindan información que pueden ser utilizadas tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, así se dará prioridad a las actividades de reparación, restitución y sostenimiento. Así mismo nos permitirá hacer inventarios del estado y reflejar en consecuencia en qué estado se encuentra la red vial, así como también evaluar los costos adicionales que se podría generar en los usuarios por el uso de la carretera. Se tienen dos tipos de evaluaciones; la primera que es la evaluación estructural la cual está vinculada con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos y la segunda que es la evaluación funcional que se relaciona directamente con la percepción que tiene una persona o usuario al momento de usar una determinada vía. Cuando se refiere al tipo de evaluación funcional, la rugosidad de la superficie de rodadura nos da condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de las carreteras. Además, la rugosidad tiene consecuencias en los costos de operación de los vehículos, ya que mucho depende de la magnitud de las irregularidades superficiales: la velocidad de circulación de vehículos puede afectar negativamente, puede aumentar el desgaste en las llantas y el consumo de combustible. Por otro lado, los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento que puede favorecer el deterioro y el consecuente aumento en los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Así mismo la obtención de datos del índice de rugosidad internacional de una vía con equipos de precisión como lo es el rugosímetro de Merlín tiene un costo considerable de operación y requiere de más tiempo de uso a diferencia de nuevos equipos como rugosímetros electrónicos y aplicaciones para Smartphone como el Roadroid que reducirían mucho los costos de operación y tiempo de obtención de resultados.

1.1.1.1. Formulación del problema General.

¿En qué medida los valores del índice de rugosidad internacional varían, para la Av. La Cultura tomadas con el método del rugosímetro electrónico Bump Integrator, rugosímetro de Merlín y aplicativo para smartphone Roadroid?



1.1.1.2. Formulación de los Problemas Específicos.

- a. ¿Cuál es el valor del índice de rugosidad internacional obtenido con el aplicativo para Smartphone Roadroid, rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y rugosímetro de merlín del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco?
- b. ¿Cuáles son los valores para el índice de rugosidad internacional calculado y el índice de rugosidad estimado mediante el aplicativo para Smartphone, rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y rugosímetro de merlín para la Av. La Cultura?
- c. ¿Cuál es el ratio de serviciabilidad presente (PSR) del pavimento de la av. La cultura en la ciudad del Cusco?
- d. ¿Existe semejanza entre los valores obtenidos mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid y los métodos rugosímetro de merlín y rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a en Av. La Cultura de la ciudad del Cusco?

1.2. Justificación e importancia de la Investigación.

1.2.1. Justificación técnica.

La presente investigación está enmarcada en el contexto de la Ingeniería Civil de la especialidad de Transportes, buscando plantear soluciones técnicas a las interrogantes del problema de conservación y mantenimiento de vías, además de las causas que los generan, realizando análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), y el Ratio de Serviciabilidad Presente (PSR) de la Av. La Cultura, utilizando equipos como el rugosímetro de Merlín, rugosímetro electrónico Bump Integrator y aplicación para teléfonos inteligentes Roadroid expresando que con un valor IRI menor a 2.5m/km se tendrá:

- Incremento en la vida útil del pavimento.
- Minimización las vibraciones percibidas dentro del vehículo sin afectar la percepción del confort en los usuarios según la condición del pavimento.
- Disminuir la resistencia al rodamiento de un pavimento.
- Reducir el consumo de combustible en los vehículos.

1.2.2. Justificación Social.

En cuanto la presente investigación esté disponible en los servicios académicos de la Universidad Andina del Cusco, los primeros beneficiados serán los estudiantes y



docentes de Ingeniería Civil; porque tendrán a disposición la investigación para consultar y contrastar la información y los datos obtenidos.

La relevancia del tema de investigación radica en que esta vía es bastante concurrida, por tener zonas comerciales, ser una vía arterial de la ciudad del Cusco, y en determinadas horas del día se tiene un gran congestionamiento vehicular.

Además, se dará a conocer el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que ofrece la Av. La Cultura en función de las normativas que se utilizara en la investigación.

1.2.3. Justificación por Viabilidad.

Para realizar nuestra investigación se tiene el tiempo suficiente hasta su culminación, de igual manera se tiene los medios económicos necesarios, también se cuenta con todos los equipos y herramientas que serán indispensables en nuestra investigación, asimismo se cuenta con la Norma técnica peruana CE.010 para la validación de todos los datos obtenidos mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid, rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y rugosímetro de merlín.

1.2.4. Justificación por Relevancia.

En la actualidad tenemos mucho desconocimiento sobre este tema a pesar de que la rugosidad superficial es aceptada en las normas peruanas, las entidades estatales de transporte, los consultores privados e incluso los profesionales de obra ignoran del estudio de la rugosidad superficial como un indicador de la calidad del pavimento y además con este indicador se puede medir con exactitud de qué manera afecta a los conductores y de igual manera los gastos de operación ocasionados en los vehículos.

Los profesionales responsables del mantenimiento y construcción de carreteras poseerán un instrumento a la hora de saber el estado de una carretera, ya que al usar la aplicación Roadroid, conocer el estado de las mismas será más práctico, económico y sobre todo rápido.

Mediante la investigación realizada se determinó el estado actual en el que se encuentra nuestra vía principal de la ciudad del cusco con respecto al índice de rugosidad y ratio de serviciabilidad siendo de gran importancia los datos recolectados para futuros mantenimientos que se requieren en la vía.



1.3. Limitaciones de la Investigación.

La investigación se llevó a cabo en la Av. La Cultura de la Ciudad del Cusco con un aproximado de 9.8 km desde la plazoleta Rimacpampa Grande hasta inmediaciones del paradero Control San Jerónimo para un carril de bajada y para un carril de subida siendo en total una longitud de 19.21 km.

La avenida de la Cultura es una de las principales avenidas de la ciudad de Cusco. Se extiende de oeste a este en los distritos de Cusco, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.

Datos de la ruta: posee un ancho de calzada entre 15-25 metros lineales.

Distritos que une: Cusco, Wanchaq, San Sebastián, San Jerónimo.

Orientación: plaza Rimacpampa (oeste), intercambio vial angostura (este).

Para llevar a cabo la medición del índice de rugosidad internacional se hizo el uso de tres equipos que son rugosímetro de Merlín, rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y la aplicación para Smartphone Roadroid.

En la investigación se hizo el estudio del carril exterior en el sentido de bajada (plaza Rimacpampa – paradero control) y el carril interior en el sentido de subida (paradero control – plaza Rimacpampa) ya que estos carriles son los que mediante observación se determinó que son los más críticos a lo largo de ambos sentidos de vía.

1.4. Objetivo de la Investigación.

1.4.1. Objetivo General.

Realizar la medición del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La cultura mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid, rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y rugosímetro de Merlín.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- a. Comparar los valores obtenidos mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid, rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y rugosímetro de merlín para el índice de rugosidad internacional con los parámetros que plantea la norma técnica peruana CE.010 de pavimentos urbanos para rugosidad.
- b. Comparar los valores para el índice de rugosidad internacional calculado y estimado



- c. Evaluar el ratio de serviciabilidad presente del pavimento (PSR) de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco.
- d. Verificar la semejanza del aplicativo para Smartphone Roadroid mediante la comparación de los resultados obtenidos del rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a y el rugosímetro de merlín.

2. Capítulo II: Marco Teórico.

2.1. Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual.

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional.

- a. David Vidal Asencio (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, Lima.

En la tesis nos presenta una manera de poder realizar el cálculo del IRI, esto mediante una aplicación que es el Roadroid, una aplicación hecha para teléfonos inteligentes con el cual podemos examinar el estado de las vías. La aplicación se emplea para conocer la condición de las carreteras de la ciudad de Huánuco y sus alrededores, en el cual se van destacando las ventajas de la aplicación y comparando los resultados dados con la condición observada en campo

En la presente tesis se utiliza esta aplicación para determinar la condición de las calzadas de las carreteras de la ciudad de Huánuco y sus alrededores, resaltando sus ventajas y comparando los resultados proporcionados con la condición observada en campo. Se determinó que las calzadas de Huánuco tienen un IRI promedio de 5.96; la carretera “la colectora”, un IRI de 6.6; y la carretera central tramo Huánuco – Tingo María, un IRI de 5.85. Mientras que las calzadas de las carreteras al aeropuerto y a la cueva de las lechuzas tienen un IRI promedio de 1.64 y 1.8 respectivamente.

Asimismo, se halló que el cIRI y el eIRI se parecen y tienen una relación lineal a partir de velocidades mayores o iguales a 67 Km/h. Por último, se vio que el Roadroid nos da valores de eIRI y cIRI parecidos al IRI obtenido utilizando mira y nivel, pero con una precisión mayor.

Por último, se observó que el Roadroid proporciona valores de eIRI y cIRI parecidos al IRI obtenido utilizando mira y nivel, pero con un rendimiento superior.



- b. Deyse Laura Hirpahuanca (2016), **“Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de merlín – 2016”**, Universidad Andina Del Cusco, Cusco.

En esta tesis se realiza el cálculo del porcentaje de similitud que existe entre los resultados de la toma de datos de la rugosidad del pavimento de la carretera Cusco – Urcos; en donde se usa la aplicación Roadroid y también el Rugosímetro de MERLIN, la variedad de los resultados obtenidos, las ventajas de usar la aplicación Roadroid con respecto al Rugosímetro de MERLIN, la serviciabilidad del pavimento, y la comparación de la regularidad superficial de ambos carriles. Estos dos equipos miden la regularidad superficial de pavimentos, pero la aplicación Roadroid se presenta como un instrumento nuevo e innovador en el mercado y el Rugosímetro de MERLIN es un equipo bastante conocido y usado en nuestra Región y según el Banco Mundial se caracteriza por ser uno de los equipos más precisos y recomendado para calibrar otros equipos.

En la tesis se midió la regularidad superficial de la carretera Cusco - Urcos usando la aplicación Roadroid y el Rugosímetro de Merlín llegando a la conclusión de que los resultados obtenidos con la aplicación Roadroid tiene una similitud del 89% con respecto al Rugosímetro de Merlín. Por lo tanto, la aplicación Roadroid es una herramienta que puede ser usada para determinar la regularidad superficial de pavimentos debido a que proporciona datos de la regularidad superficial en forma eficiente, es decir que se pueden estudiar tramos más grandes en poco tiempo y con menos recursos y lo mejor que no necesita tiempo para el procesamiento de datos a comparación del Rugosímetro de MERLIN que es un equipo de bajo rendimiento tanto para la toma de datos como para su procesamiento.

- c. José Demetrio Sologorre Huayta (2005) **“Evaluación de la rugosidad de pavimentos con uso del bump integrator”**, Universidad Nacional De Ingeniería, Lima.

La tesis está dividida en 7 capítulos los cuales constan de:

El primer capítulo está dada por una pequeña introducción en donde se explica de forma resumida los distintos estudios que intervienen en un proyecto de carreteras y la importancia de los datos sobre rugosidad para los estudios de gestión de carreteras; en el segundo y tercer capítulo, encontramos la parte teórica e histórica, así mismo de que es el fundamento de este tipo de estudios, sobre la serviciabilidad



y la rugosidad respectivamente; el cuarto capítulo trata sobre la descripción del Bump Integrator y de todos los componentes del sistema; el quinto y el sexto capítulo trata sobre un tema muy importante, la calibración del sistema con el método de Clase 1, se ha tratado particularmente del uso del equipo Nivel y Mira, porque es un equipo bastante conocido en nuestro medio; el séptimo capítulo corresponde a la aplicación de la metodología expuesta en esta Tesis, se ha tomado como ejemplo de aplicación al estudio de rugosidad de la carretera Casma - Trujillo de 187 Km, por ser un estudio típico para un proyecto de rehabilitación, adicionalmente se exponen temas complementarios tomados del proyecto del Sistema de Gestión de Carreteras

d. Brian Steve Ramírez Castro, “Cálculo del IRI mediante acelerómetro de Smartphone en el tramo Huarney - Casma de la carretera Panamericana Norte”, Pontificia Universidad Católica del Perú, lima.

Esta tesis está centrada en la comparación de los resultados de los valores IRI de un perfilómetro láser y la aplicación para Smartphone Roadroid. La concesionaria a cargo de la Red Vial 4 utiliza anualmente el perfilómetro láser para conocer el estado de la vía nacional y de esta manera tomar acciones de prevención para poder dar a los usuarios un buen nivel de serviciabilidad. Se realizó una medición para el cálculo de la rugosidad de un tramo de la red Vial 4 utilizando el software para Smartphone Roadroid y con la data que se tenía de la concesionaria se llevó a cabo un análisis comparativo entre ambos equipos de medición y se evaluó la eficacia de la aplicación para Smartphone ROADROID.

La zona que se eligió para el estudio fue el tramo de Huarney – Casma. Es una autopista que presenta dos carriles para cada dirección, sur a norte y viceversa. Los resultados obtenidos con el software fueron de 1.2 m/km y 1.3 m/km en cada calzada de la vía y con el perfilómetro láser se obtuvo 1.11 m/km y 1.16 m/km respectivamente. Así mismo se comprobó que al realizar la toma de datos a una mayor velocidad exactamente en un rango de velocidad de 75 a 90 km/h los valores del IRI estimado y del IRI calculado se asemejan.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.

- a. Juan Carlos Onofre Calderón, Julio César Sánchez Pérez, Walter Santiago Viana (2008), “Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos usando el perfilómetro romdas z-250”, Universidad De El Salvador, El Salvador.



La siguiente tesis de investigación denominado “DETERMINACIÓN DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL EN PAVIMENTOS USANDO EL PERFILOMETRO ROMDAS Z-250”, explica sobre el estudio de la regularidad superficial de los pavimentos, principalmente los de concreto asfáltico; además se profundiza en la nivelación, calibración y puesta en marcha del equipo ROMDAS Z-250 para la toma de datos que se necesitaran para la obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual se hallara con el apoyo de programas de análisis de perfiles de rodadura.

Además, el objetivo de la tesis es obtener el índice de rugosidad internacional en pavimentos asfálticos usando el perfilometro Romdas z-250, obteniendo resultados del índice de rugosidad internacional de 2.68 m/km y 1.87 m/km el cual indica un manejo confortable a velocidades incluso mayores a 120 km/h.

La tesis llega a una conclusión de que el Perfilómetro ROMDAS Z-250, es un equipo que permite hacer mediciones de perfil con precisión de 0.1 mm, lo cual lo convierte en un Perfilómetro de clase 1, lo que garantiza obtener valores de IRI bastante precisos.

b. Mohammed Junaid Uddin (2015), “Pavement performance measures using Android based smartphone application” Universidad de Osmania de la India.

El objetivo de la tesis de Maestría es medir la rugosidad del pavimento en la ciudad de Hyderabad, una ciudad de la India, utilizando la tecnología del teléfono inteligente basado en un Android, donde indica que la rugosidad es un importante indicador de la condición del pavimento, los cuales deben ser considerados cuidadosamente al evaluar pavimentos nuevos; puesto que al realizar ensayos con velocidades por debajo de los 20km/h los datos que proporciona el teléfono inteligente basado en un Android ya no son confiables.

Llegando a la conclusión de que la longitud para hallar el IRI promedio debe ser cada 100m, además concluyó que manejar el vehículo a una velocidad constante de 50 km/h es adecuada para la obtención del IRI. Aspectos Teóricos Pertinentes.

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1. Regularidad Superficial

La regularidad es la característica que más influye en las percepciones de confort y seguridad que experimenta un usuario al circular por una vía. Esto afecta de manera importante en los costos de transporte y mantenimiento de la red vial y, además, nos

brinda información del estado de una obra recién terminada y puede usarse como índice de calidad en la recepción de carreteras nuevas. (Vargas, 2011)

Con el objetivo de definir un parámetro universal de medida de la regularidad superficial, que pudiese ser utilizado por los distintos aparatos que existen en la actualidad, se reunió en Brasil un grupo de investigadores de todo el mundo, los cuales definieron el Índice de Regularidad Internacional (IRI International Roughness Index) como unidad de medida de la regularidad superficial de una carretera. (Ignacio Sanchez S. Hernan de Solminihae T., 1989)

2.2.2. Ratio de Serviciabilidad Presente (PSR)

Las pruebas en carreteras que realizó la AASHO de 1962 permitió la creación del Ratio de serviciabilidad Presente, PSR por sus siglas en inglés, Present Serviceability Rating, siendo una percepción del confort al manejar sobre ciertas condiciones de un pavimento.

Tabla 1: PSR (Present Serviceability Rating)

PSR	CONDICION
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Pobre
1-0	Muy Pobre

Fuente: (Lavaud, 2011)

En la actualidad la variable que más representa para determinar el estado de una carretera es la regularidad superficial o llamada también rugosidad superficial.

En algunos países la terminación rugosidad es sinónimo de fricción; mientras que en otros es de regularidad, en el presente trabajo el término rugosidad se refiere a regularidad. La regularidad de un pavimento está determinada por las ondulaciones longitudinales en las huellas de las llantas de un vehículo con respecto a una línea de referencia. El tipo de ondulaciones longitudinales están determinadas por la longitud de onda.



2.2.3. Sistemas de Medida de la Regularidad Superficial.

2.2.3.1. Sistemas de tipo respuesta RTRRMS:

En la actualidad los sistemas que más se utilizan para la medición de la regularidad superficial son los conocidos como de respuesta o RTRRMS (Response Type Road Roughness Measuring System). Estos sistemas cuentan en general de tres partes: un vehículo o remolque en el que se realizan las medidas, un sensor que mide movimientos relativos de la suspensión del vehículo o remolque, y por último se tiene un aparato que sirve para visualizar y almacenar las señales registradas por el sensor y al que se le suele designar como el "Monitor". Al compuesto del sistema que está dado por el sensor y el monitor se la conoce en inglés como el "Road meter" y, en general, se compra por separado del vehículo en el que será utilizado. La medida obtenida por un road meter es, por lo tanto, la respuesta del vehículo al circular por una carretera a una velocidad determinada. Una vez que se realiza la auscultación de un tramo de carretera, el equipo nos brinda un coeficiente que es proporcional a la velocidad vertical relativa media de la suspensión del vehículo en el tramo ensayado. Se tiene entre los equipos más conocidos los siguientes: Mays Meter, Bump Integrator, BPR, ARAN, etc. La ventaja principal de los sistemas de tipo respuesta es la de proporcionar a gran velocidad un coeficiente que depende del estado de uniformidad de la carretera y confort que experimenta un conductor al circular por dicha carretera. Así mismo también se tienen ciertos factores que no benefician el uso de los RTRRMS. Entre estos se incluye:

El que los coeficientes de uniformidad dependerán del tipo de vehículo a utilizarse en los ensayos y de la posición donde se instala el road meter: el que la respuesta dinámica de los vehículos y por tanto los coeficientes de uniformidad dependen mucho de la velocidad a la que circula dicho vehículo, el que las características mecánicas de los vehículos varíen con el tiempo y por lo tanto para obtener resultados que sean consistentes hay que cuidar el mantenimiento y conservación de estos. Sin embargo, los sistemas de tipo respuesta proporcionan un buen coeficiente de medida de la regularidad superficial. (Ignacio Sanchez S. Hernan de Solminihae T., 1989)



- El confort y calidad de rodamiento es un aspecto subjetivo o de opinión del usuario. Esto da origen al índice Rango de Serviciabilidad Presente (PSR), el cual tiene un carácter subjetivo.
- Existen ciertas características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente, como: Regularidad, agrietamiento, baches y ahuellamiento que pueden ser relacionadas con las evaluaciones subjetivas. Este método nos permite obtener un Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).
- La conducta de un pavimento puede ser representado por la historia de la serviciabilidad de dicho pavimento.

El procedimiento de medida de la serviciabilidad que se utiliza en la actualidad en gran parte del mundo fue obtenido precisamente de los resultados de la prueba AASHO, más otras incorporaciones y modificaciones que se han ido agregando en los últimos 30 años. Se definió una escala de 0 a 5. En ella una evaluación de 5 (cinco) significa una superficie perfecta, mientras que una nota 0 (cero) significa intransitable. (Hernan de Solminihac T., 2001)

Tabla 2: Escala de Calificación de la Serviciabilidad Según AASHO (AASHO 1962).

Calificación Numérica	Condición	Descripción
De 0.0 a 1.0	Muy mala	Todos los pavimentos que se hallen en esta categoría son aquellas que están en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.
De 1.0 a 2.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de transito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas. El deterioro incluye perdida de áridos, agrietamiento, ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
De 2.0 a 3.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos pueden incluir fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo.

De 3.0 a 4.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los “Los Muy Buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y figuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
De 4.0 a 5.0	Muy buena	En esta categoría se encuentran solo los pavimentos nuevos o casi nuevos que son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar dentro de esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificaran como muy buenos.

Fuente: (Hernan de Solminihac T., 2001)

2.2.5. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

La rugosidad del pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de sus irregularidades superficiales, con la comodidad de transitar sobre él. No tiene relación con la textura, apariencia o acabado superficial de la capa de rodadura no obstante si con las deformaciones que inciden en su perfil topográfico, como son las ondulaciones, los hundimientos, los ahuellamientos y los baches. Los fisuramientos tienen poca o ninguna incidencia en los resultados de rugosidad

El IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h. Además, es un indicador de la irregularidad superficial del pavimento; representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

Tabla 3: Estado superficial según la rugosidad.

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8.0 < IRI \leq 10.0$
Muy Malo	$5 < IRI$	$10 < IRI$

Fuente: (MTC - Especificaciones Técnicas para la conservación de Carreteras)

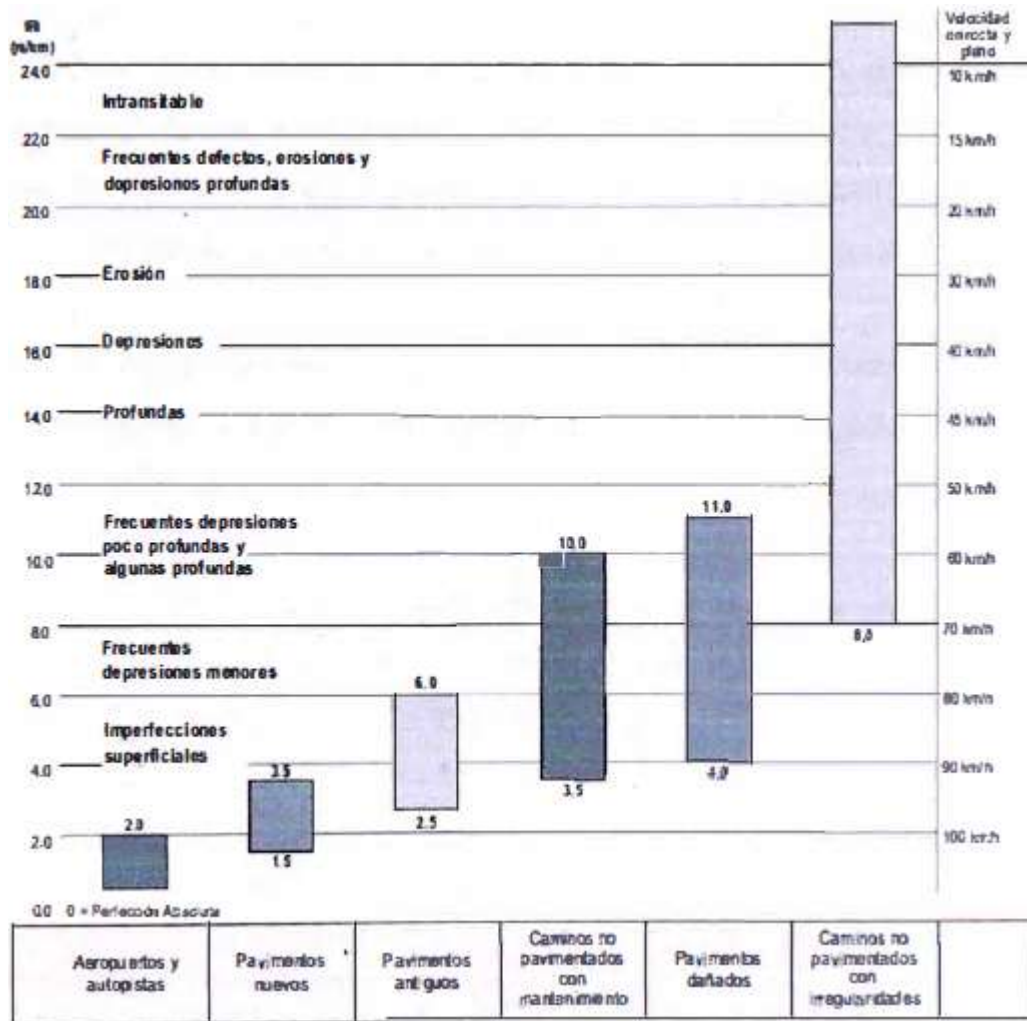


Figura 3: Escala de rugosidad IRI (m/km)

Fuente: (MTC- Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito)

2.2.6. Métodos de medida del IRI

Las variedades de sistemas que hay para realizar las medidas de la regularidad o rugosidad superficial se pueden clasificar en cuatro grupos, dependiendo de cómo la medida afecte al índice de rugosidad internacional (IRI).

2.2.6.1. Perfiles de precisión (Clase 1)

Esta clase representa el grado más alto de exactitud en la medición y cálculo del índice internacional de rugosidad (IRI). Para que algún método pertenezca a esta clase necesita una precisión de perfil longitudinal y que sea definido por medio de una serie de elevaciones en puntos separados por una distancia pequeña. Al día de hoy el método de mira y nivel y los de viga y nivel pertenecen a esta clase. Estos métodos son los apropiados para la convalidación y calibración de otros métodos, pero por su bajo rendimiento comparada con la incertidumbre de la trayectoria recorrida no se sugiere



como apropiados para reconocimientos extensos. (Revista de Ingeniería de Construcción N°6, 1989)

2.2.6.2. Métodos perfilométricos (Clase 2)

Este grupo agrega otros métodos que basan el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) en la medida del perfil longitudinal, pero no tiene la exactitud requerida para ser considerados como clase uno. Esta clase comprende medidas con perfilómetro de alta velocidad y con métodos estáticos que no satisfacen los criterios de precisión y exactitud necesarios para los métodos de clase uno. Al día de hoy solo los perfilómetros tipo APL tiene convalidada su eficiencia en toda la forma de regularidades y longitudes de onda que se requieren por el índice de rugosidad internacional (IRI) para un sistema de clase dos. Los perfilómetros dinámicos incluidos en esta clase son capaces de obtener datos de gran calidad y a altas velocidades sin requerir esfuerzos de calibración y mantenimiento. (Revista de Ingeniería de Construcción N°6, 1989)

2.2.6.3. Estimaciones del índice de rugosidad internacional (IRI) mediante correlaciones (Clase 3).

La mayoría de las medidas de la rugosidad superficial que se toman en la actualidad, se obtiene con sistemas tipo respuesta (RTRRMS). Las medidas obtenidas con los aparatos de este tipo dependen de las características dinámicas del vehículo que se utiliza y es necesario transformar las medidas obtenidas por estos sistemas para poder tener coeficientes comparables con el índice de rugosidad internacional. Así los primeros datos obtenidos deben ser convertidos mediante ecuaciones de correlación que se consiguen calibrando experimentalmente cada uno de los aparatos con alguno de los sistemas de las clases uno o dos, las características mecánicas de los vehículos varían mucho y es necesario mantener controles muy rigurosos tanto en el uso del vehículo como en su mantenimiento. (Revista de Ingeniería de Construcción N°6, 1989).

2.2.6.4. Valores subjetivos y medidas sin calibrar (Clase 4).

Las ocasiones en los que por condicionamiento económicos o de distinto tipo solo se necesita conocer aproximadamente el estado de la uniformidad superficial de una vía y es deseable relacionar la medida de la rugosidad superficial a la escala del índice de rugosidad internacional (IRI) se puede utilizar un aparato tipo respuesta sin calibrar para estimar el estado de la vía o bien se puede dar valor a este mediante las sensaciones de

confort y seguridad que experimenta un usuario de la superficie de rodadura al circular por esta. Las Conversiones de estas observaciones a la escala del índice de rugosidad internacional (IRI) se limita a una equivalencia aproximada que se asocia a unas descripciones estándar del estado de la vía en función del índice de rugosidad internacional (IRI) y estas se consideran de clase cuatro. (Revista de Ingenieria de Construccion N°6, 1989)

2.2.7. La Escala IRI

En la siguiente figura se muestra el rango de la escala del índice de rugosidad internacional para un camino pavimentado de 0 a 12 m/km, donde el valor de 0 es una superficie perfectamente uniforme y un valor 12 es un camino intransitable.

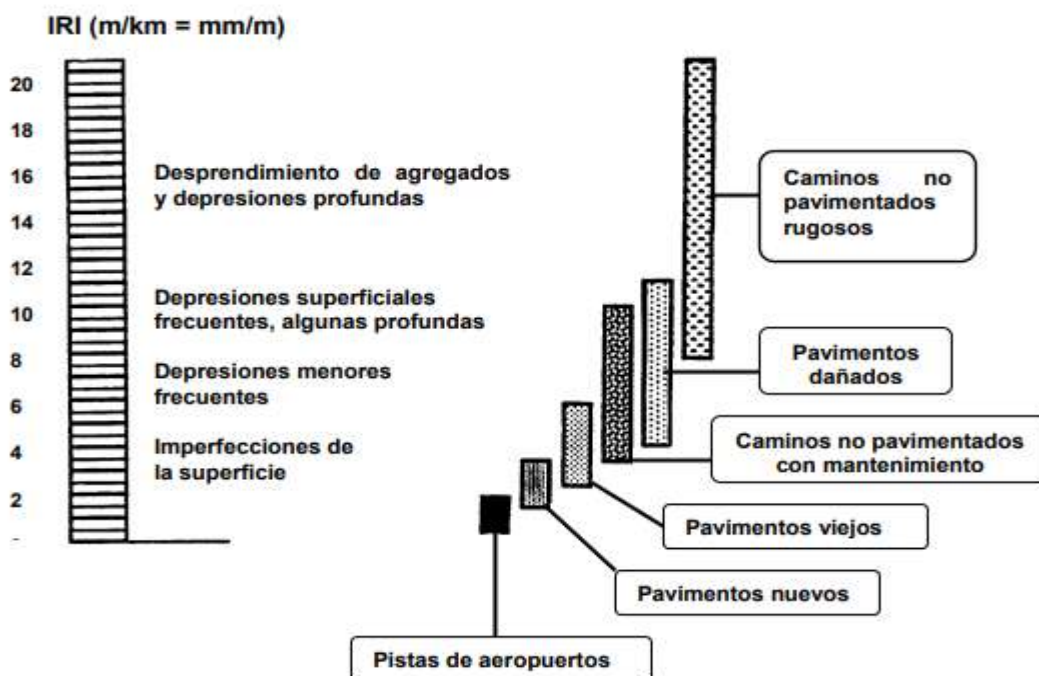


Figura 4: Escala de valores del índice de rugosidad internacional (IRI)

Fuente: (Revista de Ingenieria de Construccion N°6, 1989)

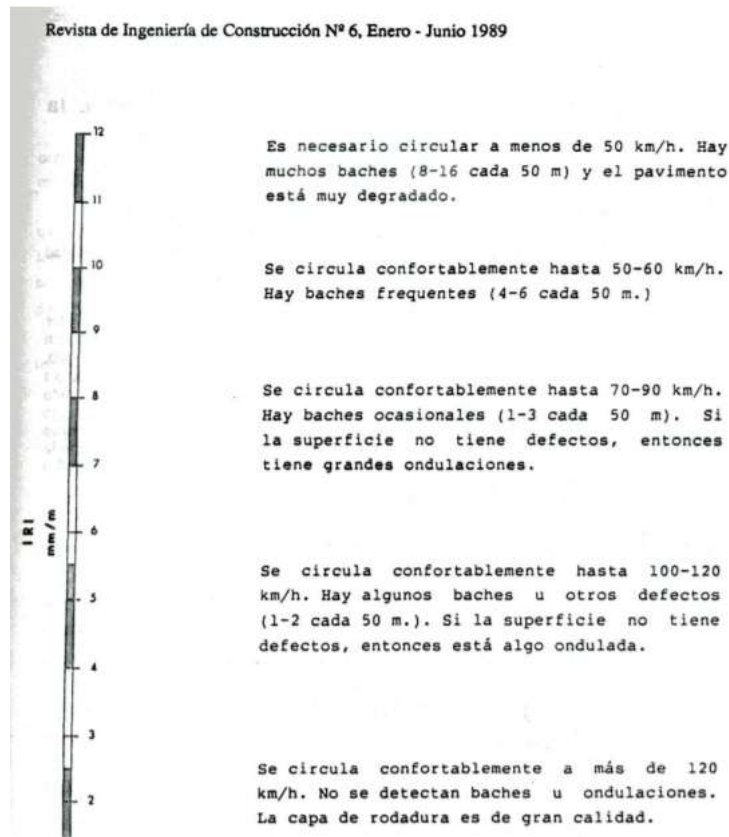


Figura 5: Relación entre los valores del índice de rugosidad internacional y algunas características de circulación.

Fuente: (*Revista de Ingeniería de Construcción N°6, 1989*)

2.2.8. Precisión de las medidas

La exactitud que se exige para determinar el índice de rugosidad internacional (IRI) depende de la regularidad superficial. Así, por ejemplo, los métodos perfilométricos en los que el cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) depende fundamentalmente de la precisión de las medidas del perfil longitudinal y del espaciamiento entre las medidas, se requiere que la precisión de las medidas de desnivel cumpla con las siguientes condiciones:

Clase uno, precisión (mm) < 0.25 (m/km)

Clase dos, precisión (mm) \leq 0.50 (m/km)

El intervalo de medida no deberá ser superior a 25 mm para las medidas de clase uno y a 50 mm de clase dos. La precisión requerida depende de la rugosidad superficial, aunque esta no se conocerá hasta que se determine el perfil longitudinal de la vía, con la experiencia se facilita la determinación de condiciones donde la precisión podría ser menor. Estas condicionantes son necesarias para los componentes del perfil con



longitudes de onda comprendía entre 1 y 30m y no son necesarias para otras bandas de longitudes de onda.

2.2.9. Rugosímetro de Merlín

El rugosímetro de Merlín es un instrumento fácil de usar y económico, pensado especialmente para su uso con vías en desarrollo. Fue introducido al Perú en el año de 1993. De acuerdo con la clasificación del banco mundial de los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en cuatro clases.

El método de medición que usa el rugosímetro de Merlín por haber sido una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, se califica como un método de clase uno. La correlación de los resultados obtenidos con el rugosímetro de Merlín con la escala del índice de rugosidad internacional (IRI), tiene un coeficiente de determinación muy similar a la unidad ($R^2=0.98$) y por su gran exactitud solo puede ser superado por el método topográfico o algunos equipos tipo respuesta como el Bump Integrator, Mays meter, etc. Es recomendado para la calibración de sus rugosímetros.

El rugosímetro de Melin tiene un diseño simple, consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal para facilitar la operación y el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que en la parte de atrás tiene dos soportes inclinados, uno a lado derecho para apoyar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro a lado izquierdo para descansar el equipo, el elemento horizontal se proyecta hacia atrás con dos manijas que permiten levantar y desplazar el equipo rodando sobre la rueda delantera asemejándose a una carretilla.

Aproximadamente en el centro del elemento horizontal se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega hasta el piso y en su extremo inferior pivotea un brazo móvil, este extremo inferior está en contacto con el suelo mediante un patín empernado y ajustable que se adecua a las irregularidades de la superficie y el extremo superior termina en un puntero que se desliza sobre el borde de un tablero que indica la posición que opta el extremo inferior al entrar en contacto con la superficie. La relación de los brazos entre los segmentos del extremo inferior y el pivote es de 1 a 10, haciendo que un movimiento vertical de 1mm en el extremo inferior produzca un desplazamiento de 1cm en el puntero. Para hacer registro de estos datos se utiliza una escala grafica con 50 espaciamientos de 5mm de espesor cada una que va al borde del tablero sobre el cual se deslizará el puntero. (Cundill, 1990)



Figura 6: Rugosímetro De Merlín.

Fuente: PIZUAR

Incluye:

- Rueda de neumático.
- Estabilizadores laterales.
- Patines ajustables en altura.
- Formato hoja de datos.

Especificaciones Técnicas:

- Distancia entre puntos de apoyo fijos: 1 800 mm
- Distancia entre apoyo móvil y apoyos fijos: 900 mm
- Relación de palanca: 1:10 y 1:5
- Diámetro de rueda: 630 mm
- Longitud de brazo móvil: 1 000 mm

2.2.10. Bump Integrator B1-100a

El Rugosímetro Bump Integrator, es un equipo de medición de Rugosidad Clase III (Tipo Respuesta), la rugosidad del pavimento es un valor importante para el control y supervisión del estado de las carreteras y se mide generalmente con esta clase de equipos, que van montados o remolcados en un vehículo.

El Bump Integrator es un instrumento que fue desarrollado por el Transport Research Laboratory (TRL) que se coloca sobre el eje y cuerpo de un vehículo y produce lecturas que son proporcionales al movimiento que tiene la suspensión. El equipo consta de un cuerpo transductor que ira colocado sobre un vehículo que tiene una polea sobre el eje y



se ajusta para mantener tensión en un cable que conecta al cuerpo con el eje del vehículo, teniéndose que la polea girara proporcionalmente al movimiento de la suspensión del vehículo. Un dispositivo mecánico en el interior del instrumento es usado para transmitir la rotación solo en una dirección.

Cuando el movimiento acumulado alcanza los 25.4mm o una pulgada, un pulso se envía a un contador electrónico que corresponde a cada pulgada una cuenta de desviación en una dirección.

En la práctica en transductor tiene limitaciones debido a sus propiedades mecánicas, en ocurrencia de vibraciones muy pequeñas esta no produce ninguna respuesta.

Los sistemas tipo respuesta para la medida de rugosidad de vías (RTRRMS) graban desplazamientos acumulados en un eje relativo al cuerpo del vehículo inducido por las imperfecciones del camino.

Un sistema adecuado consiste en un vehículo con un estable eje trasero acondicionado con:

- Una unidad Bum Integrator capaz de acumular el movimiento del eje trasero cuando se desplace a lo largo de la vía.
- Una unidad que registre las cuentas en unidades de medida.
- Un odómetro para registrar la distancia recorrida.

La calibración de estos equipos tipo respuesta RTRRMS puede realizarse de distintas maneras.

Los medios recomendados para el Bum Integrator son usando el equipo de mira y nivel o el rugosímetro de Merlín.

2.2.10.1. El vehículo

Puede hacerse uso de tres tipos de vehículo junto con un Bump Integrator:

- Un vehículo de pasajeros o camión ligero con un eje trasero sólido, recomendándose vehículos con tracción en el eje trasero porque la masa del eje coincide con la norma más estrechamente.
- Un remolque con ruedas que tenga un eje sólido.
- Un remolque de una sola rueda, donde el ajuste del enganche sea adecuado para sostener al remolque durante el uso.

2.2.10.2. Instalación del equipo Bump Integrator

El equipo Bum Integrator debe colocarse sobre la línea del centro del vehículo y del eje trasero, conectándose mediante un cable de acero atravesando cuidadosamente por un agujero de manera rígida.

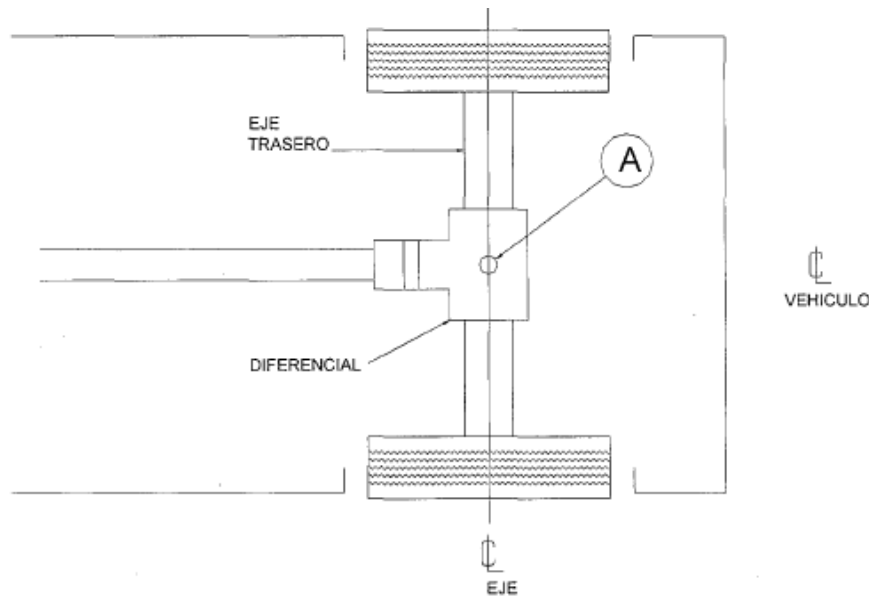


Figura 7: Posición del Bump sobre el vehículo

Fuente: (Sologorre J., 2005)

El posicionamiento del agujero en el suelo del vehículo es muy importante ya que el gancho del cable y la polea tienen que estar alineados verticalmente.

Es importante que el cable, cuando ya esté conectado no tenga contacto con el borde del agujero ya que si ocurriera esto distorsionaría los datos y el cable fallaría. Una vez instalado el bum Integrator se ancla el cable de hacer al eje trasero del vehículo.

Todo debe estar firme y seguro ya que es de mucha importancia que haya tensión en la unidad del Bump Integrator y no se suelte al realizar los ensayos ya que podría dañar el equipo.

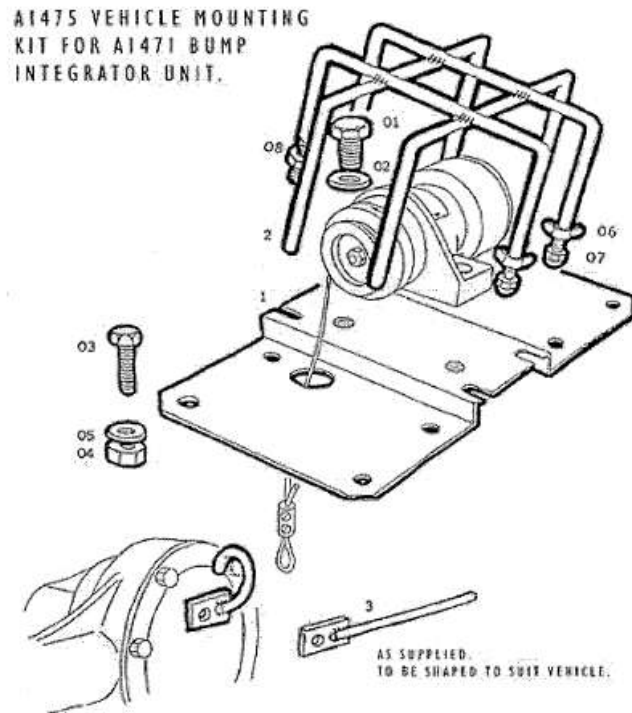


Figura 8: Montaje del Bump Integrator

Fuente: (Sológorre J., 2005)

2.2.10.3. Contador digital

El contador digital debe colocarse hacia el lado delantero o en la cabina del vehículo, su posición está a disposición del operador a cargo de la instalación.

El contador tiene un interruptor de encendido y apagado, la conexión al equipo es por cable de datos y la conexión eléctrica es directa de la batería del vehículo.

2.2.10.4. Velocidad de operación

El valor numérico del índice de rugosidad internacional (IRI) fue diseñado para que refleje el funcionamiento típico de un modelo tipo respuesta RTRRMS cuando opera a una velocidad de 80km/h, así el proceso de obtención de datos será de mejor calidad.

Existen casos donde se requiere una velocidad más baja:

- Una velocidad de 80km/h no se hace segura por razones de tráfico, peatones y la misma geometría de la vía donde se realiza el ensayo.
- El equipo Bump Integrator obtiene medidas erróneas e incoherentes 80km/h donde las vías son más rugosas.
- El equipo del Bump Integrator es demasiado frágil para el funcionamiento constante a una velocidad de 80km/h y debe operarse a menor velocidad si se utilizara permanentemente.

La solución recomendada para problemas relacionados con los mecanismos sensibles o inconsistentes es reemplazar el vehículo y el rugosímetro con algo más robusto.

Si alguna de estas condiciones es inevitable para los sitios de prueba, entonces se debe optar una velocidad menor para la toma de datos con el equipo Bump Integrator.

2.2.10.5. Factores a tomar en cuenta sobre el mantenimiento del vehículo y los factores que podrían interferir con su operación

Las variaciones en el vehículo causarán también variaciones en las medidas de rugosidad, teniendo en cuenta el tipo de vehículo para su uso con un equipo Bump Integrator, el encargado de la operación del equipo tiene que considerar que existen muchas variables que afectan el funcionamiento adecuado para un ensayo de toma de muestras con un equipo bump Integrator.

Los principales elementos que influyen en la toma de datos de los equipos tipo respuesta para las medidas de rugosidad como el bump Integrator son:

- El amortiguador del vehículo.
- Carga en del vehículo.
- Presión en las llantas del vehículo.
- Uniones mecánicas para colocar el equipo.
- Deformación de la rueda y desgaste de redondez.

El Rugosímetro Electrónico está compuesto por los siguientes componentes:

- Adquisidor del rugosímetro

Equipo portátil de cubierta color negro, que va montado en la cabina del conductor.



Figura 9: Analizador Electrónico de Rugosidad de Pavimentos.

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

Este equipo electrónico tiene: Un display LCD y teclado alfanumérico para el ingreso de datos y parámetros por el usuario (hora, fecha, CodVia, Longitud, Dirección. Led indicador de alimentación.

2.2.10.6. Unidad Bump Integrator

La unidad Bump Integrator está conformado por un encoder óptico usado para la medición de las deformaciones en el pavimento, este dispositivo mide el desplazamiento relativo entre el armazón y el eje de la parte posterior vehículo.



Figura 10: Encoder y cable de conexión

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

2.2.10.7. Alimentación de voltaje

El equipo cuenta con 2 medios de alimentación para su funcionamiento: - Un cable con conector cigarrera para vehículo, el cable presenta en el otro extremo un conector metálico de 3 pines el cual va conectado al adquisidor del rugosímetro. - Un convertor de voltaje AC/DC se usa para la descarga de datos, el dispositivo es de entrada 220 AC y salida 12 DC, se conecta al adquisidor del rugosímetro.



Figura 11: Rugosímetro y componentes

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

2.2.10.8. Software de descarga

El software de descarga para el Rugosímetro Electrónico Bump Integrator, fue diseñado en plataforma Visual C++. Permite descargar los datos y borrar la memoria también. Los datos son descargados en archivos individuales, cada ensayo o medición es descargado en un archivo individual.



Figura 12: Software para descarga de datos

Fuente: manual de usuario bump integrator inversiones factorycris

2.2.11. ROADROID

2.2.11.1. Reseña histórica

El índice de rugosidad internacional (IRI) es un indicador estándar de rugosidad en pavimentos que sirve como una medida de referencia en el control de la aptitud de la superficie de rodadura. El índice de rugosidad internacional (IRI) es muy aceptado internacionalmente utilizándose en la gestión y evaluación de vías. Debido a su importancia existen cuatro clases de métodos de medición según el nivel de precisión de toma de datos del índice de rugosidad internacional (IRI). Los equipos de la clase uno son los más precisos tal como los perfilómetros láser, pero el uso de estos equipos es caro y se requiere de personal capacitado y los equipos estáticos de medición tienen un rendimiento muy bajo para un análisis donde la vía tiene muchos kilómetros que además presentan retrasos por variables como el clima, tránsito y otros factores externos. la regularidad de la superficie del pavimento varía en el tiempo por lo que es

necesario realizar mediciones cada cierto periodo para tener y optar por un plan de conservación vial.

Considerando el uso de equipos modernos y equipos tradicionales como los perfilómetros y el rugosímetro de Merlín para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) tendría un alto costo, por lo que el uso de un nuevo equipo de medición de fácil operación, portable y eficaz presentaría una gran ayuda frente a los demás equipos.

Un conjunto de ingenieros de ciudadanía sueca ejecutaba trabajos con dispositivos móviles GPS desde 1997 teniendo en cuenta las mediciones de fricción, ajustes dinámicos de la velocidad, toma de datos en las vías. La idea original de Roadroid brotó cuando en el año 2001 el Transportation Research Board (TRB), situado en Washington, monitoreó un proyecto donde las velocidades de los camiones eran bajas debido a la mala situación del camino. A partir de esto, apareció el concepto de medir las vibraciones del vehículo para evaluar el estado de la vía. A lado del Royal Institute of Technology se elaboró el primer piloto en el año 2002. Ese año los teléfonos inteligentes aún no existían y en vez de un smartphone se utilizó una PC, un acelerómetro externo, un GPS y un amplificador de señal. Con estos equipos se usó un software para el análisis de las señales.

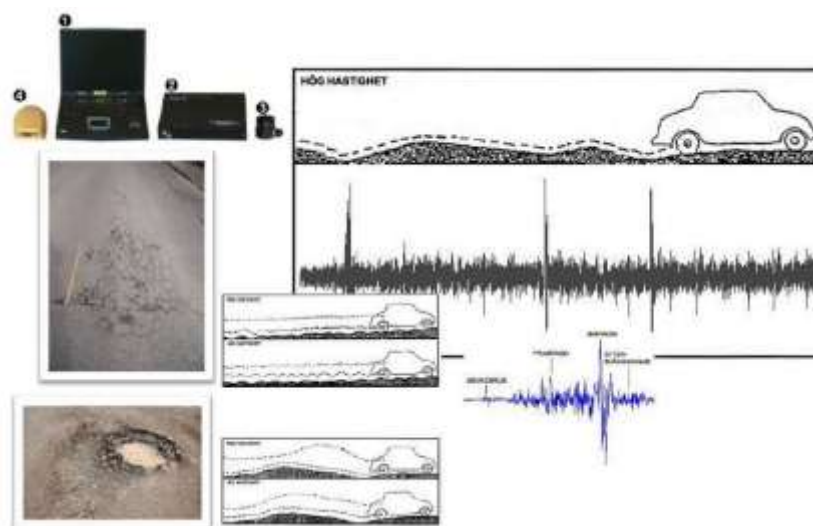


Figura 13: Prototipo del Roadroid

Fuente: ROADROID, 2014

Debido a los resultados del primer prototipo la Administración Nacional de Carreteras de Suecia (SNRA por sus siglas en inglés) invirtió el proyecto para su desarrollo encaminado a caminos no pavimentados de grava. El sistema se desarrolló con una PC con sistema operativo Windows integrado a un vehículo, un GPS, un acelerómetro

colocado en el eje trasero del vehículo, datos móviles y la utilización de un sistema de información geográfica en la web para visualizar la calidad de las carreteras a través de colores.



Figura 14: Prototipo de Roadroid

Fuente: (Forslöf, 2013)

Se optaron los mejores celulares de esa generación (Samsung Galaxy Tab GT P1000, Samsung GT-i9000 con Android OS 2.3 y Galaxy Tab con Android OS 2.2). Los ensayos se ejecutaron con diferentes tipos de vehículos a diversas velocidades (20, 40, 60, 80, 100, 120 km/h) y se colocaron 5 variedades de impedimentos. Durante los ensayos se descubrió que hay variación entre los modelos de cada vehículo, concretamente a bajas velocidades y a la mayor velocidad de análisis. En el rango de 40 a 80 km/h las diferencias son más limitadas. Además, se mostraron diferencias entre los acelerómetros, frecuencias de muestreo entre los teléfonos inteligentes, por lo cual fue significativo calibrar y estandarizar los aparatos de cada dispositivo. También, el elemento de montaje del smartphone debe ser estable. Desde de los ensayos realizado en el 2011, la aplicación se perfeccionó y analiza 100 vibraciones por segundo y guarda valores de velocidad y coordenadas GPS. Los usuarios de la aplicación pueden recoger datos sin necesidad de tener conexión a internet, ya que la información se comprime y se envía a la nube. Por medio del portal web Google Maps se muestra la condición del camino analizado a través de cinco colores que guardan relación con el IRI calculado.

Tabla 4: Estado de la vía según ROADROID.

Estado de la vía	IRI	Color
Buena	< 2.5	Verde
Satisfactoria	2.5 - 4	Amarillo
No satisfactoria	4 - 6	Rojo
Pobre	> 6	Negro

Fuente: ROADROID, 2014

2.2.11.2. Definición

Roadroid es un aplicativo para Smartphone que tiene como función principal analizar la condición de las vías por medio del acelerómetro del teléfono que toma las vibraciones del vehículo y convierte con ecuaciones correlacionales o el modelo del cuarto de carro a unidades del índice de rugosidad internacional (IRI). También se usa el GPS y la conexión a internet móvil para compartir la información del estado de la vía, esta información se puede usar para diferentes propósitos, como gestionar el mantenimiento vial.

El sistema Roadroid examina el camino 100 veces por segundo y con estos datos calcula el índice de rugosidad internacional (IRI) guardando el estado de la carretera con sus respectivas coordenadas GPS. Estos datos se almacenan en el teléfono y posteriormente son transferidos a la nube.



Figura 15: Uso de la aplicación Roadroid en vías

Fuente: Roadroid, 2014

Ya con los datos obtenidos y con la ayuda del Google Maps se puede representar el recorrido y el estado de la vía por medio de colores: verde, amarillo, rojo y negro con los que se diferencia el estado de cada tramo.



Figura 16: Representación de la vía analizada en Google Maps

Fuente: Roadroid

2.2.12. IRI estimado (eIRI)

El índice de rugosidad internacional estimado es una variante del cálculo propuesto por el banco mundial, usando correlaciones lineales con instrumentos de alta precisión.

2.2.13. IRI calculado (cIRI)

El índice de rugosidad internacional calculado se basa en el modelo de cuarto de carro que lo planteo el banco mundial y se recomienda que durante la obtención de datos para el cálculo la velocidad sea constante en un rango entre los 60km/h y 80km/h, actualmente el índice de rugosidad calculado presenta una mayor precisión que el índice de rugosidad estimado.



2.3. Hipótesis.

2.3.1. Hipótesis General.

Al obtener los resultados del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a y el aplicativo para Smartphone Roadroid se tiene una variación con respecto al rugosímetro de Merlín entre los valores del índice de rugosidad internacional.

2.3.2. Sub Hipótesis.

- El valor obtenido para el índice de rugosidad internacional por el método del bump integrator b1-100a, rugosímetro de Merlín y el aplicativo para Smartphone Roadroid en la Av. La Cultura es válido según los parámetros de la NTP CE.010.
- El índice de rugosidad internacional calculado mediante el aplicativo para Smartphone ROADROID varían con respecto a la rugosidad internacional calculada por los métodos de rugosímetro de Merlín y el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a.
- El ratio de serviciabilidad presente (PSR) para el pavimento de la Av. La Cultura se encuentra en una condición de estado de vía mala.
- Existe semejanza entre los valores obtenidos mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid y los métodos rugosímetro de merlín y bump integrator b1-100a en Av. La Cultura de la ciudad del cusco.

2.4. Definición de Variables.

2.4.1. Variable Dependiente.

a. IRI

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino. El IRI sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino.

2.4.2. Variables Independientes.

a. Métodos De Medición

- i) Rugosímetro de Merlín: es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo, diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático.
- ii) Rugosímetro electrónico Bump Integrator: El Rugosímetro Bump Integrator, es un equipo de medición de Rugosidad Clase III (Tipo Respuesta), la rugosidad del pavimento es un valor importante para el control y supervisión del estado de las carreteras y se mide generalmente con esta clase de equipos, que van montados o remolcados en un vehículo.
- iii) Roadroid: Roadroid es una aplicación para smartphone y monitorea las condiciones de las vías, estableciendo un mapa web con marcaciones de color para mostrar los resultados.

2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	DIMENSION	INDICADORES	UNIDADES
IRI	El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino. El IRI sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino.	PSR	irregularidades - deformaciones	ESCALA DEL 1 AL 10



Métodos De Medición	<p>Se realizarán tres tipos de métodos de medición:</p> <p>-rugosímetro de merlín: es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo, diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático.</p> <p>-rugosímetro electrónico Bump Integrator: El rugosímetro Bump Integrator, es un equipo de medición de Rugosidad Clase III (Tipo Respuesta), la rugosidad del pavimento es un valor importante para el control y supervisión del estado de las carreteras y se mide generalmente con esta clase de equipos, que van montados o remolcados en un vehículo.</p> <p>-Roadroid: Roadroid ofrece una aplicación para Smartphone Android para monitorear las condiciones de las vías, y un mapa web con marcaciones de color para mostrar los resultados. La aplicación utiliza sensores incorporados del teléfono, cámara y GPS. El análisis de la aplicación proporciona 100 señales por segundo (100 Hz) para definir de calidad de las carreteras según cuatro niveles: verde para la "buena", amarillo para "satisfactorio", rojo para "insatisfactorio" y negro de "mala".</p>	Método del rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A	rugosidad	MM/M - M/KM
		Método del rugosímetro de Merlín.	rugosidad	MM/M - M/KM
			confort	ESCALA DEL 1 AL 10
		Método del aplicativo para Smartphone Roadroid.	índice de rugosidad superficial	MM/M - M/KM

Fuente: propia



3. Capítulo III: Metodología.

3.1. Metodología de la Investigación.

3.1.1. Enfoque de la Investigación.

Este trabajo de investigación es de tipo **cuantitativo**. Ya que en la investigación se realizó siguiendo una serie de pasos como son el planteamiento del problema, hipótesis las cuales mediante la recolección de datos se tratarán de probarlas y así dar conclusiones.

En las investigaciones cuantitativas, la recolección de datos tiene como fin comprobar hipótesis con base en la medición numérica, aplicando fundamentalmente el análisis estadístico. (Hernández Sampieri, Roberto; Zapata Salazar, Nancy Elena; Mendoza Torres, Christian Paulina, 2000)

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis. (Hernández Sampieri, Roberto; Zapata Salazar, Nancy Elena; Mendoza Torres, Christian Paulina, 2000)

3.1.2. Nivel o alcance de la Investigación.

Esta investigación alcanza un nivel de **Investigación Descriptiva**, porque cuantifica la regularidad superficial del pavimento de la Av. La Cultura; y luego describe el estado de la carretera de la manera más precisa posible, además esta investigación sigue los criterios de, (Mario Tamayo y Tamayo, 2003), que define la investigación descriptiva como la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente.



3.1.3. Método de la Investigación.

El método que se utilizó en la investigación fue el de **hipotético-deductivo**. Debido a que el método se escogió ya que en la investigación nos llegamos a plantear hipótesis para comprobar si estas son verdaderas o falsas con los resultados que se obtienen.

En el método hipotético-deductivo (o de contrastación de hipótesis) se trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis (que no podemos comprobar directamente, por su carácter de enunciados generales, o sea leyes, que incluyen términos teóricos), a partir de la verdad o falsedad de las consecuencias observacionales, unos enunciados que se refieren a objetos y propiedades observables, que se obtienen deduciéndolos de las hipótesis y, cuya verdad o falsedad estamos en condiciones de establecer directamente.

La esencia del método hipotético-deductivo consiste en saber cómo la verdad o falsedad del enunciado básico dice acerca de la verdad o la falsedad de la hipótesis que ponemos a prueba.

Su propuesta metodológica implica someter a examen las hipótesis de la manera más exigente posible, que no es la de buscar aquellos casos en los que se cumple. Por lo contrario, ponerlas a prueba consiste en buscar sus contraejemplos con toda decisión y ver que no se cumplen, para seguir sosteniéndolas. La ética que el método hipotético-deductivo exige del científico es que proponga los más exigentes contraejemplos, y compruebe que no se cumplen. Afirmar la hipótesis significa, fundamentalmente, refutar los contraejemplos. El método hipotético-deductivo o de contrastación de hipótesis no plantea, en principio, problema alguno, puesto que su validez depende de los resultados de la propia contrastación. Este método científico se suele utilizar para mejorar o precisar teorías previas en función de nuevos conocimientos, donde la complejidad del modelo no permite formulaciones lógicas. (Behar Rivero, Daniel, 2008).

3.2. Diseño de la Investigación.

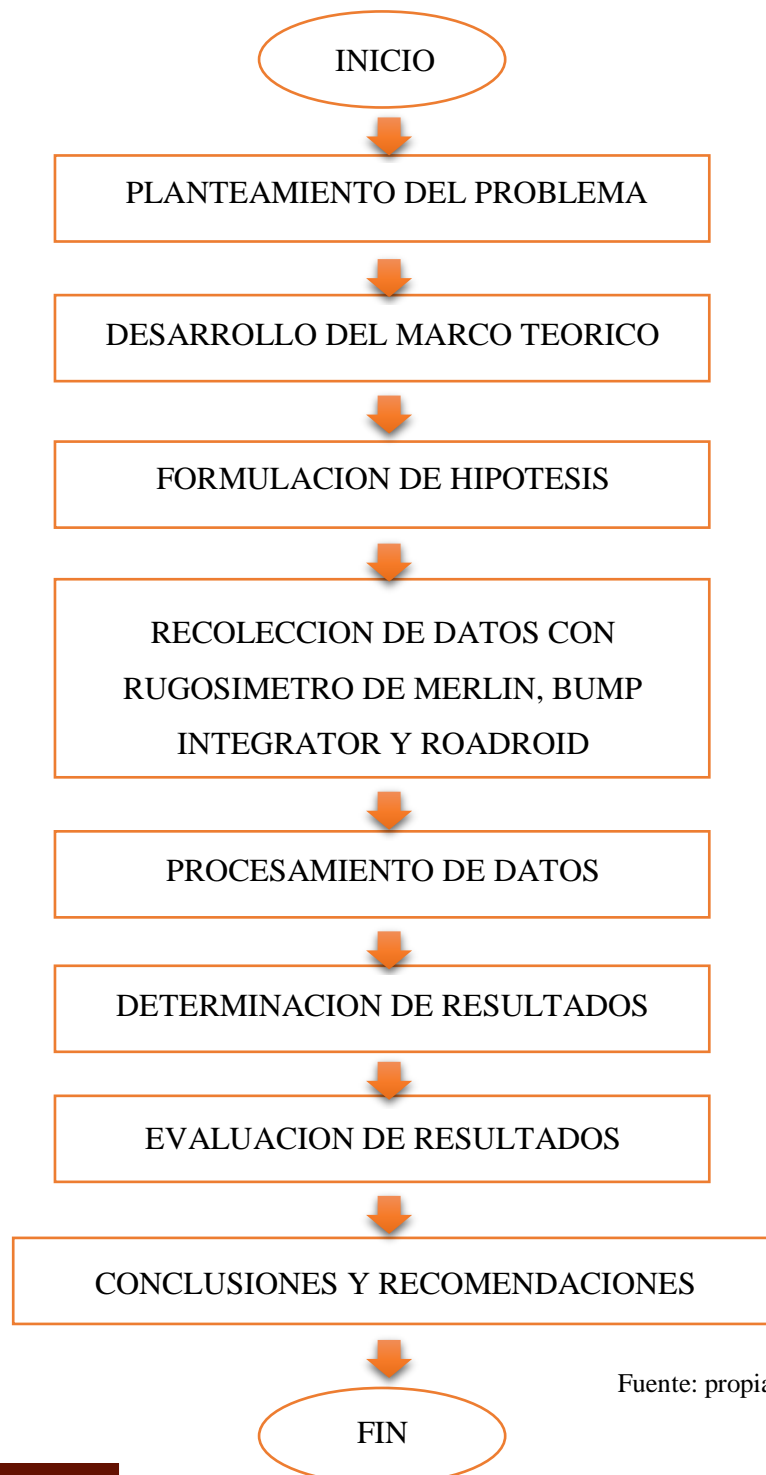
3.2.1. Diseño Metodológico.

Debido a que nuestra investigación se enmarca en un contexto donde se recolectaron datos sin manipular y/o alterar variables; nuestro diseño de investigación es de tipo no experimental, además por llevarse la recolección de datos en un solo tiempo y sin observar cambios se considera del tipo transversal.

Según (Hernandez Sampieri, R, Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. 2004, Metodología de la Investigación. México. Mc. Craw Hill.), la investigación no experimental es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

Además, que los diseños transversales implican la recolección de datos en un solo corte en el tiempo.

3.2.2. Diseño de Ingeniería.



Fuente: propia



3.3. Población y Muestra.

3.3.1. Población.

3.3.1.1. Descripción de la Población.

La carpeta de rodadura del pavimento en la av. La Cultura de la ciudad del Cusco desde la plaza Rimacpampa hasta el paradero control que comprende los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.

3.3.1.2. Cuantificación de la Población.

La carpeta de rodadura del pavimento en la av. La cultura de la Ciudad del Cusco desde la plaza Rimacpampa hasta el paradero control que comprende los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo; que cuentan con una distancia del carril de bajada de 9.41 km y del carril de subida una distancia de 9.80 km siendo un total de 19.21 km de longitud.

3.3.2. Muestra.

3.3.2.1. Descripción de la Muestra.

La carpeta de rodadura del pavimento en la av. La cultura de la Ciudad del Cusco desde la plaza Rimacpampa hasta el paradero control que comprende los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.

3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra.

La carpeta de rodadura del pavimento en la av. La cultura de la Ciudad del Cusco desde la plaza Rimacpampa hasta el paradero control que comprende los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo; que cuentan con una distancia del carril de bajada de 9.41 km y del carril de subida una distancia de 9.80 km siendo un total de 19.21 km de longitud.

3.3.2.3. Método de Muestreo.

El método de muestreo llevado a cabo en nuestra investigación es de tipo no probabilístico ya que este método es una técnica de muestreo donde las muestras se recogen en un proceso que no brinda a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados, los sujetos en una muestra no probabilística generalmente son seleccionados en función de su accesibilidad o a criterio personal e intencional del investigador.



Además, se considera el tipo de muestreo por conveniencia en donde las muestras son seleccionadas porque son accesibles para el investigador. Los sujetos son elegidos simplemente porque son fáciles de reclutar. Fuente: Explorable.com (May 17, 2009). Muestreo no probabilístico. Apr 15, 2019 (Obtenido de Explorable.com: <https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>)

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la Muestra.

El criterio a seguir de nuestra investigación es que nuestra muestra será medida en su totalidad, evaluando los 19.21 km que se tienen en el carril de subida y bajada.

3.3.3. Criterios de inclusión

Nuestra investigación que se llevó a cabo incluye la carpeta de rodadura del pavimento en la av. La cultura de la Ciudad del Cusco desde la plaza Rimacpampa hasta el paradero control que comprende los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo; que cuentan con una distancia del carril de bajada de 9.41 km y del carril de subida una distancia de 9.80 km siendo un total de 19.21 km de longitud, en donde se hizo la utilización de los equipos rugosímetro de merlín, rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a y la aplicación Roadroid para la toma de datos de la regularidad superficial del pavimento.

3.4. Instrumentos.

3.4.1. Instrumentos de recolección de Datos.

Los instrumentos utilizados en nuestra investigación son formatos de elaboración propia basados en libros y/o tesis de investigación según lo requerido.

Tabla 5: Formato del rugosímetro de merlín para la toma de datos



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO DE LA AV. LA CULTURA DE LA CIUDAD DEL CUSCO MEDIANTE EL APLICATIVO PARA SMARTPHONE ROADROID, RUGOSÍMETRO ELECTRÓNICO BUMP INTEGRATOR BI-101A Y RUGOSÍMETRO DE MERLÍN."

TRAMO	
CARRIL	
FECHA	

ENSAYO	
OPERADORES	KEVIN SANCHEZ HURTADO
	ANDERSON ULOLLA HUARDO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

TIPO DE PAVIMENTO

ATIRADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADO

TRATAMIENTO BICAPA

CARPETA EN FRIO

CARPETA EN CALIENTE

PAVIMENTO RIGIDO

SELLO

OTROS

OBSERVACIONES:

Fuente: propia

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos.

Se recolectaron datos de la regularidad superficial del pavimento de la av. La cultura, en primera instancia se utilizó el rugosímetro de merlín, tomando datos del carril de bajada y seguidamente el de subida.

Luego de la toma de datos con el rugosímetro de merlín se procedió a la toma de datos con el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a, este último proporcionado de una camioneta.

Finalmente se llevó a cabo la toma de datos con el Smartphone proporcionado del software Roadroid y de igual manera se utilizó una camioneta.

3.5.1. Recolección de datos con el rugosímetro de MERLIN

3.5.1.1. Rugosímetro de MERLIN

Para llevar a cabo esta actividad y tomar datos en este ensayo se contó con la ayuda de dos personas adicionales para controlar el tráfico a la hora de la toma de datos; debido a que la av. La cultura es una zona altamente transitado el ensayo se llevó en horas de la mañana evitando las horas punta de la zona.

3.5.1.2. Procedimiento

Las herramientas que se emplearon para llevar a cabo la toma de datos en el ensayo fueron los siguientes:

- La bicicleta de merlín o conocido como el rugosímetro de merlín



Figura 18: Recolección de datos con el rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

- Un cono de seguridad



Figura 19: Recolección de datos con el rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

- Fichas de campo para la recolección de datos



Figura 20: Recolección de datos con el rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

3.5.1.3. Toma de Datos.

El ensayo empezó en la plaza Rimacpampa en donde asumimos el punto de partida como el km 0.



Figura 21: Toma de datos con rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

Para llevar a cabo el ensayo se hizo la calibración del equipo; se colocó en una zona horizontal ajustando los puntos de apoyo del equipo con la ayuda de una llave inglesa (tipo loro), de modo que el puntero en la parte superior del equipo marque 25 en el tablero.



Figura 22: Calibración del rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

Se realiza el cálculo del factor de corrección con la colocación de la pastilla de calibración; el equipo se coloca en el primer punto en donde se llevará a cabo el ensayo y se apunta el primer dato conocido como lectura inicial (li), enseguida se coloca la pastilla de calibración para la siguiente lectura el cual es la lectura final (lf).

De igual manera se coloca una marca en la rueda del equipo para poder determinar que la rueda da una vuelta completa y así tomar los datos cada 2 metros aproximadamente.



Figura 23: Señal en la rueda del rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

Enseguida se llevó a cabo el ensayo y la recolección de datos a lo largo de la av. La cultura con la ayuda de dos personas adicionales.



Figura 24: Toma de datos con rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

El ensayo realizado con el rugosímetro de merlín consiste en que el operador del equipo debe desplazar la bicicleta de merlín elevándolo y avanzando una vuelta entera de la

rueda que se encuentra señalada con una marca de cinta; este procedimiento se repite hasta completar 200 lecturas que es el total de lecturas que se admiten en el formato a ser completado.



Figura 25: toma de datos cada 2 metros



Fuente: propia

Para el llenado de los datos en campo se tomaron 200 lecturas que aproximadamente nos da una longitud de 400 metros.

El llenado del formato se da de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha; así mismo se hace el llenado de la lectura inicial y final en cada toma de datos para hallar el factor de corrección.

Se obtuvo un total de 48 formatos con un total de 24 formatos en el sentido de bajada de la av. La cultura (plaza Rimacpampa – paradero control) y para el sentido de subida de la av. La cultura un total de 24 formatos (paradero control – plaza Rimacpampa); a continuación, se muestra el ensayo N° 1.

Tabla 7: llenado del formato de campo de rugosímetro de Merlín

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
 <p>TESIS: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO DE LA AV. LA CULTURA DE LA CIUDAD DEL CUSCO MEDIANTE EL APLICATIVO PARA SMARTPHONE ROADROID, RUGOSÍMETRO ELECTRÓNICO BUMP INTEGRATOR B1-100A Y RUGOSÍMETRO DE MERLÍN.”</p> 											
TRAMO	WANCHAQ					ENSAYO	1				
CARRIL	BAJADA					OPERADORES	KEVIN SANCHEZ HURTADO				
FECHA	28/02/2019						ANDERSON LLOCLLA HUAYCHA				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	31	29	28	22	24	22	24	22	27	20	TIPO DE PAVIMENTO
2	32	32	30	20	20	18	19	20	20	23	
3	32	33	30	40	23	24	19	21	22	24	AFIRMADO <input type="checkbox"/>
4	24	31	30	25	21	23	21	42	20	20	
5	35	27	17	19	23	23	27	25	24	25	BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
6	39	30	20	26	26	24	18	24	23	21	
7	25	24	35	21	24	19	29	24	20	20	BASE IMPRIMADO <input type="checkbox"/>
8	28	26	28	17	22	27	26	22	17	21	
9	27	31	30	20	22	23	22	21	19	24	TRATAMIENTO BICAPA <input type="checkbox"/>
10	31	26	30	31	24	21	20	27	28	29	
11	32	28	30	18	22	30	14	16	29	24	CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
12	29	27	27	28	23	27	23	23	26	20	
13	30	29	29	23	25	21	21	22	21	35	PAVIMENTO FLEXIBLE <input checked="" type="checkbox"/>
14	44	27	25	19	21	24	21	21	21	25	
15	28	27	32	24	33	21	27	22	16	11	PAVIMENTO RIGIDO <input type="checkbox"/>
16	34	30	22	25	21	31	22	16	26	19	
17	35	33	36	22	23	22	32	15	19	31	SELLO <input type="checkbox"/>
18	34	26	29	17	22	23	24	23	22	22	
19	20	23	17	25	22	26	21	23	19	20	OTROS <input type="checkbox"/>
20	31	35	28	19	22	24	20	25	24	36	
OBSERVACIONES:											

Fuente: propia

3.5.2. Recolección de datos con el rugosímetro electrónico Bump Integrator

En el ensayo llevado a cabo con el rugosímetro electrónico bump integrator se contó con el apoyo de un técnico de laboratorio de la dirección regional de transportes y comunicaciones Cusco.

3.5.2.1. Procedimiento

Los equipos utilizados en la toma de datos con el rugosímetro electrónico fueron los siguientes:



Figura 26: Rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100^a

Fuente: propia



Figura 27: Camioneta para la instalación del equipo

Fuente: propia



Figura 28: Software de descarga

Fuente: propia

3.5.2.2. Instalación de la unidad Bump Integrator

La instalación de la unidad Bump Integrator se realiza en la parte posterior de la camioneta, para esto se hacen 5 perforaciones en la camioneta, 4 perforaciones para pernos y 1 para el cable metálico.

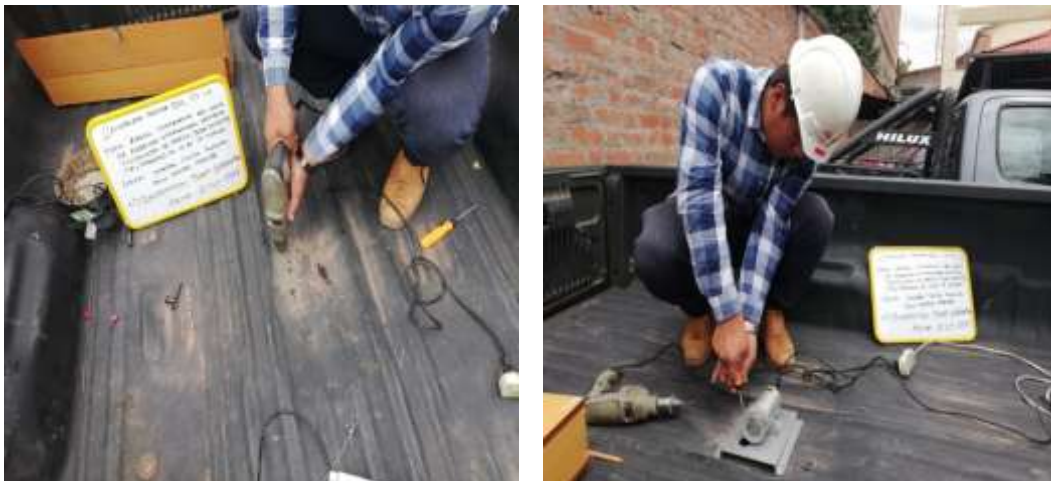


Figura 29: Perforación e instalación en la camioneta

Fuente: propia

Enseguida se coloca el cable metálico en la parte central del eje trasero de la camioneta.



Figura 30: Instalación del rugosímetro electrónico bump integrator

Fuente: propia

De igual manera se coloca en la parte derecha de la camioneta en el eje central de la rueda posterior el odómetro del equipo el cual nos determinara la distancia tomada y la velocidad del vehículo; para colocar este equipo se mandó a fabricar un soporte adaptada a la camioneta de modo que el equipo no sufra daños ni alteraciones al momento de tomar datos.



Figura 31: Instalación del rugosímetro electrónico bump integrator

Fuente: propia

Una vez realizado estas instalaciones se conectan el odómetro y el equipo bump integrator al adquisidor del rugosímetro; el cual va dentro de la cabina de la camioneta y alimentado por un cable conectado al cigarrero de la camioneta para su funcionamiento. Se procede a hacer las conexiones respectivas, para lo cual debemos reconocer los conectores ubicados en la parte posterior del Rugosímetro Electrónico. El adquisidor de datos tiene iconos que indican donde conectar los cables, haciendo la instalación más sencilla e intuitiva. Para la unidad Bump Integrator tenemos 2 conectores, marcados como 1 y 2 en el adquisidor, en este caso tenemos solo una unidad Bump Integrator así que este se puede conectar a cualquiera de los 2 conectores de manera indiferente.

Para comenzar con la toma de datos con el equipo bump integrator se hizo la configuración respectiva del equipo de la manera siguiente:

- Primera pantalla

Esta pantalla o mensaje se muestra al inicio de todo el sistema, mientras el equipo esté conectado al vehículo, es el mensaje de entrada, este menú está siempre presente al inicio e indica la hora y fecha. Para pasar al siguiente mensaje solo debemos presionar una tecla cualquiera del teclado.

La hora y fecha mostrada en esta pantalla es ingresada por el usuario, y el sistema cuenta la hora a partir de ese dato ingresado.

Nota: Presionar la tecla D durante este mensaje permite ingresar al modo calibración, en este modo podemos ingresar la fecha, hora y patrón de distancia para el odómetro.

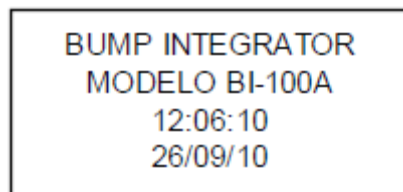


Figura 35: Pantalla inicial del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

- Segunda pantalla

Aquí debemos ingresar los parámetros para la medición



Figura 36: Segunda pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

- Tercera Pantalla

En esta pantalla debemos elegir el método de medición a usar. Modo Manual o Automático, esto lo hacemos presionando la tecla 1 o 2.

Después de seleccionar el método el sistema empieza a medir las deformaciones de la carretera, después de escoger el método de medición el equipo empieza a medir inmediatamente, esto se debe hacer exactamente al inicio del tramo donde se desea medir.

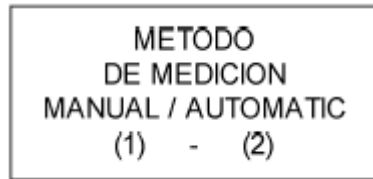


Figura 37: Tercera pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

- Cuarta Pantalla

Si el sistema se encuentra en modo automático, no es necesario hacer nada pues el equipo solo tomara los datos cuando la distancia se haya cumplido, en este caso cada 400 metros.

Si el sistema se encuentra en modo manual, el usuario debe supervisar que el vehículo haya recorrido 400 metros, para grabar los datos presionar la tecla C.

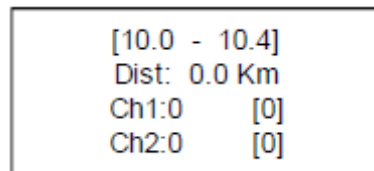


Figura 38: Cuarta pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

- Mensaje de Salida

Para terminar una medición, se debe presionar la tecla D, aparecerá un mensaje en las 2 primeras líneas del Display, el cual indica “Continuar -> D” y “Reiniciar Para continuar las mediciones presione la tecla D.

Para reiniciar el sistema e iniciar otra medición presione 0.

No desconecte el cable de alimentación del equipo, si bien esto no afecta los datos medidos se perderán las configuraciones de Hora y Fecha.

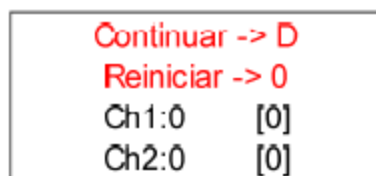


Figura 39: Mensaje de salida de la pantalla del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

A continuación, se muestra un diagrama general del funcionamiento del rugosímetro Electrónico Bump Integrator BI – 100a.

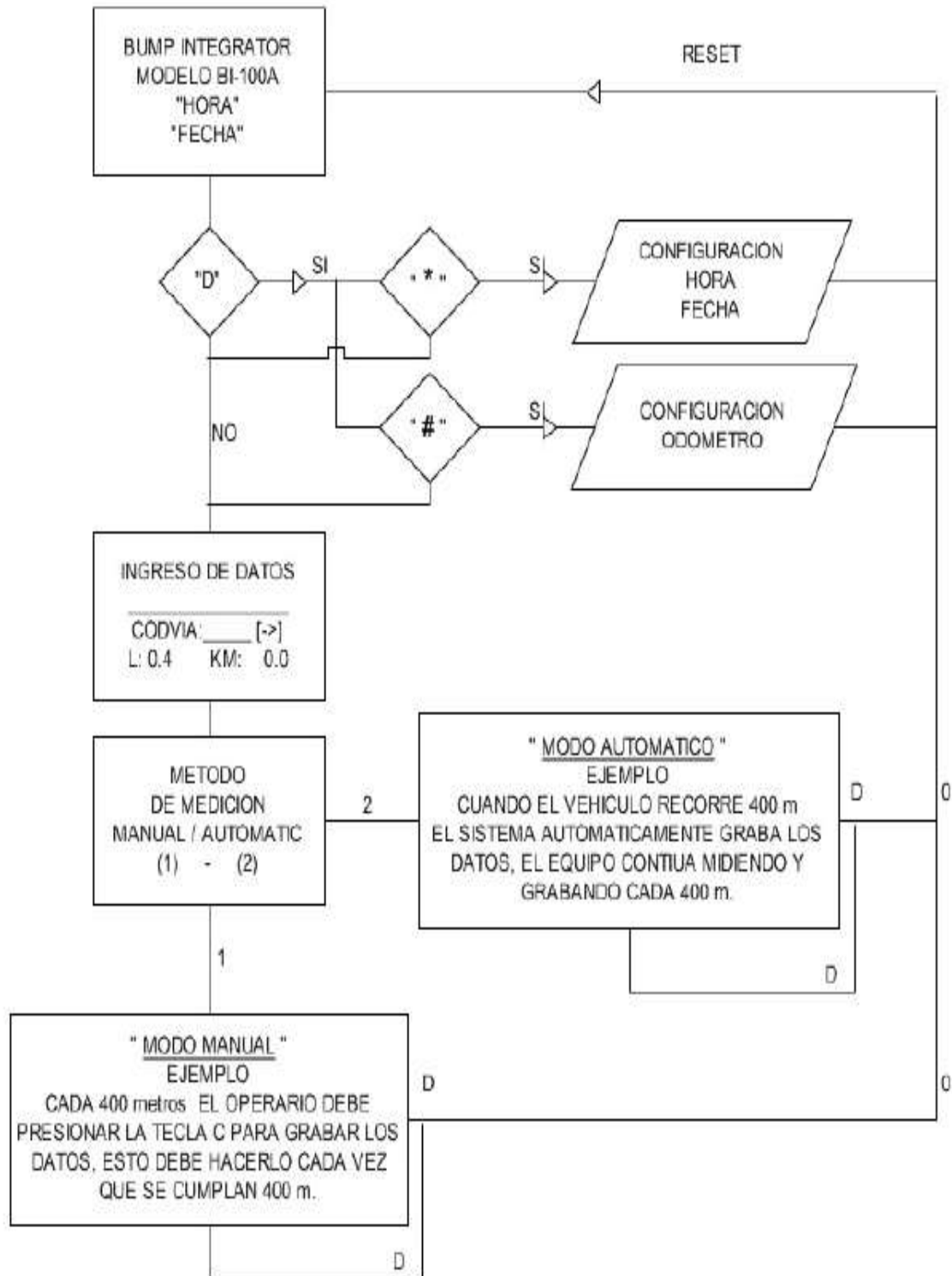


Figura 40: Esquema de la Configuración Del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

Una vez tomado el valor patrón y configurado el sistema para la recolección de datos se llevó a cabo nuestro ensayo empezando como en el anterior ensayo en la plaza Rimacpampa y tomando el punto inicial como el km 00+000 en el sentido de bajada y en seguida se continuo con el tramo de subida; este proceso se realizó cuatro veces (2 mediciones en el sentido de bajada y 2 mediciones en el sentido de subida)



Figura 41: toma de datos mediante el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: propia

Después de haber recolectado todos los datos en campo se pasó a la descarga de datos del adquirente del rugosímetro; esto mediante el software que trae el equipo para la descarga de datos.

El programa de descarga de datos permite descargar toda la información almacenada en el equipo y guardarla en archivos en formato txt, para poder ser utilizados en diferentes plataformas (Windows, Linux, Mac, etc.)

También permite borrar la memoria. El programa se comunica vía USB y está diseñado para Windows XP.

A continuación, explicaremos el procedimiento para descargar los datos.

Lo primero es alimentar el equipo con el convertidor de voltaje asignado, usar el cable USB suministrado y conectarlo a un puerto USB de la computadora, esperar unos segundos mientras el sistema operativo reconoce el dispositivo.



Figura 42: software de descarga de datos bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

1. Leer la memoria de datos.
2. Borrar el contenido de la memoria de datos.
3. Detectar Dispositivo USB.
4. Salir
5. Cuadro de Lista para los archivos descargados.
6. Contador de archivos descargados
7. Mensajes de estado.

Al hacer Clic en el botón Leer Memoria, aparecerá la siguiente ventana.

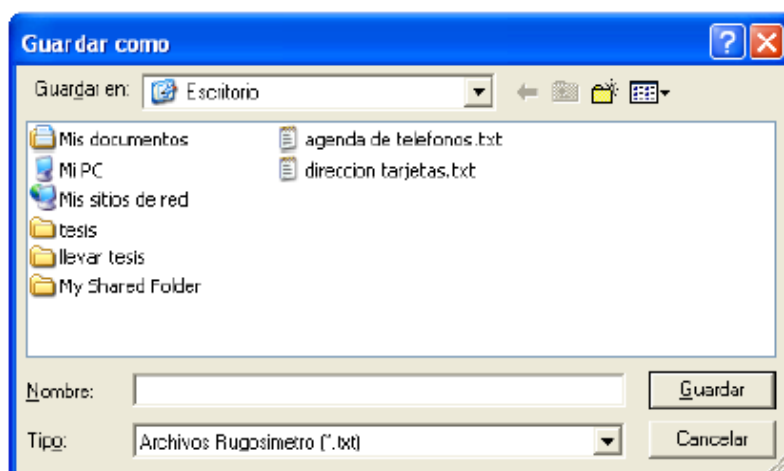


Figura 43: Guardar los datos del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

Colocar el nombre del archivo con el cual se desea almacenar los datos.

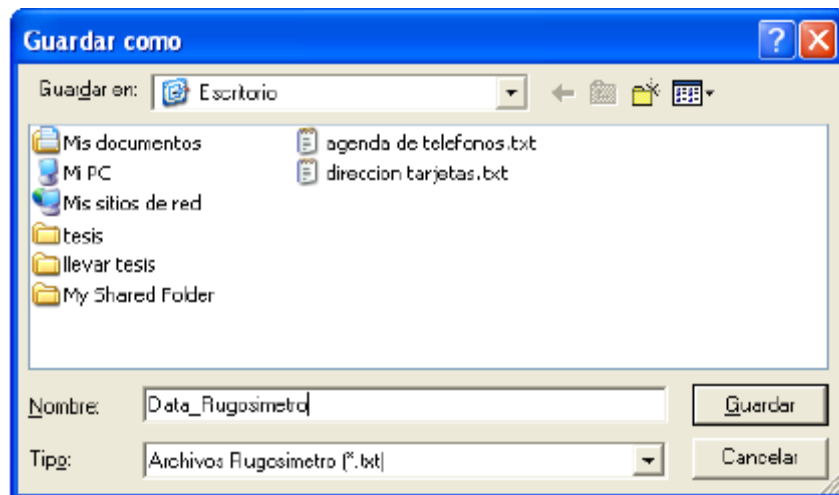


Figura 44: datos guardados del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)



Clic en guardar.

Figura 45: Descarga de datos bump integrator b1-100^a

Fuente: (manual de usuario bump integrator inversiones factorycris)

De esta manera finalmente obtenemos todos los datos tomados en campo tanto del carril de bajada como el de subida de la av. La cultura con el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a.

3.5.3. Recolección de datos con el software para Smartphone Roadroid

3.5.3.1. Software para Smartphone Roadroid

Para llevar a cabo este ensayo se optó por tomar los datos por la noche en donde el tránsito es libre y no haya ninguna dificultad ya que se hizo la utilización de una camioneta y los rangos de velocidad que se deben tomar en cuenta en este ensayo es de entre 20 y 80 km/h.

3.5.3.2. Procedimiento

Los instrumentos que se utilizaron para llevar a cabo el procedimiento de este ensayo son los siguientes a continuación:

Una camioneta cerrada de la marca Toyota, el cual fue considerado para la aplicación del tipo 4WD (hilux/King cab).



Figura 46: Vehículo utilizado en la toma de datos

Fuente: propia

Así mismo se utilizó un celular de la marca Xiaomi modelo note 6 pro y un sujetador de teléfono para el vehículo.



Figura 47: Smartphone utilizado en la toma de datos

Fuente: propia

De igual manera se utilizó la aplicación para Smartphone Roadroid versión 2.4.1



Figura 48: aplicación para Smartphone Roadroid versión 2.4.1

Fuente: www.roadroid.com

3.5.3.3. Toma de datos

La recolección de datos con el software empezó en la plaza Rimacpampa, en donde nuestro punto inicial se denominó como el km 00+000.

En primer lugar, asegurarse de haber registrado el número IMEI del teléfono con el cual se trabajará en el sitio web, registrar el correo electrónico en la app y haber configurado correctamente el modelo del teléfono y tipo del vehículo.

- Se instaló la base del teléfono en el parabrisas de vehículo.
- Asegúrese de que la base esté estable
- Se puso de modo que sea fácil llegar y tocar la pantalla.
- Así mismo el teléfono tiene que estar lo más recto posible, horizontal es a menudo la posición más adecuada para el uso de la función foto-GPS.
- La instalación debe quedar de manera que la cámara muestra el camino Inicie la cámara para encontrar una buena posición

Para iniciar con la aplicación se pulsa en el icono de este y enseguida aparece una ventana de ajustes en donde se presiona “ok” para continuar.

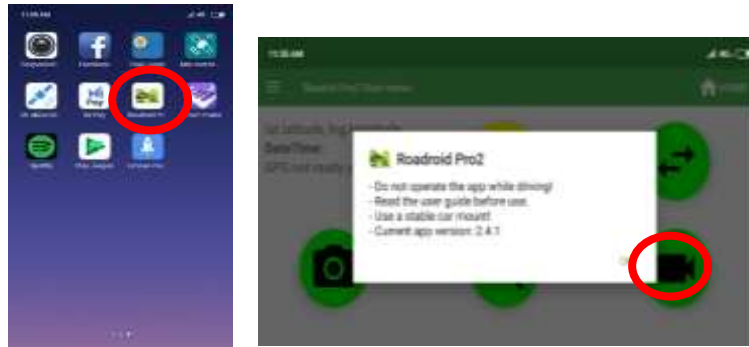


Figura 49: Inicio de la aplicación Smartphone Roadroid

Fuente: propia-Roadroid

Enseguida se configura el tipo de vehículo que se utilizara en el ensayo para lo cual realizamos las siguientes acciones

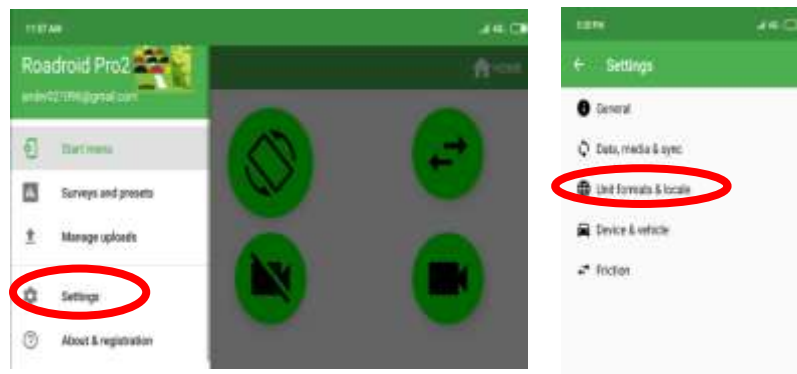


Figura 50: Configuración del tipo de vehículo dentro de la aplicación

Fuente: Roadroid

En nuestro ensayo el tipo de vehículo que utilizaremos será del tipo 4WD (hilux/King cab) ya que se llevara a cabo en una camioneta de la marca Toyota.

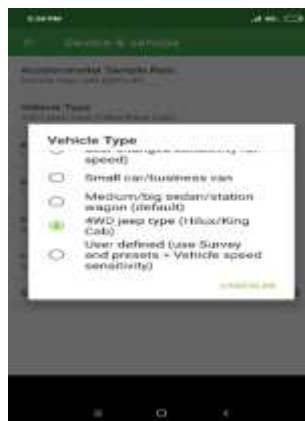


Figura 51: Tipo de vehículo utilizado en la toma de datos

Fuente: Roadroid

Una vez configurado el tipo de vehículo se regresa a la pantalla principal en donde se muestra la calibración del teléfono para empezar



Figura 52: Pantalla principal de la aplicación para Smartphone ROADROID

Fuente: Roadroid



Figura 53: Calibración del teléfono para la aplicación

Fuente: Roadroid

Una vez que se pulsa el botón amarillo nos aparece la pantalla con las coordenadas X, Y, Z para poder calibrar el teléfono poniendo todos los valores en cero; una vez realizada esta operación todos los botones se pondrán en color verde, listo para poder realizar nuestro ensayo. Así mismo nos da la opción de poder grabar todo el trayecto o no.

Finalmente, para iniciar en campo con las lecturas del IRI mediante el Smartphone nos aparece la pantalla



Figura 54: Pantalla de inicio de toma de datos

Fuente: Roadroid

Una vez culminado el ensayo se guardan los datos simplemente oprimiendo el botón de grabar y nos dirigimos a la pantalla del menú principal en donde se oprime la opción “manage uploads”.

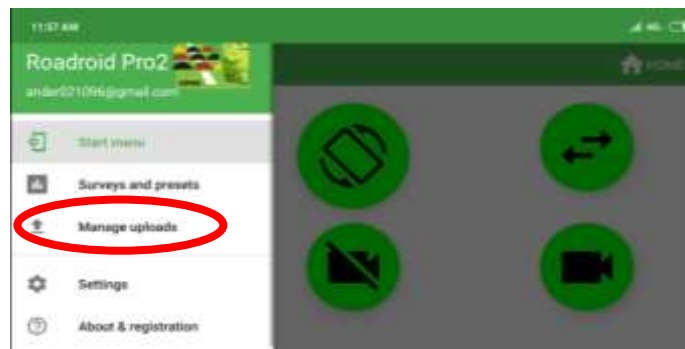


Figura 55: Subir datos a la página web del programa

Fuente: Roadroid

Ahí dentro de la ventana se cargarán los datos que se almacenaron para lo cual es necesario estar conectado a una red wifi debido al tamaño del archivo que se debe subir a la página web del software.

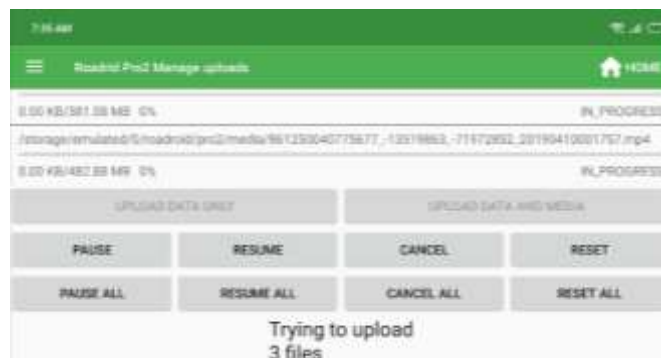


Figura 56: Carga de datos para subir a la pagina web los datos recolectados

Fuente: Roadroid

Para poder descargar todos los datos que se subieron a la pagina web del programa se debe ingresar a www.roadroid.com, utilizando la cuenta y contraseña proporcionada por el autor del programa.



Figura 57: Iniciar sesion en el programa

Fuente: Roadroid

Una vez que se inicia sesion en la pagina web del programa se ingresa a la pestaña del historial de importacion en donde ubicamos nuestros datos cargados y oprimimos la opcion “detalles” para poder ingresar los datos obtenidos.

Una vez realizada la accion nos muestra la pantalla acontinuacion en donde se debe generar el archivo agregado para poder continuar con la descarga de datos tomados en formato de texto.



Figura 58: Generar datos

Fuente: Roadroid

Finalmente una vez realizado todos los pasos anteriores mostrados se genera todos los datos obtenidos tomados en campo.

Tabla 8: Datos obtenidos en campo

DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI	RoadId	
10/04/2019 0:18:05	-13,519893	-71,972642	100	22,86	3429,74	0	3,6	1,04	...	001
10/04/2019 0:18:20	-13,5201261288528	-71,9717283958359	200	27,91	3436,21	0,47	4,46	1,76	...	001
10/04/2019 0:18:32	-13,5202481888734	-71,9709238604114	300	30,2	3436,73	-3,48	6,73	4,14	...	001
10/04/2019 0:18:42	-13,5202466754017	-71,9699598664644	400	30,64	3422,7	-4,93	8,5	4,99	...	001
10/04/2019 0:18:51	-13,520574087513	-71,9689946450866	500	30,15	3408,92	-11,79	12,16	5,99	...	001
10/04/2019 0:19:00	-13,5207459377858	-71,9681687913841	600	33,55	3412,34	5,42	8,56	3,76	...	001
10/04/2019 0:19:11	-13,5212756208085	-71,9674780733883	700	30,75	3416,63	0,29	10,87	4,59	...	001
10/04/2019 0:19:23	-13,5212852049622	-71,9668233558331	800	39,32	3415,72	-0,81	9,29	4,64	...	001
10/04/2019 0:19:32	-13,5214955938877	-71,9657301826156	900	46,02	3412,13	-3,59	13,66	5,06	...	001
10/04/2019 0:19:40	-13,521784836292	-71,9647900142276	1000	45,87	3411,72	-0,41	8,19	5,25	...	001
10/04/2019 0:19:48	-13,5220690847082	-71,9638792582949	1100	47,5	3409,07	-2,55	8,96	4,84	...	001
10/04/2019 0:19:55	-13,5222922651896	-71,9631582555391	1200	47,46	3406,83	-2,24	7,99	4,33	...	001
10/04/2019 0:20:05	-13,522611364841	-71,9621695408361	1300	48,37	3404,28	-2,54	6,96	3,59	...	001
10/04/2019 0:20:10	-13,5228413622933	-71,9613857214997	1400	46,95	3402,76	-1,52	13,26	5,83	...	001
10/04/2019 0:20:18	-13,5231242392583	-71,9604896991141	1500	47,6	3398,09	-4,67	8,82	4,13	...	001
10/04/2019 0:20:25	-13,5233582098451	-71,9596503913872	1600	46,77	3393,83	-4,26	13,85	5,8	...	001
10/04/2019 0:20:33	-13,5236480231704	-71,9587284783989	1700	45,42	3391,29	-0,58	7,17	1,43	...	001
10/04/2019 0:20:41	-13,5239186523391	-71,957806488984	1800	36,94	3389,88	-1,17	8,55	3,33	...	001
10/04/2019 0:20:51	-13,5242289167368	-71,9569298356924	1900	32,94	3386,29	-3,59	3,31	1,83	...	001
10/04/2019 0:21:02	-13,5244880925222	-71,9560294173542	2000	46,89	3384,3	-1,88	3,25	2,83	...	001
10/04/2019 0:21:09	-13,52470888267	-71,95523982298341	2100	49,26	3381,89	-2,41	3,68	2,7	...	001
10/04/2019 0:21:17	-13,5250282898933	-71,9542818641367	2200	48,99	3379,95	-1,95	8,55	2,34	...	001
10/04/2019 0:21:24	-13,5252816628587	-71,9534156638804	2300	52,12	3377,9	-2,84	6,63	3,2	...	001
10/04/2019 0:21:31	-13,5255639148164	-71,9525099512685	2400	52,35	3378,07	0,17	6,87	3,54	...	001
10/04/2019 0:21:38	-13,52584779549	-71,9516135612864	2500	53,79	3377,36	-0,71	4,97	2,91	...	001
10/04/2019 0:21:45	-13,5261421681126	-71,9506224301043	2600	53,23	3375,41	-1,95	6,67	3,47	...	001
10/04/2019 0:21:51	-13,526365481805	-71,9499362313782	2700	41,95	3375,58	0,17	4,39	2,83	...	001
10/04/2019 0:22:00	-13,526648998483	-71,949079789976	2800	32,1	3376,09	0,91	4,61	3,62	...	001

Fuente: propia

Una vez que se encuentra en la pagina web se puede abrir la pestaña “ condiciones del camino” en donde nos muestra un mapa a nivel mundial donde se pueden observar los datos cargados del programa ROADROID de todos los proyectos de investigacion llevados a cabo con esta aplicaci3n.

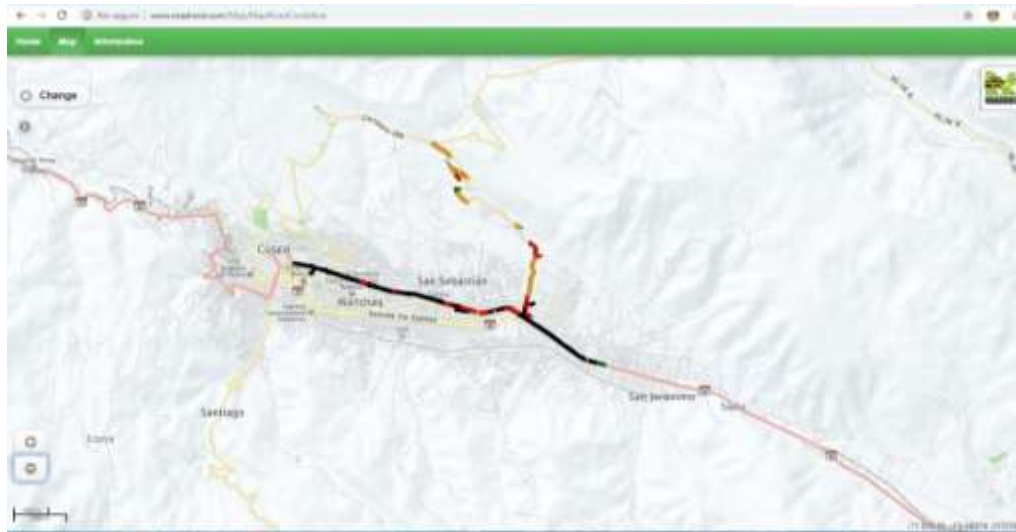


Figura 59: Mapa de la zona medida con Roadroid

Fuente: Roadroid

3.6. Procedimientos de Análisis de Datos.

3.6.1. Análisis de datos mediante el rugosímetro de Merlín.

Se recolectaron 48 hojas de campo para su análisis de datos; para lo cual se utilizaron los textos referenciales de Pablo del Águila Rodríguez:

Cálculo del Rango “D”

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma. Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ($7.35 \times 5 \text{mm} = 36.75 \text{mm}$).

Tabla 9: Agrupación de datos repetidos

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

Fuente: propia

Tabla 10: Conteo de datos agrupados

Resumen		
11	1	1
14	1	2
15	1	3
16	3	4
17	5	5
18	3	6
19	10	7
20	16	8
21	18	9
22	20	10
23	16	11
24	19	12
25	10	13
26	9	14
27	12	15
28	8	16
29	8	17
30	10	18
31	8	19
32	6	20
33	3	21
34	2	22
35	5	23
36	2	24
39	1	25
40	1	26
42	1	27
44	1	28

Fuente: propia

A partir de los datos agrupados obtenidos se realiza el histograma de frecuencias.

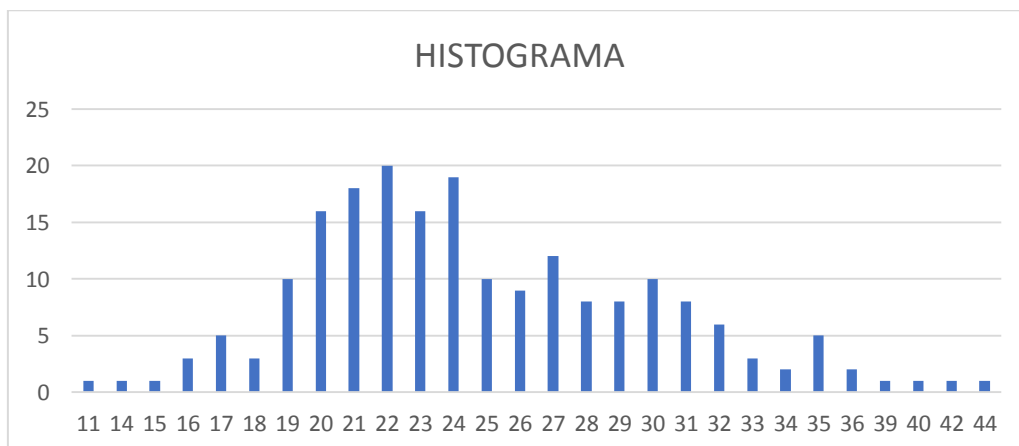


Figura 60: Histograma de frecuencias

Fuente: propia

En seguida se determina el ancho del histograma para poder determinar el cálculo del rango “D”.

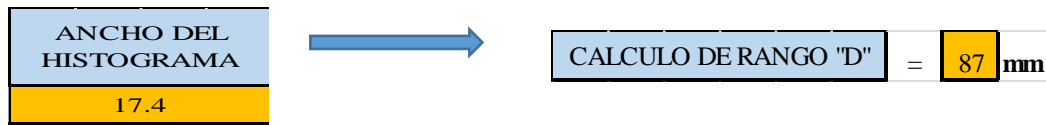


Figura 61: Calculo del rango “D”

Fuente: propia

Factor de corrección para el ajuste de “D”

Se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5]$$

Donde,

- EP: Espesor de la pastilla
- LI: Posición inicial del puntero
- LF: Posición final del puntero

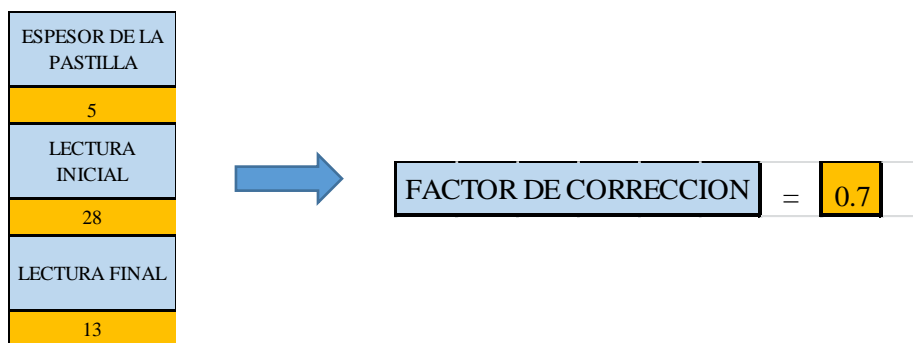


Figura 62: Calculo del factor de corrección

Fuente: propia

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante:

Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.

- Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

En nuestro caso debido a que el pavimento en el trabajamos se encuentra en un estado deteriorado y no deteriorado el factor de corrección con el que se trabajo fue con 1 y 2 con respecto al estado de la superficie de la via.

RELACION DE BRAZOS	=	01:10
FACTOR DE R.B	=	1
VALOR "D" CORREGIDO	=	58

Figura 63: Valor "D" corregido

Fuente: propia

Finalmente se determinó el valor del IRI utilizando las siguientes expresiones:

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

VALOR DE IRI
3.32

Figura 64: Valor del IRI

Fuente: propia

El procesamiento de datos de las 48 tablas que se obtuvieron en campo se encuentra detallado en los ANEXOS.

3.6.2. Análisis de datos mediante el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a

Para continuar con el análisis de datos mediante el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a se contó con el programa de descarga de datos del propio equipo el cual permite descargar toda la información almacenada en el equipo y guardarla en archivos en formato txt, para poder ser utilizados en diferentes plataformas (Windows, Linux, Mac, etc.)

Procesando los datos mediante el software del equipo se obtuvo los siguientes resultados en carril de bajada de la av. La cultura.

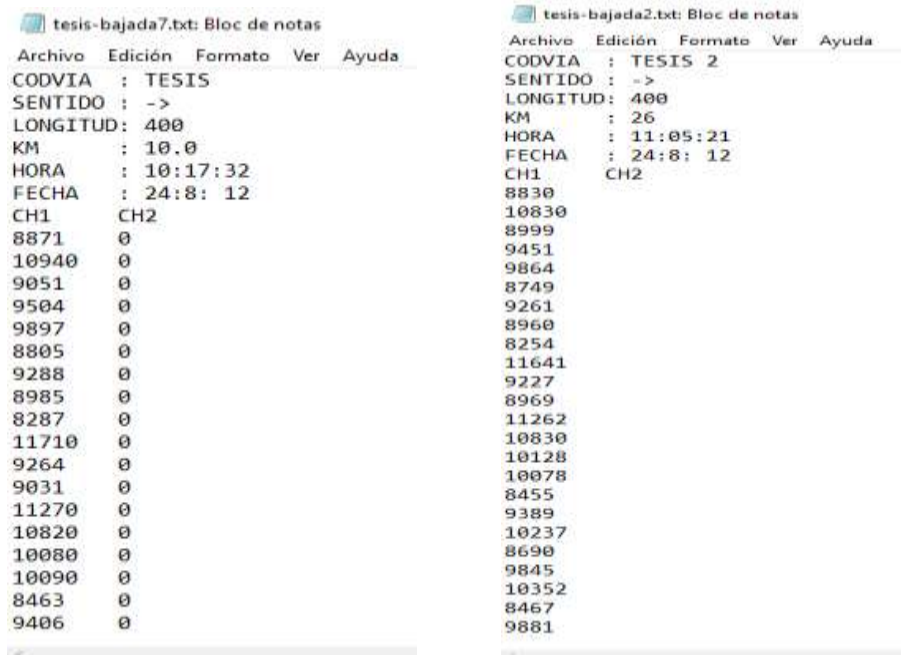


Figura 65: Análisis de datos bump integrator b1-100ª

Fuente: propia

De manera continua se hizo el registro de datos del carril de subida en donde los datos obtenidos fueron los que se muestran a continuación:

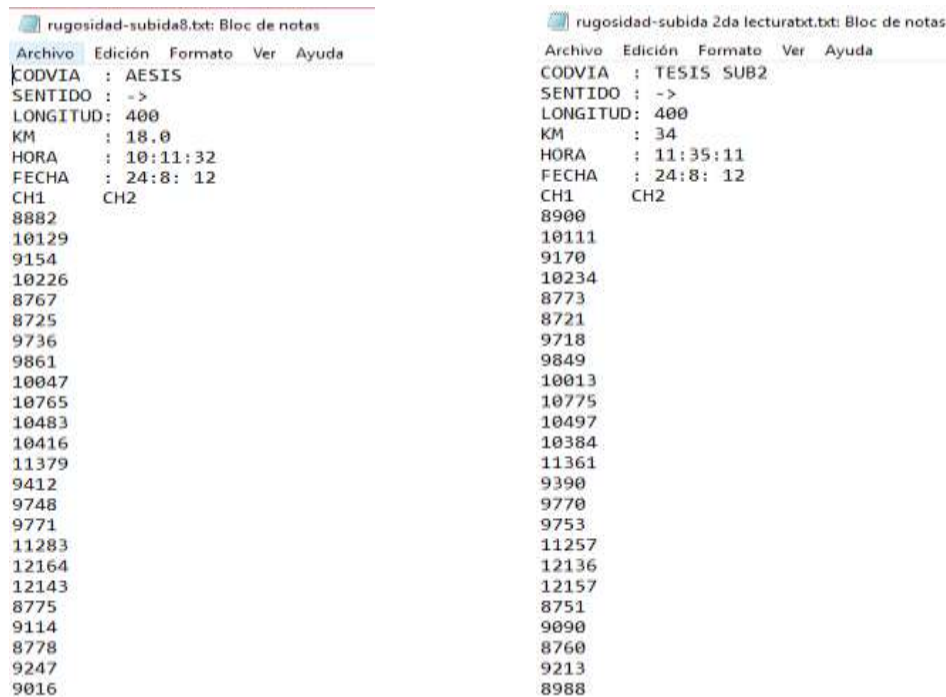


Figura 66: Análisis de datos bump integrator b1-100ª

Fuente: propia

Una vez que se obtienen los datos del software de descarga se halla el promedio de las lecturas en cada sentido para posteriormente hallar la desviación estándar y el coeficiente de variación de estos valores.

Tabla 11: desviación estándar y el coeficiente de variación de los valores BI.

Lectura 1	Lectura 2	promedio	IRI Merlín	Desv. estand	Coef.var
8912	8830	8871	6.06	57.98	0.65%
11050	10830	10940	11.58	155.56	1.42%
9103	8999	9051	7.59	73.54	0.81%
9557	9451	9504	9.52	74.95	0.79%
9930	9864	9897	6.76	46.67	0.47%
8861	8749	8805	7.71	79.20	0.90%
9315	9261	9288	6.05	38.18	0.41%
9010	8960	8985	8.84	35.36	0.39%
8320	8254	8287	9.03	46.67	0.56%
11779	11641	11710	7.66	97.58	0.83%
9301	9227	9264	7.09	52.33	0.56%
9093	8969	9031	7.07	87.68	0.97%
11278	11262	11270	6.56	11.31	0.10%
10810	10830	10820	5.38	14.14	0.13%
10032	10128	10080	6.14	67.88	0.67%
10102	10078	10090	6.99	16.97	0.17%
8471	8455	8463	9.59	11.31	0.13%
9423	9389	9406	5.43	24.04	0.26%
10257	10237	10247	10.21	14.14	0.14%
8658	8690	8674	11.48	22.63	0.26%
9861	9845	9853	7.22	11.31	0.11%
10364	10352	10358	8.29	8.49	0.08%
8483	8467	8475	5.83	11.31	0.13%
9865	9881	9873	5.17	11.31	0.11%

Fuente: propia

Del cuadro anterior se toman datos considerando aquellos en los cuales la desviación estándar y el coeficiente de variación sean mínimos; así mismo estos se comparan con los datos del equipo rugosímetro de merlín en los tramos seleccionados.

Tabla 12: Comparación datos BI con merlín

promedio	IRI Merlín
11270	6.56
10820	5.38
10090	6.99
8463	9.59
10247	10.21
9853	7.22
10358	8.29
8475	5.83
9873	5.17

Fuente: propia

Luego se procede a eliminar los puntos (11270,6.56; 10820,5.38; 10090,6.99; 8463,9.59; 10247,10.21; 9873,5.17) los cuales no guardan relación con los otros puntos que siguen un sentido creciente.

Se realiza la gráfica de los valores del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a de los tramos seleccionados vs los valores calculados con el equipo Merlín para los respectivos tramos.

Así mismo con la finalidad de obtener la ecuación que mejor representa los valores seleccionados se procede a trazar las gráficas de las ecuaciones de tendencia del tipo:

- Potencial
- Lineal
- Logarítmica
- Polinómica

Con su respectivo factor de correlación R^2 ; en este caso optamos por una ecuación lineal ya que tiene una tendencia creciente.



Figura 67: Lecturas BI vs Merlín

Fuente: propia

Entonces el valor del IRI será:

$$\text{IRI} = 0.0012 (\text{BI}) - 4.8079$$

Con la ecuación de calibración obtenida se procede a convertir las lecturas obtenidas con el rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a a unidades IRI para la evaluación del comportamiento de la vía en estudio.

A continuación, se procede a comparar los valores de IRI obtenidos con el rugosímetro Bump Integrator y con el equipo Merlín.

Tabla 13: Comparación entre IRI obtenido con BI y Merlín

IRI bump integrator	IRI Merlín
5.84	6.06
8.32	11.58
6.05	7.59
6.60	9.52
7.07	6.76
5.76	7.71
6.34	6.05
5.97	8.84
5.14	9.03
9.24	7.66
6.31	7.09
6.03	7.07
8.72	6.56
8.18	5.38
7.29	4.85
7.30	4.42
5.35	5.69
6.48	5.43
7.49	10.21
5.60	11.48
7.02	7.22
7.62	8.29
5.36	5.83
7.04	5.17

Fuente: propia

**3.6.1. Análisis de datos mediante el software para Smartphone ROADROID**

Se tienen los datos obtenidos mediante el software para Smartphone ROADROID en donde se muestran a continuación los datos del carril de bajada:

Tabla 14: datos ROADROID carril de bajada

DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI
10/04/2019 00:18	-13.519893	-71.972642	100	22.86	3429.74	0	3.6	1.04
10/04/2019 00:18	-13.5201101	-71.9717284	200	27.91	3430.21	0.47	4.46	1.76
10/04/2019 00:18	-13.5202482	-71.97092387	300	38.2	3426.73	-3.48	6.73	4.14
10/04/2019 00:18	-13.5204207	-71.96985085	400	38.64	3422.7	-4.03	8.5	4.98
10/04/2019 00:18	-13.5205674	-71.96899485	500	38.15	3410.92	-11.79	12.16	5.99
10/04/2019 00:19	-13.5207459	-71.96816679	600	33.53	3416.34	5.42	8.56	3.76
10/04/2019 00:19	-13.5212756	-71.96747807	700	28.75	3416.63	0.29	10.87	4.59
10/04/2019 00:19	-13.5212052	-71.96662336	800	39.32	3415.72	-0.91	9.29	4.64
10/04/2019 00:19	-13.5214956	-71.9657301	900	46.02	3412.13	-3.59	13.66	5.06
10/04/2019 00:19	-13.5217848	-71.96479091	1000	45.87	3411.72	-0.41	8.19	5.25
10/04/2019 00:19	-13.5220699	-71.96387925	1100	47.5	3409.07	-2.65	8.46	4.04
10/04/2019 00:19	-13.5222923	-71.96315826	1200	47.46	3406.83	-2.24	7.99	4.33
10/04/2019 00:20	-13.5226114	-71.96216954	1300	48.37	3404.28	-2.54	6.96	3.59
10/04/2019 00:20	-13.5228414	-71.96138572	1400	46.95	3402.76	-1.52	13.26	5.83
10/04/2019 00:20	-13.5231242	-71.9604097	1500	47.6	3398.09	-4.67	8.82	4.13
10/04/2019 00:20	-13.5233582	-71.95965039	1600	46.77	3393.83	-4.26	13.05	5.8
10/04/2019 00:20	-13.5236489	-71.95872848	1700	45.42	3393.25	-0.58	7.17	3.45
10/04/2019 00:20	-13.5239387	-71.95780689	1800	36.94	3389.88	-3.37	8.55	3.35
10/04/2019 00:20	-13.5242289	-71.95692994	1900	32.94	3386.29	-3.59	3.31	1.83
10/04/2019 00:21	-13.5244801	-71.95602942	2000	46.09	3384.3	-1.99	3.25	2.03
10/04/2019 00:21	-13.5247085	-71.95523943	2100	49.24	3381.89	-2.41	3.68	2.7
10/04/2019 00:21	-13.5250282	-71.95420186	2200	48.99	3379.95	-1.95	8.55	2.34

Fuente: propia



De igual manera se obtuvieron los datos del carril de subida en donde se detallan a continuación:

Tabla 15: datos ROADROID carril de subida

DateTime	Latitude	Longitude	Distance(m)	Speed (km/h)	Altitude (m)	Grade (%)	eIRI	cIRI
10/04/2019 00:50	-13.545915	-71.891118	100	34.11	3277.52	0	1.89	0.63
10/04/2019 00:50	-13.5456949	-71.8918977	200	46.56	3277.46	-0.07	4.74	2.17
10/04/2019 00:50	-13.5454366	-71.8928224	300	45.24	3277.85	0.4	2.88	1.72
10/04/2019 00:51	-13.5452116	-71.8937354	400	48.35	3277.23	-0.63	3.23	1.72
10/04/2019 00:51	-13.5448572	-71.8947691	500	53.67	3277.16	-0.06	3.85	1.78
10/04/2019 00:51	-13.5445324	-71.8954295	600	55.79	3276.87	-0.29	6.22	2.68
10/04/2019 00:51	-13.544008	-71.8963515	700	57.11	3278.41	1.54	4.59	2.17
10/04/2019 00:51	-13.5435229	-71.8970381	800	57.27	3280.39	1.98	4.81	2.11
10/04/2019 00:51	-13.5430427	-71.8976746	900	56.53	3281.6	1.22	7.78	2.95
10/04/2019 00:51	-13.5423798	-71.8985998	1000	57.47	3281.52	-0.08	4.51	2.43
10/04/2019 00:51	-13.5418961	-71.8992781	1100	59.32	3282.14	0.62	6.84	2.82
10/04/2019 00:51	-13.5414079	-71.8999674	1200	61.55	3283.3	1.16	3.97	1.88
10/04/2019 00:52	-13.5408215	-71.9007446	1300	64.47	3285.31	2.01	5.32	2.44
10/04/2019 00:52	-13.5401903	-71.9015981	1400	66.08	3289.32	4.01	7.14	3.91
10/04/2019 00:52	-13.5397388	-71.9022267	1500	65.63	3289.09	-0.23	4.98	3.85
10/04/2019 00:52	-13.5392789	-71.9028564	1600	62.7	3289.71	0.62	4.94	2.64
10/04/2019 00:52	-13.5387371	-71.9036521	1700	56	3297.03	7.32	8.58	3.94
10/04/2019 00:52	-13.5381292	-71.9045552	1800	55.59	3304.09	7.06	11.63	4.93
10/04/2019 00:52	-13.5377127	-71.9051904	1900	55.02	3299.03	-5.06	8.37	3.52
10/04/2019 00:52	-13.5371854	-71.9060411	2000	52.72	3288.63	-10.4	6.42	3.29
10/04/2019 00:52	-13.5366523	-71.9068546	2100	60.11	3285.78	-2.85	10.56	4.88
10/04/2019 00:52	-13.5361172	-71.9076733	2200	64.83	3287.84	2.06	6.15	5.02

Fuente: propia

Los datos mostrados anteriormente fueron un extracto de los primeros datos recopilados por lo que en los ANEXOS se muestran en su totalidad los datos recolectados. A partir de diferentes investigaciones por parte del equipo Roadroid se estableció el IRI calculado que al ser calibrado correctamente se obtiene resultados muy confiables en la medición de la rugosidad de las carreteras. Asimismo, pertenece a la clase 2 del método de precisión propuesto por Sayers (Sayers et al., 1986).

El cIRI se basa en el modelo del cuarto de carro planteado por el Banco Mundial y recomienda que durante la toma de datos para el cálculo del IRI sea a velocidad constante o a un rango entre los 60 a 80 km/h.

Debido a que la velocidad requerida para alcanzar el IRI calculado no fue de manera constante se tomó el IRI estimado como el que el mejor se ajuste al IRI real del pavimento estudiado.

A partir de los datos tomados se realizó un gráfico de dispersión del IRI estimado con relación a la distancia.

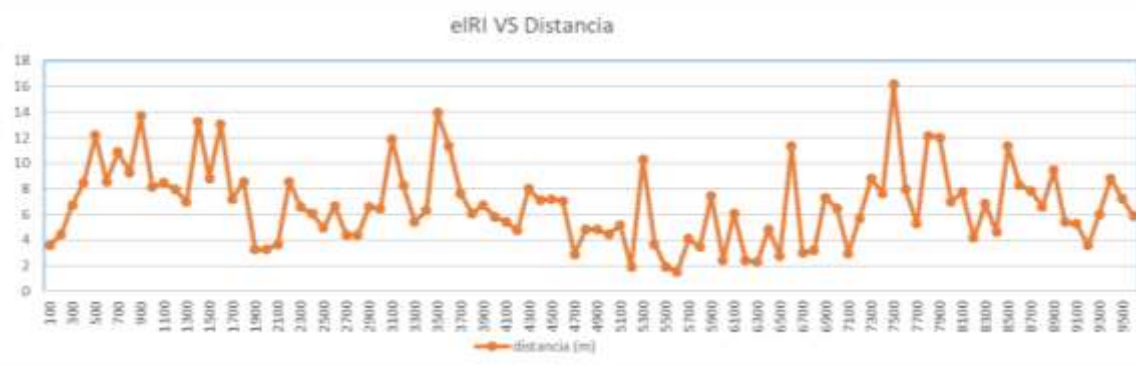


Figura 68: Gráfico de dispersión IRI vs Distancia para el carril de bajada en **m/km**

Fuente: propia

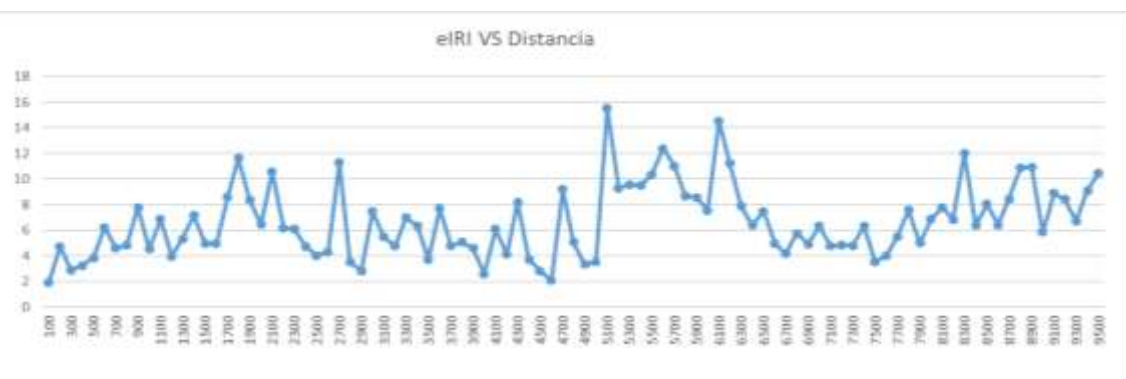


Figura 69: Gráfico de dispersión IRI vs Distancia para el carril de subida en **m/km**

Fuente: propia

Tanto en el carril de bajada como en el de subida se observan picos que alcanzan un Iri estimado (eIRI) de 16 m/km lo que nos indica que existen zonas muy críticas en la av.

La cultura, esto fue corroborado y se tratan de ahuellamientos muy profundos, párcches que existen a lo largo de la vía.

Asi mismo se puede observar que son tramos muy cortos que se encuentran entre los 2 m/km y 4 m/km en donde el manejo no es del todo bueno pero mejora la transitabilidad de vehiculos.

Continuando con el análisis de datos de los datos tomados con el ROADROID se tiene una leyenda según colores de la aplicación en donde se puede evaluar el estado de la vía.

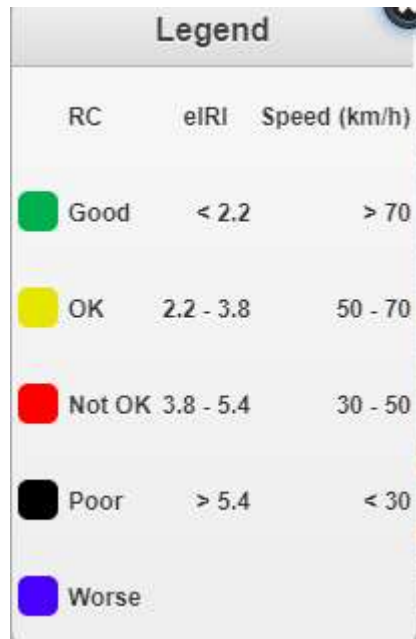


Figura 70: Análisis de datos mediante ROADROID

Fuente: Roadroid

A partir de la leyenda que nos muestra el Roadroid a continuación mostramos nuestros porcentajes de la condición de nuestra vía y el IRI promedio del carril de bajada.

Tabla 16: Análisis de datos mediante ROADROID

	condicion de la via	Eiri	velocidad permitida	datos tomados	porcentaje	eIRI promedio
	bueno	<2.2	>70	3	3.125	6.79270833
	de acuerdo	2.2-3.8	50-70	15	15.625	
	no satisfactorio	3.8-5.4	30-50	15	15.625	
	pobre	>5.4	<30	63	65.625	
	total	=		96	100	

Fuente: propia

Donde se muestra que el 65.625 % de nuestra vía en el sentido de bajada se encuentra con una condición de vía POBRE y las velocidades de manejo son menores a 30 km/h.

Al igual que en el sentido de bajada se hizo el análisis de porcentajes de la condición de nuestra vía y el IRI promedio del carril de subida.

Tabla 17: Análisis de datos mediante ROADROID

	condicion de la via	Eiri	velocidad permitida	datos tomados	porcentaje	eIRI promedio
	bueno	<2.2	>70	2	2.10526316	6.62894737
	de acuerdo	2.2-3.8	50-70	11	11.5789474	
	no satisfactorio	3.8-5.4	30-50	21	22.1052632	
	pobre	>5.4	<30	61	64.2105263	
	total	=		95	100	

Fuente: propia

En el sentido de subida de la av. La cultura al igual que en el sentido de bajada se observa que la mayor parte de datos tomados se encuentra con una condición de vía POBRE con un 64.210 % y la velocidad de manejo pueden variar entre 50 km/h a menores de 30 km/h.

Estos resultados son fiel reflejo al estado crítico de la vía en algunos sectores de la av. La cultura en donde se observan ahuellamientos muy pronunciados, grietas y demás problemas presentes en la vía.

A continuación, se observan fotos de la condición de la vía en sectores con problemas críticos en la zona de estudio.



Figura 71: Ahuellamientos profundos observados en la toma de datos mediante Rugosímetro de Merlín

Fuente: propia

Continuando con el análisis de datos mediante ROADROID se promediaron los datos cada 400 metros agrupando cada 4 datos ya que los datos recolectados mediante el rugosímetro de merlín y el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a. Fueron llevados cada 400 metros.

Tabla 18: Promedio de valores IRI cada 400 metros en el sentido de bajada

CARRIL DE BAJADA			CARRIL DE BAJADA			CARRIL DE BAJADA		
N°	eiri	promedio	N°	eiri	promedio	N°	eiri	promedio
1	3.6	5.8225	45	7.19	5.5075	89	9.44	5.9325
2	4.46		46	7.07		90	5.41	
3	6.73		47	2.9		91	5.28	
4	8.5		48	4.87		92	3.6	
5	12.16	10.22	49	4.83	4.0875	93	6.03	7.01
6	8.56		50	4.48		94	8.84	
7	10.87		51	5.14		95	7.28	
8	9.29		52	1.9		96	5.89	
9	13.66	9.575	53	10.33	4.3775	PROMEDIO		6.79270833
10	8.19		54	3.7				
11	8.46		55	1.93				
12	7.99		56	1.55				
13	6.96	10.5225	57	4.11	4.3625			
14	13.26		58	3.45				
15	8.82		59	7.44				
16	13.05		60	2.45				
17	7.17	5.57	61	6.1	3.925			
18	8.55		62	2.46				
19	3.31		63	2.28				
20	3.25		64	4.86				
21	3.68	6.2325	65	2.77	5.075			
22	8.55		66	11.33				
23	6.63		67	3.01				
24	6.07		68	3.19				
25	4.97	5.11	69	7.32	5.615			
26	6.67		70	6.47				
27	4.39		71	2.96				
28	4.41		72	5.71				
29	6.59	8.2975	73	8.78	10.1375			
30	6.47		74	7.67				
31	11.87		75	16.13				
32	8.26		76	7.97				
33	5.44	9.2575	77	5.28	9.11			
34	6.32		78	12.14				
35	13.94		79	12				
36	11.33		80	7.02				
37	7.66	6.58	81	7.75	5.85			
38	6.11		82	4.17				
39	6.71		83	6.84				
40	5.84		84	4.64				
41	5.42	6.33	85	11.32	8.5175			
42	4.78		86	8.29				
43	8.02		87	7.84				
44	7.1		88	6.62				

Fuente: propia

Tabla 19: Promedio de valores IRI cada 400 metros en el sentido de subida

CARRIL DE SUBIDA			CARRIL DE SUBIDA			CARRIL DE SUBIDA		
N°	eiri	promedio	N°	eiri	promedio	N°	eiri	promedio
1	1.89	3.185	45	2.83	4.7875	89	10.95	8.52
2	4.74		46	2.08		90	5.84	
3	2.88		47	9.19		91	8.88	
4	3.23		48	5.05		92	8.41	
5	3.85	4.8675	49	3.34	7.9175	93	6.7	8.74333333
6	6.22		50	3.54		94	9.08	
7	4.59		51	15.51		95	10.45	
8	4.81		52	9.28		PROMEDIO		
9	7.78	53	9.57					
10	4.51	5.775	54	9.49	10.445			
11	6.84		55	10.34				
12	3.97		56	12.38				
13	5.32	5.595	57	11	8.94			
14	7.14		58	8.68				
15	4.98		59	8.55				
16	4.94		60	7.53				
17	8.58	8.75	61	14.52	10.01			
18	11.63		62	11.24				
19	8.37		63	7.9				
20	6.42		64	6.38				
21	10.56	6.8875	65	7.49	5.5975			
22	6.15		66	4.98				
23	6.1		67	4.17				
24	4.74		68	5.75				
25	4.01	5.775	69	4.91	5.205			
26	4.32		70	6.31				
27	11.27		71	4.77				
28	3.5		72	4.83				
29	2.82	5.1275	73	4.78	4.6475			
30	7.45		74	6.3				
31	5.49		75	3.5				
32	4.75		76	4.01				
33	6.97	6.1825	77	5.48	6.225			
34	6.35		78	7.57				
35	3.73		79	5.01				
36	7.68		80	6.84				
37	4.77	4.2475	81	7.79	8.2425			
38	5.05		82	6.83				
39	4.58		83	11.99				
40	2.59		84	6.36				
41	6.07	5.5225	85	8.04	8.4275			
42	4.11		86	6.4				
43	8.2		87	8.42				
44	3.71		88	10.85				

Fuente: propia

4. CAPITULO IV: RESULTADOS.

Haciendo uso de la formula obtenida del Manual de Carreteras Conservación Vial-2013 la cual relaciona el pIRI con el cIRI a la confiabilidad del 95% con la siguiente expresión:(IRIc) a la confiabilidad de 95% **IRIc= IRIp + 1.645 x ds**

Dónde:

$$IRIp = \text{IRI promedio}$$

$$Ds = \text{desviación estándar}$$

En las tablas 20, 21 y 22, se realizó la comparación del pIRI y el cIRI mencionados en una de las sub hipótesis de la investigación para cada uno de los equipos usados en la obtención del índice de rugosidad internacional.

Tabla 20: Bump Integrator B1-100a Iri Promedio Vs Iri Calculado

Bump integrator b1-100a			
IRI promedio VS IRI calculado			
progresivas		pIRI	cIRI
00+000	00+400	3.68	4.19
00+400	00+800	4.05	4.56
00+800	1+200	3.76	4.27
1+200	1+600	4.08	4.59
1+600	2+000	3.65	4.16
2+000	2+400	3.63	4.14
2+400	2+800	3.93	4.44
2+800	3+200	3.97	4.48
3+200	3+600	4.02	4.53
3+600	4+000	4.25	4.76
4+000	4+400	4.16	4.67
4+400	4+800	4.13	4.65
4+800	5+200	4.43	4.94
5+200	5+600	3.83	4.35
5+600	6+000	3.94	4.45
6+000	6+400	3.94	4.45
6+400	6+800	4.40	4.91
6+800	7+200	4.66	5.17
7+200	7+600	4.66	5.17
7+600	8+000	3.64	4.15
8+000	8+400	3.75	4.26
8+400	8+800	3.65	4.16
8+800	9+200	3.78	4.29
9+200	9+600	3.72	4.23
promedio		3.99	4.50

Fuente: propia



Tabla 21: Rugosímetro de Merlín Iri Promedio Vs Iri Calculado

Rugosímetro de Merlín			
IRI promedio VS IRI calculado			
progresivas		pIRI	cIRI
00+000	00+400	3.36	3.87
00+400	00+800	3.88	4.39
00+800	1+200	4.36	4.87
1+200	1+600	3.58	4.09
1+600	2+000	4.08	4.59
2+000	2+400	3.56	4.07
2+400	2+800	3.65	4.16
2+800	3+200	4.30	4.82
3+200	3+600	3.73	4.24
3+600	4+000	3.73	4.24
4+000	4+400	4.22	4.73
4+400	4+800	3.67	4.18
4+800	5+200	3.16	3.68
5+200	5+600	3.68	4.19
5+600	6+000	3.80	4.31
6+000	6+400	3.41	3.92
6+400	6+800	3.90	4.41
6+800	7+200	3.61	4.12
7+200	7+600	4.48	4.99
7+600	8+000	4.18	4.70
8+000	8+400	4.02	4.53
8+400	8+800	4.89	5.40
8+800	9+200	4.48	5.00
9+200	9+600	3.54	4.05
promedio		3.89	4.40

Fuente: propia

Tabla 22: ROADROID Iri Promedio Vs Iri Calculado

ROADROID			
IRI promedio VS IRI calculado			
progresivas		pIRI	cIRI
00+000	00+400	3.19	3.70
00+400	00+800	3.20	3.71
00+800	1+200	3.21	3.72
1+200	1+600	3.22	3.73
1+600	2+000	3.23	3.74
2+000	2+400	3.24	3.75
2+400	2+800	3.25	3.76
2+800	3+200	3.26	3.77
3+200	3+600	3.27	3.78
3+600	4+000	3.28	3.79
4+000	4+400	3.29	3.80
4+400	4+800	3.07	3.58
4+800	5+200	2.85	3.36
5+200	5+600	2.86	3.37
5+600	6+000	2.86	3.38
6+000	6+400	2.87	3.38
6+400	6+800	2.87	3.39
6+800	7+200	2.88	3.39
7+200	7+600	2.89	3.40
7+600	8+000	2.89	3.40
8+000	8+400	2.90	3.41
8+400	8+800	2.90	3.41
8+800	9+200	2.91	3.42
9+200	9+600	2.73	3.24
promedio		3.04	3.56

Fuente: propia

De los cIRI de las tablas 20, 21 y 22, se procedió a hacer la comparación del IRI entre los tres equipos de medición, obteniendo la siguiente tabla resumen del carril de subida en el tramo de estudio.

Tabla 23: Comparación del cIRI para el rugosímetro de Merlín, bump integrator y ROADROID.

Progresivas		Bump integrator	R. Merlín	ROADROID
00+000	00+400	4.19	3.87	3.70
00+400	00+800	4.56	4.39	3.71
00+800	1+200	4.27	4.87	3.72
1+200	1+600	4.59	4.09	3.73
1+600	2+000	4.16	4.59	3.74
2+000	2+400	4.14	4.07	3.75
2+400	2+800	4.44	4.16	3.76
2+800	3+200	4.48	4.82	3.77
3+200	3+600	4.53	4.24	3.78
3+600	4+000	4.76	4.24	3.79
4+000	4+400	4.67	4.73	3.80
4+400	4+800	4.65	4.18	3.58
4+800	5+200	4.94	3.68	3.36
5+200	5+600	4.35	4.19	3.37
5+600	6+000	4.45	4.31	3.38
6+000	6+400	4.45	3.92	3.38
6+400	6+800	4.91	4.41	3.39
6+800	7+200	5.17	4.12	3.39
7+200	7+600	5.17	4.99	3.40
7+600	8+000	4.15	4.70	3.40
8+000	8+400	4.26	4.53	3.41
8+400	8+800	4.16	5.40	3.41
8+800	9+200	4.29	5.00	3.42
9+200	9+600	4.23	4.05	3.24
Promedio		4.50	4.40	3.56

Fuente: propia

Calculando el coeficiente de correlación para los valores del cIRI del rugosímetro electrónico Bump integrator b1-100a y el aplicativo ROADROID con respecto al rugosímetro de Merlín tenemos que la variación promedio para el carril de subida y para el carril de bajada es de 1.33% y 36.51% respectivamente.

porcentaje de variacion	porcentaje de variacion
1.33%	36.51%

De los pIRI de las tablas 20, 21 y 22, se procedió a hacer la comparación del IRI entre los tres equipos de medición, obteniendo la siguiente tabla resumen del carril de subida en el tramo de estudio.

Tabla 24: IRI promedio carril de bajada

Progresivas		Bump integrator	R. Merlín	ROADROID
00+000	00+400	3.68	3.36	3.19
00+400	00+800	4.05	3.88	3.20
00+800	1+200	3.76	4.36	3.21
1+200	1+600	4.08	3.58	3.22
1+600	2+000	3.65	4.08	3.23
2+000	2+400	3.63	3.56	3.24
2+400	2+800	3.93	3.65	3.25
2+800	3+200	3.97	4.30	3.26
3+200	3+600	4.02	3.73	3.27
3+600	4+000	4.25	3.73	3.28
4+000	4+400	4.16	4.22	3.29
4+400	4+800	4.13	3.67	3.07
4+800	5+200	4.43	3.16	2.85
5+200	5+600	3.83	3.68	2.86
5+600	6+000	3.94	3.80	2.86
6+000	6+400	3.94	3.41	2.87
6+400	6+800	4.40	3.90	2.87
6+800	7+200	4.66	3.61	2.88
7+200	7+600	4.66	4.48	2.89
7+600	8+000	3.64	4.18	2.89
8+000	8+400	3.75	4.02	2.90
8+400	8+800	3.65	4.89	2.90
8+800	9+200	3.78	4.48	2.91
9+200	9+600	3.72	3.54	2.73
Promedio		3.99	3.89	3.04

Fuente: propia

Se procedió a calcular el coeficiente de variación de Pearson para la verificación de la variación de los índices de rugosidad de los equipos bump integrator b1-100a y el aplicativo para Smartphone ROADROID con respecto al rugosímetro de Merlín.



Tabla 25: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.

R. Merlín	B. integrator	Mi-fi	Bi-fi	Mi-Bi
3.36	3.68	11.28	13.55	12.36
3.88	4.05	15.06	16.41	15.72
4.36	3.76	19.02	14.16	16.41
3.58	4.08	12.79	16.67	14.60
4.08	3.65	16.64	13.29	14.87
3.56	3.63	12.65	13.19	12.91
3.65	3.93	13.32	15.46	14.35
4.30	3.97	18.52	15.77	17.09
3.73	4.02	13.94	16.19	15.02
3.73	4.25	13.94	18.02	15.85
4.22	4.16	17.78	17.32	17.54
3.67	4.13	13.49	17.09	15.18
3.16	4.43	10.01	19.58	14.00
3.68	3.83	13.54	14.70	14.11
3.80	3.94	14.44	15.54	14.98
3.41	3.94	11.60	15.55	13.43
3.90	4.40	15.18	19.32	17.13
3.61	4.66	13.01	21.71	16.81
4.48	4.66	20.06	21.71	20.87
4.18	3.64	17.51	13.27	15.24
4.02	3.75	16.17	14.03	15.06
4.89	3.65	23.90	13.29	17.82
4.48	3.78	20.11	14.31	16.96
3.54	3.72	12.51	13.80	13.14

Fuente: propia

Dónde:

Coef. de correlacion	porcentaje de variacion
-0.16	2.66%

El rugosímetro Bump integrator b1-100a tiene un porcentaje variación del 2.66% con respecto al rugosímetro de Merlín para el carril de subida de la Av. La Cultura.

Tabla 26: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.

R. Merlín	ROADROID	Mi-fi	Ri-fi	Mi-Ri
3.36	3.19	11.28	10.14	10.70
3.88	3.20	15.06	10.21	12.40
4.36	3.21	19.02	10.27	13.98
3.58	3.22	12.79	10.34	11.50
4.08	3.23	16.64	10.40	13.15
3.56	3.24	12.65	10.47	11.50
3.65	3.25	13.32	10.53	11.84
4.30	3.26	18.52	10.60	14.01
3.73	3.27	13.94	10.66	12.19
3.73	3.28	13.94	10.73	12.23
4.22	3.29	17.78	10.79	13.85
3.67	3.07	13.49	9.42	11.27
3.16	2.85	10.01	8.14	9.03
3.68	2.86	13.54	8.17	10.52
3.80	2.86	14.44	8.20	10.88
3.41	2.87	11.60	8.23	9.77
3.90	2.87	15.18	8.26	11.20
3.61	2.88	13.01	8.30	10.39
4.48	2.89	20.06	8.33	12.92
4.18	2.89	17.51	8.36	12.10
4.02	2.90	16.17	8.39	11.65
4.89	2.90	23.90	8.42	14.19
4.48	2.91	20.11	8.46	13.04
3.54	2.73	12.51	7.46	9.66

Fuente: propia

Dónde:

Coef. de correlacion	porcentaje de variacion
0.01	0.0042%

El aplicativo ROADROID tiene un porcentaje variación del 0.0042% con respecto al rugosímetro de Merlín para el carril de subida de la Av. La Cultura.

De la Tabla 24: IRI promedio carril de bajada resumen se obtiene que el promedio de los IRI para los equipos Bump Integrator, Rugosímetro de Merlín y Roadroid es de 3.99m/km, 3.89m/km y 3.04m/km respectivamente, teniendo un promedio general de 3.64m/km el cual es un valor por encima del máximo permitido por la norma NTP CE0.10 de pavimentos urbanos de 2.5m/km.

Así mismo se realizó la figura de comparación de la tabla 23 resumen de los datos obtenidos, obteniendo los siguientes resultados:

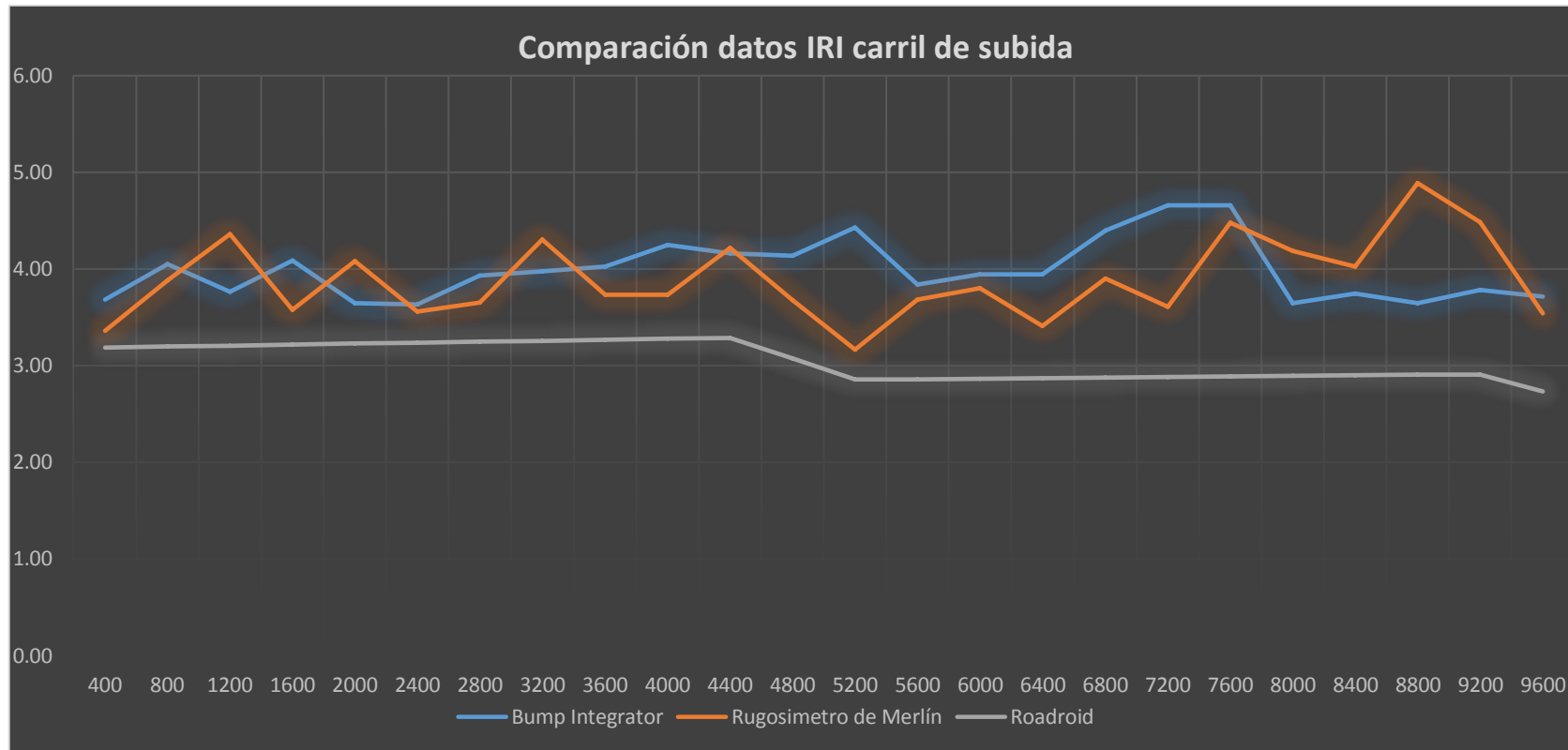


Figura 72: comparación de datos IRI carril de subida

Fuente: propia

De la misma manera se realizó la comparación de resultados para el carril de bajada obteniéndose la siguiente tabla resumen.

Tabla 27: IRI carril de bajada

Progresivas		Bump integrator	R. Merlín	ROADROID
00+000	00+400	5.84	6.06	5.82
00+400	00+800	8.32	11.58	10.22
00+800	1+200	6.05	7.59	9.58
1+200	1+600	6.60	9.52	10.52
1+600	2+000	7.07	6.76	5.57
2+000	2+400	5.76	7.71	6.23
2+400	2+800	6.34	6.05	5.11
2+800	3+200	5.97	8.84	8.30
3+200	3+600	5.14	9.03	9.26
3+600	4+000	9.24	7.66	6.58
4+000	4+400	6.31	7.09	6.33
4+400	4+800	6.03	7.07	5.51
4+800	5+200	8.72	6.56	4.09
5+200	5+600	8.18	5.38	4.38
5+600	6+000	7.29	4.85	4.36
6+000	6+400	7.30	4.42	3.93
6+400	6+800	5.35	5.69	5.08
6+800	7+200	6.48	5.43	5.62
7+200	7+600	7.49	10.21	10.14
7+600	8+000	5.60	11.48	9.11
8+000	8+400	7.02	7.22	5.85
8+400	8+800	7.62	8.29	8.52
8+800	9+200	5.36	5.83	5.93
9+200	9+600	7.04	5.17	7.01
promedio		6.75	7.31	6.79

Fuente: propia

De la tabla 24 resumen se obtiene que el promedio de los IRI para los equipos Bump Integrator, Rugosímetro de Merlín y Roadroid es de 6.75m/km, 7.31m/km y 6.79m/km respectivamente, teniendo un promedio general de 6.95m/km el cual es un valor por encima del máximo permitido por la norma NTP CE0.10 de pavimentos urbanos de 2.5m/km.

Se procedió a calcular el coeficiente de variación de Pearson para la verificación de la variación de los índices de rugosidad de los equipos bump integrator b1-100a y el aplicativo para Smartphone ROADROID con respecto al rugosímetro de Merlín.

Tabla 28: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.

R. Merlin	B. integrator	Mi-fi	Bi-fi	Mi-Bi
6.06	5.84	36.68	34.07	35.35
11.58	8.32	134.17	69.22	96.37
7.59	6.05	57.56	36.64	45.92
9.52	6.60	90.70	43.52	62.83
6.76	7.07	45.71	49.96	47.79
7.71	5.76	59.40	33.16	44.38
6.05	6.34	36.54	40.17	38.31
8.84	5.97	78.07	35.69	52.78
9.03	5.14	81.57	26.38	46.39
7.66	9.24	58.64	85.45	70.79
7.09	6.31	50.27	39.80	44.73
7.07	6.03	49.97	36.35	42.62
6.56	8.72	43.02	75.97	57.17
5.38	8.18	28.96	66.85	44.00
4.85	7.29	23.57	53.12	35.38
4.42	7.30	19.54	53.29	32.27
5.69	5.35	32.34	28.60	30.41
5.43	6.48	29.53	41.98	35.21
10.21	7.49	104.23	56.08	76.45
11.48	5.60	131.90	31.37	64.33
7.22	7.02	52.08	49.22	50.63
8.29	7.62	68.78	58.09	63.21
5.83	5.36	33.95	28.75	31.24
5.17	7.04	26.75	49.56	36.41

Dónde:

Coef. de correlacion	porcentaje de variacion
-0.01	0.0032%

El rugosímetro Bump integrator b1-100a tiene un porcentaje de variación del 0.0032% con respecto al rugosímetro de Merlín para el carril de subida de la Av. La Cultura.

Tabla 29: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.

R. Merlín	ROADROID	Mi-fi	Ri-fi	Mi-Ri
6.06	5.82	36.68	33.90	35.26
11.58	10.22	134.17	104.45	118.38
7.59	9.58	57.56	91.68	72.64
9.52	10.52	90.70	110.72	100.21
6.76	5.57	45.71	31.02	37.66
7.71	6.23	59.40	38.84	48.03
6.05	5.11	36.54	26.11	30.89
8.84	8.30	78.07	68.85	73.31
9.03	9.26	81.57	85.70	83.61
7.66	6.58	58.64	43.30	50.39
7.09	6.33	50.27	40.07	44.88
7.07	5.51	49.97	30.33	38.93
6.56	4.09	43.02	16.71	26.81
5.38	4.38	28.96	19.16	23.56
4.85	4.36	23.57	19.03	21.18
4.42	3.93	19.54	15.41	17.35
5.69	5.08	32.34	25.76	28.86
5.43	5.62	29.53	31.53	30.51
10.21	10.14	104.23	102.77	103.50
11.48	9.11	131.90	82.99	104.63
7.22	5.85	52.08	34.22	42.22
8.29	8.52	68.78	72.55	70.64
5.83	5.93	33.95	35.19	34.56
5.17	7.01	26.75	49.14	36.26

Dónde:

Coef. de correlacion	porcentaje de variacion
0.85	73.02%

El aplicativo ROADROID tiene un porcentaje variación del 73.02% con respecto al rugosímetro de Merlín para el carril de subida de la Av. La Cultura.

Así mismo se realizó el gráfico comparativo de la tabla 24 resumen de los datos obtenidos, obteniendo los siguientes resultados:

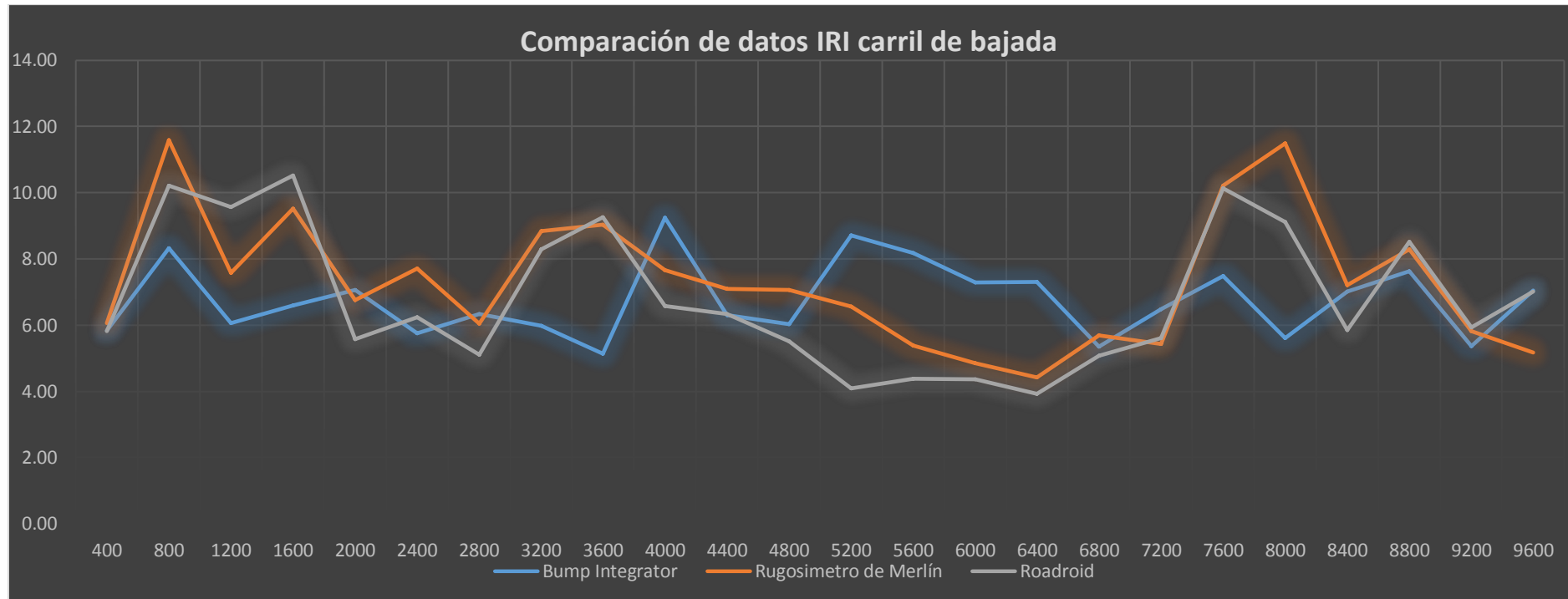


Figura 73: comparación de datos IRI carril de bajada

Fuente: propia

Para el cálculo del PSR (ratio de serviciabilidad presente) se hizo uso de la siguiente expresión

$$PSR = 5(e^{-0.26IRI})$$

La cual se obtuvo del Libro: IMPORTANCIA DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS AFALTICOS EN CALIENTE y hace relación entre el IRI con el PSR.

Tabla 30: Calculo del PSR respecto al pIRI

BUMP INTEGRATOR B1-100A			
IRI ESTIMADO VS PSR			
progresivas		pIRI	PSR
00+000	00+400	3.68	1.92
00+400	00+800	4.05	1.74
00+800	1+200	3.76	1.88
1+200	1+600	4.08	1.73
1+600	2+000	3.65	1.94
2+000	2+400	3.63	1.95
2+400	2+800	3.93	1.80
2+800	3+200	3.97	1.78
3+200	3+600	4.02	1.76
3+600	4+000	4.25	1.66
4+000	4+400	4.16	1.69
4+400	4+800	4.13	1.71
4+800	5+200	4.43	1.58
5+200	5+600	3.83	1.84
5+600	6+000	3.94	1.79
6+000	6+400	3.94	1.79
6+400	6+800	4.40	1.59
6+800	7+200	4.66	1.49
7+200	7+600	4.66	1.49
7+600	8+000	3.64	1.94
8+000	8+400	3.75	1.89
8+400	8+800	3.65	1.94
8+800	9+200	3.78	1.87
9+200	9+600	3.72	1.90
promedio		3.99	1.78

Fuente: propia

En la tabla 25 se realizó el cálculo del PSR siendo esta una medida para los datos del rugosímetro electrónico Bump Integrator del carril de subida del tramo en estudio con un promedio de 1.78.



Se realizó el mismo cálculo para los valores del Rugosímetro de Merlín y Roadroid dando como resultados 1.83 y 2.27 respectivamente y un promedio general para el carril de subida el valor de 1.96.

Así mismo se realizó el mismo procedimiento para el carril de bajada teniendo un promedio general el valor de 0.9.

Para la interpretación de los datos obtenidos del PSR se hizo uso del siguiente cuadro:

Tabla 31: valores de PSR

PSR	CONDICION
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Pobre
1-0	Muy Pobre

Fuente: (Lavaud, 2011)

Teniendo como valores para el carril de bajada y para el de subida 1.96 y 0.9 respectivamente, la calificación para el PSR varía en el rango de Pobre a muy pobre.

5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.

- Según el PSR calculado para el carril de bajada el estado de la vía se encuentra en una condición MUY POBRE lo cual indica que requiere de un mantenimiento; así mismo el carril de subida se encuentra en una condición POBRE.
- Se realizó una sectorización en base al IRI en donde se delimitó por distritos para así poder determinar el PSR, esta operación se realizó en ambos sentidos de la av. La cultura; en donde presentamos a continuación las tablas con el PSR de cada distrito:

PSR WANCHAQ – PSR SAN JERONIMO

DISTRITO (SENTIDO BAJADA)	PSR	PSR	CONDICION
San jerónimo	0.78	1-0	MUY POBRE
San Sebastián(flexible)	0.88	1-0	MUY POBRE
San Sebastián(rígido)	1.25	2-1	POBRE
Wanchaq	1.38	2-1	POBRE

PSR SAN JERONIMO – PSR WANCHAQ

DISTRITO (SENTIDO SUBIDA)	PSR	PSR	CONDICION
San jerónimo	1.51	2-1	POBRE
San Sebastián(flexible)	1.44	2-1	POBRE
San Sebastián(rígido)	1.11	2-1	POBRE
Wanchaq	1.41	2-1	POBRE

- Se realizó un estudio por distritos tomando los tramos que pertenecen a Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo esto con la finalidad de las instituciones estatales como municipalidades tomen cartas en el asunto sobre el estado actual del estado de la vía.
- La infraestructura vial de una ciudad trae consigo efectos positivos para el desarrollo de la sociedad, por lo que a raíz de esto se determina la importancia de tomar en cuenta la satisfacción de los usuarios el cual se ve principalmente en la calidad del pavimento y demás elementos que constituyen la seguridad vial.



Hoy en día se utiliza el índice de rugosidad internacional (IRI) que comprende aspectos sobre el deterioro funcional del pavimento.

- Se identificó que en nuestra ciudad no existe un sistema de Gestión de Carreteras en donde se especifique la calidad del servicio que se presta (serviciabilidad) lo cual genera un desconocimiento total del estado real de la Red Vial Nacional y la identificación de las deficiencias existentes con el fin de medir el nivel de deterioro. Así mismo sabemos que el índice de rugosidad internacional (IRI) es un factor que está relacionado directamente con el estado estructural de una vía, es por este motivo que se ha establecido como un elemento principal en el análisis de costos de mantenimiento de las carreteras y costos de los usuarios que la transitan, por lo que es necesario medir y evaluar periódicamente para así desarrollar programas de mantenimiento adecuados y oportunos.
- Es de suma importancia la participación de los diferentes municipios a lo largo de la ciudad en la av. De la cultura; en particular para la provisión de información lo cual permita mejorar la gestión de mantenimiento de la infraestructura vial en la av. De la cultura.
- La metodología de medición que se lleva a cabo en nuestro país son antiguas, empleándose instrumentos tipo estáticos denominado RUGOSIMETRO DE MERLIN, otro tipo respuesta denominado BUMP INTEGRATOR de uso muy limitado tanto en cantidad de proyectos, como también en calidad de resultados, debido fundamentalmente a aspectos de calibración, pudiendo utilizarse métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros y en la actualidad software como en el caso nuestro en el cual se utilizó el RODROID o cualquier otro método.

La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, se realizará en toda la longitud de la obra concluida, registrando mediciones parciales para cada 400 metros. La rugosidad, en términos IRI, tendrá un valor máximo de 2,0 m/km. En el caso de que no se cumpla este parámetro, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactado, con la finalidad de tomar las medidas correctas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura. Estas especificaciones, pueden ser consideradas aceptables, pues el cálculo del valor de IRI considera un perfil longitudinal, que es la mejor forma conocida actualmente para reproducir el perfil real de un camino de una forma rápida y representativa, pero no es óptima



en el sentido de que depende de la longitud del tramo a muestrear, lo que en algunos casos no permitiría detectar defectos puntuales del camino.

- Los valores de IRI que se dan entre 1m/km y 2m/km es casi imperceptible por un conductor que transita a lo largo de una vía, debido a que la rugosidad es muy buena e indica que la carretera está en muy buenas condiciones. Como se observó en nuestra vía de estudio estos valores quedan por debajo de los obtenidos y lo cual indica que la av. De la cultura se encuentra en malas condiciones. Por otro lado la aplicación del software Roadroid en nuestro presente estudio refleja un buen desempeño al mostrar los resultados, no presenta gran diferencia con lo calculado por el rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100^a y el Rugosímetro de Merlín. Además, de presentar ventajas prácticas con respecto a los otros equipos de medición de IRI ya mencionados anteriormente.

**GLOSARIO.**

Acelerómetro: Instrumento que sirve para medir la aceleración de movimiento de un vehículo.

Ahuellamiento: Es una deformación permanente en la estructura y la cual es generada, especialmente, por un exceso en el tráfico, cargas elevadas por eje, malos procesos constructivos y altas temperaturas de servicio.

Bump integrator: Proporciona una evaluación cuantitativa integrada de las irregularidades de la superficie en una pantalla LCD de contador I digital. Se compone de un remolque de una sola rueda, con un neumático montado en un chasis, en el que está instalado un dispositivo de integración.

Confort: es una sensación óptima compleja, que depende de factores físicos, fisiológicos, sociológicos y psicológicos, en donde el cuerpo humano se siente satisfecho y no necesita luchar con agentes nocivos e incómodos, ya que se encuentra en equilibrio con el entorno.

(Martínez, 2011)

Correlaciones: En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas.

IRI: Índice de rugosidad internacional

PSR: ratio de serviciabilidad presente

PSI: índice de serviciabilidad presente

Prototipo: Es un ejemplar o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa.

Pavimento: Un pavimento es una estructura que descansa sobre el terreno de fundación

(Subrasante), conformado por capas de materiales de diferentes calidades cuyos espesores están dados de acuerdo al diseño del proyecto y construido con la finalidad de soportar cargas estáticas y móviles en su tiempo de vida útil. (Bustios, 2015)

Rugosidad: Desde el punto de vista de la ciencia e ingeniería de materiales, la rugosidad es la descripción del conjunto de particularidades geométricas naturales o artificiales que caracterizan a una superficie a nivel microscópico. (Mendoza, 2014)

Serviciabilidad: Es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. (Hernan de Solminihac T., 2001)

Sistemas RTRRMS: Son los Sistemas Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos y se encuentra definido en sus siglas en ingles RTRRMS.



CONCLUSIONES.

- Se determinó de la hipótesis general “Al obtener los resultados del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a y el aplicativo para Smartphone Roadroid con respecto al rugosímetro de Merlín se tiene una variación entre los valores del índice de rugosidad internacional.” que los valores hallados mediante el aplicativo ROADROID y rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a varían con respecto al rugosímetro de Merlín de la siguiente manera; para el sentido de bajada (plaza Limacpampa - paradero control), el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a con respecto al rugosímetro de merlín tienen una variación de un 0.0032% y el aplicativo Roadroid con respecto al rugosímetro de merlín en un 73.02% (verificar Tabla 28: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín. y Tabla 29: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.) de igual manera para el sentido de subida (paradero control – plaza Limacpampa) el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a con respecto al rugosímetro de merlín tienen una variación de 2.66% y el aplicativo Roadroid con respecto al rugosímetro de merlín tienen una variación de 0.0042%.(verificar Tabla 25: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.y Tabla 26: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.)
- Se verificó parcialmente para la sub hipótesis número uno que el valor obtenido para el índice de rugosidad internacional del rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a, rugosímetro de Merlín y el aplicativo para Smartphone Roadroid en la Av. La Cultura es válido según los parámetros de la NTP CE.010 donde indica que el valor máximo para este tipo de vías es de 2.5m/km para los datos del aplicativo ROADROID en tramos de 100m con un IRI menor a 2.5m/km (verificar Tabla 18: Promedio de valores IRI cada 400 metros en el sentido de bajada y Tabla 19: Promedio de valores IRI cada 400 metros en el sentido de subida); mas no en el resto de la vía que tiene un promedio de 6.95 m/km para su índice de rugosidad internacional en el carril de bajada y 3.64 m/km para su índice de rugosidad internacional en el carril de subida.
- Se determinó para la sub hipótesis número dos “El índice de rugosidad internacional calculado mediante el aplicativo para Smartphone ROADROID varía con respecto a la rugosidad internacional calculada por los métodos de



rugosímetro de Merlín y el rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a.” que el índice de rugosidad calculado (cIRI) para el carril de subida y para el carril de bajada tienen un promedio de variación de 1.33% y 36.51% respectivamente (verificar Tabla 23: Comparación del cIRI para el rugosímetro de Merlín, bump integrator y ROADROID.)

- Se determinó según la tabla del (PSR) ratio de serviciabilidad presente Tabla 1: PSR (Present Serviceability Rating) y para la sub hipótesis número tres “El ratio de serviciabilidad presente (PSR) para el pavimento de la Av. La Cultura se encuentra en una condición de estado de vía mala.” que los valores del PSR de la vía varían en un rango de “0-2” teniendo una calificación de estado de vía de mala y muy mala; lo cual confirma que el pavimento de la Av. La Cultura se encuentra malgastado y con presencia de irregularidades en su superficie.
- Para la sub hipótesis número cuatro se determinó que la variación para los resultados del IRI mediante el aplicativo para Smartphone ROADROID, rugosímetro de Merlín y rugosímetro electrónico Bump Integrator b1-100a. en los carriles críticos estudiados de la Av. La Cultura tienen un promedio de porcentaje de variación de 18.92%. (verificar Tabla 25: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín., Tabla 26: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín., Tabla 28: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín. y Tabla 29: Calculo del coeficiente de correlación de Pearson con respecto al rugosímetro de Merlín.)



RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar a las entidades públicas la medición del índice de rugosidad internacional de todas las vías dentro de la ciudad del cusco para contar con información sobre el estado actual en el que se encuentran las vías; así mismo estas mediciones pueden ser llevadas mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid ya que el empleo de esta aplicación no requiere el tiempo ni costo a diferencia de otros equipos que para su utilización y empleo implican mayor tiempo de operación y costos muy elevados.
- Es recomendable realizar los ensayos de medición del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a y ROADROID en horarios donde el tráfico sea mínimo o nulo para obtener datos menos alterados.
- De acuerdo a los valores obtenidos en la investigación se recomienda realizar un mantenimiento en la av. La cultura de la ciudad del Cusco ya que el índice de rugosidad internacional (IRI) está por encima de los permitidos en la norma NTP CE.010.
- Es necesario realizar un monitoreo periódico de la vía, o de cualquier otra vía nueva o ya construida cada seis meses con la finalidad de verificar la evolución del índice de rugosidad superficial (IRI); esto con la finalidad de tener realizar un mejor análisis del comportamiento de las vías en el transcurso del tiempo.
- Al momento de realizar la calibración del rugosímetro electrónico bump integrator b1-100a elegir tramos rectos en lo posible. De no ser así en caso de que en la ruta no existan tramos rectos elegir tramos con el menor número de curvas y que estas sean abiertas para obtener una ecuación de correlación consistente.

**REFERENCIAS.**

- Alfonso Montejo Fonseca. (2002). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS*. Bogotá: Agora Editores.
- Asencios, D. V. (2016). *mediciony comparacion de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de huanuco: mediante smartphone y un metodo tradicional*. Lima.
- Behar Rivero, Daniel. (2008). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Bogotá: SHALOM.
- Bustios, R. R. (2015). *Calculo Del indice de condicion del pavimento PCI*. LIMA.
- Castro, B. S. (2014). “Cálculo del IRI mediante acelerómetro de Smartphone en el tramo Huarmey - Casma de la carretera Panamericana Norte”. Lima.
- César Fernando Brito Galarza, L. G. (2014). “Efecto de la condición de la superficie de rodamiento en la estimación de la capacidad vial y el nivel de servicio aplicando la metodología HCM, en la vía zhud – biblián”. Ecuador.
- Cundill M. A. (1990). *MERLIN A LOW COST MACHINE FOR MEASURING ROAD ROUGHNESS IN DEVELOPING COOUNTRIES*. Crowthorne: Transportation Research Record 1291.
- De SOLMINIHAC T., H. (s.f.). *GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL 2ª Ed. Ampliada*.
explorable.com. (17 de mayo de 2009). Obtenido de *explorable.com*:
<https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>
- Forslöf. (2013).
- Hernan de Solminihac T. (2001). *Gestión de infraestructura vial*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Hernández Sampieri, Roberto; Zapata Salazar, Nancy Elena; Mendoza Torres, Christian Paulina. (2000). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PARA BACHILLERATO*. Mexico: McGraw-Hill.
- Hernández, Roberto; Fernández, Carlos; Pilar, Baptista. (2010). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Mexico: McGraw-Hill.
- Hirpahuanca, D. L. (2016). “Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de merlín – 2016”. Cusco.
- Huayta, J. D. (2005). “Evaluación de la rugosidad de pavimentos con uso del bump integrator”. Lima.



- Ignacio Sanchez S. Hernan de Solminihae T. (1989). EL IRI: UN INDICADOR DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL. *Revista de ingenieria de Construccion*, 1-4.
- Juan Carlos Onofre Calderón, J. C. (2008). “*Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos usando el perfilómetro romdas z-250*”. El Salvador.
- Lavaud, I. P. (2011). *Importancia de la regularidad superficial (IRI) en la construccion de pavimentos asfálticos en caliente*. Mexico.
- Lina Gined González Muñoz. (s.f.). “*determinación del índice de rugosidad internacional de la malla vial de Bogotá*”. Colombia.
- manual de usuario bump integrator inversiones factorycris. (s.f.).
- Mario Tamayo y Tamayo. (2003). *EL PROCESO DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*. Mexico: Limusa.
- Martínez, L. S. (2011). *La percepción del confort. Análisis de los parámetros*. Valencia-España.
- Mendoza, J. A. (2014). *Slide Player*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/144733/>
- Miguel Angel Tapia Garcia. (s.f.). *Pavimentos*. Mexico: UNAM.
- MTC - Especificaciones Técnicas para la conservación de Carreteras*. (s.f.).
- MTC- Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. (s.f.).
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES-RNE. (2010). *NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS*. Lima: Industrial Grafica Apolo.
- Revista ARQHYS. (2012). Historia de las carreteras. *Revista ARQHYS*, <https://www.arqhys.com/contenidos/carreteras-historia.html>.
- Revista de Ingeniería de Construcción N° 6. (1989).
- ROADROID*. (s.f.). Obtenido de ROADROID: www.roadroid.com
- ROADROID. (2014).
- Sayers, M., & Gillespie, T. Y. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator*. Lima.
- Alfonso Montejo Fonseca. (2002). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS*. Bogotá: Agora Editores.
- Asencios, D. V. (2016). *mediciony comparacion de la rugosidad de pavimentos de la ciudad de huanuco: mediante smartphone y un metodo tradicional*. Lima.



- Behar Rivero, Daniel. (2008). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Bogotá: SHALOM.
- Bustios, R. R. (2015). *Calculo Del indice de condicion del pavimento PCI*. LIMA.
- Castro, B. S. (2014). “*Cálculo del IRI mediante acelerómetro de Smartphone en el tramo Huarmey - Casma de la carretera Panamericana Norte*”. Lima.
- César Fernando Brito Galarza, L. G. (2014). “*Efecto de la condición de la superficie de rodamiento en la estimación de la capacidad vial y el nivel de servicio aplicando la metodología HCM, en la vía zhud – biblián*”. Ecuador.
- Cundill M. A. (1990). *MERLIN A LOW COST MACHINE FOR MEASURING ROAD ROUGHNESS IN DEVELOPING COOUNTRIES*. Crowthorne: Transportation Research Record 1291.
- De SOLMINIHAC T., H. (s.f.). *GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL 2ª Ed. Ampliada*.
- explorable.com*. (17 de mayo de 2009). Obtenido de *explorable.com*: <https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>
- Forslöf. (2013).
- Hernan de Solminihac T. (2001). *Gestión de infraestructura vial*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Hernández Sampieri, Roberto; Zapata Salazar, Nancy Elena; Mendoza Torres, Christian Paulina. (2000). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION PARA BACHILLERATO*. Mexico: McGraw-Hill.
- Hernández, Roberto; Fernández, Carlos; Pilar, Baptista. (2010). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Mexico: McGraw-Hill.
- Hirpahuanca, D. L. (2016). “*Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de merlín – 2016*”. Cusco.
- Huayta, J. D. (2005). “*Evaluación de la rugosidad de pavimentos con uso del bump integrator*”. Lima.
- Ignacio Sanchez S. Hernan de Solminihac T. (1989). EL IRI: UN INDICADOR DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL. *Revista de ingenieria de Construccion*, 1-4.
- Juan Carlos Onofre Calderón, J. C. (2008). “*Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos usando el perfilómetro romdas z-250*”. El Salvador.



- Lavaud, I. P. (2011). *Importancia de la regularidad superficial (IRI) en la construcción de pavimentos asfálticos en caliente*. Mexico.
- Lina Gined González Muñoz. (s.f.). “*determinación del índice de rugosidad internacional de la malla vial de Bogotá*”. Colombia.
- manual de usuario bump integrator inversiones factorycris. (s.f.).
- Mario Tamayo y Tamayo. (2003). *EL PROCESO DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*. Mexico: Limusa.
- Martínez, L. S. (2011). *La percepción del confort. Análisis de los parámetros*. Valencia-España.
- Mendoza, J. A. (2014). *Slide Player*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/144733/>
- Miguel Angel Tapia Garcia. (s.f.). *Pavimentos*. Mexico: UNAM.
- MTC - Especificaciones Técnicas para la conservación de Carreteras*. (s.f.).
- MTC- Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. (s.f.).
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES-RNE. (2010). *NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS*. Lima: Industrial Grafica Apolo.
- Revista ARQHYS. (2012). Historia de las carreteras. *Revista ARQHYS*, <https://www.arqhys.com/contenidos/carreteras-historia.html>.
- Revista de Ingeniería de Construcción N° 6. (1989).
- ROADROID*. (s.f.). Obtenido de ROADROID: www.roadroid.com
- ROADROID. (2014).
- Sayers, M., & Gillespie, T. Y. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator*. Lima.