

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN EL PAVIMENTO  
UTILIZANDO TELÉFONOS INTELIGENTES PARA MEJORAR  
LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. ANTÚNEZ DE  
MAYOLO, DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA,  
TACNA -2021”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JORGE LUIS LOZANO REQUELME**

**Bach. DANIELA ESTEFANI MAMANI ARRATIA**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS:**

**“EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN EL PAVIMENTO  
UTILIZANDO TELÉFONOS INTELIGENTES PARA MEJORAR  
LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA AV. ANTÚNEZ DE  
MAYOLO, DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA,  
TACNA -2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de Diciembre del 2021; estando el  
jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE: Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

**SECRETARIO: Mag. MARTÍN PAUCARA ROJAS**

**VOCAL: Mtro. SANTOS TITO GÓMEZ CHOQUEJAHUA**

**ASESOR: Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Jorge Luis Lozano Requelme, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 71217623.

Yo, Daniela Estefani Mamani Arratia, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 74575959.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:  
*“Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna -2021”*  
La misma que presentamos para optar el:  
Título profesional de Ingeniero Civil
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *la universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsable frente a *la universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados

del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 04 de diciembre del 2021



---

Bach. Jorge Luis Lozano Requelme  
DNI. 71217623



---

Bach. Daniela Estefani Mamani Arratia  
DNI. 74575959

## **DEDICATORIA**

El presente va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer. A mis padres Jorge y Rosa, que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

A mi hermana Stefany, que con sus consejos y constante motivación siendo de gran apoyo en momentos fundamentales.

***Jorge Luis Lozano Requelme***

## **DEDICATORIA**

A Dios, por otorgarme sabiduría y guardar cada uno de mis pasos a lo largo de este camino.

A mis padres, que son el pilar más grande de mi vida, por ser el ejemplo de esfuerzo y dedicación, por alentarme a perseguir cada uno de mis sueños y enseñarme que en esta vida no existen imposibles.

A mis hermanas, que fueron mi mejor compañía en las noches de desvelos, por las tazas de café acompañadas de interminables sonrisas y por la enorme confianza y admiración que depositan en mí.

***Daniela Estefani Mamani Arratia***

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil, por la amistad y los sabios consejos brindados, que fueron nuestro ejemplo a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestro asesor de tesis, el Mtro. Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez, por guiar esta investigación y formar parte del cumplimiento de un nuevo objetivo alcanzado.

A nuestros compañeros por los momentos vividos, por haber compartido los mejores años de nuestras vidas como estudiantes y por motivarnos a seguir avanzando con esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	6
1.3. Justificación e importancia. ....	6
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo general. ....	8
1.4.2 Objetivos específicos. ....	8
1.5. Hipótesis.....	9
1.5.1 Hipótesis general....	9
1.5.2 Hipótesis específicos.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Antecedentes del estudio .....	10
2.2. Bases teóricas .....	15
2.3. Definición de términos.....	33
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	34
3.2. Población y/o muestra de estudio.....	35
3.3. Operacionalización de las variables.....	35
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	36
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	37
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	45
4.1. Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando el aplicativo ABAKAL IRI.....	48
4.2. Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando el aplicativo ROADROID.....	53



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	63
5.1. Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL IRI .....	64
5.2. Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo ROADROID.....	67
5.2. Discusión comparativa de la rugosidad y la transitabilidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL y el aplicativo ROADROID .....	66
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de índice de serviciabilidad.....	17
Tabla 2. Transitabilidad en función del IRI.....	17
Tabla 3. Valores de IRI (m/km) internacional.....	19
Tabla 4. Mediciones de cIRI.....	26
Tabla 5. Estado de la vía según ROADROID.....	28
Tabla 6. Resultados Informe IRI.csv.....	32
Tabla 7. Reporte del aplicativo ABAKAL, calzada de Bajada.....	47
Tabla 8. Reporte del aplicativo ABAKAL, calzada de Subida.....	49
Tabla 9. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+000 m al 0+400 m .....	52
Tabla 10. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+420 m al 0+800 m .....	53
Tabla 11. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+820 m al 1+000 m .....	54
Tabla 12. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+220 m al 1+600 m .....	55
Tabla 13. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+620 m al 2+000 .....	56
Tabla 14. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+000 m al 0+400 .....	57
Tabla 15. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+420 m al 0+800 m .....	58
Tabla 16. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+820 m al 1+000 m .....	59
Tabla 17. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m	

calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+220 m al 1+600 m .....	60
Tabla 18. Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20m. calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+620 m al 2+000 m .....	61
Tabla 19. Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo ABAKAL.....	64
Tabla 20. Calificación del estado del pavimento.....	65
Tabla 21. Calificación de la transitabilidad en función del IRI.....	65
Tabla 22. Calificación de la transitabilidad.....,	65
Tabla 23. Promedio de valor eIRI calzada de bajada.....	66
Tabla 24. Promedio de valor eIRI calzada de subida.....	66
Tabla 25. Comparativo de la calificación del Estado del Pavimento ambos aplicativos .....	67
Tabla 26. Comparativo de la transitabilidad de ambos aplicativos utilizados .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de investigación Av. Antúnez de Mayolo L=2,00 km .....	3
Figura 2. Vista panorámica Av. Antúnez de Mayolo.....	4
Figura 3. Presencia de rugosidad.....	4
Figura 4. Zona de investigación, presencia de fallas.....	5
Figura 5. Presencia de huecos en la capa de rodadura.....	5
Figura 6. Primer prototipo ROADROID.....	20
Figura 7. Segundo prototipo ROADROID.....	21
Figura 8. Tercer prototipo ROADROID.....	22
Figura 9. Visualización de la carretera analizada en Google Maps.....	23
Figura 10. Filtrar datos y buscar correlaciones.....	26
Figura 11. Pavimento de asfalto.....	27
Figura 12. Modelo de cuarto carro.....	28
Figura 13. Ubicación del teléfono en el vehículo.....	29
Figura 14. Métodos de cálculo.....	30
Figura 15. Informe IRI.csv.....	31
Figura 16. Informe IRI.kml.....	32
Figura 17. Pantalla de inicio del aplicativo ROADROID.....	38
Figura 18. Configuración del aplicativo ROADROID.....	38
Figura 19. Evaluación de la rugosidad utilizando ROADROID.....	39
Figura 20. Evaluación de la rugosidad utilizando ROADROID.....	39
Figura 21. Pantalla inicio aplicativo ABAKAL.....	40
Figura 22. Pantalla aplicativo ABAKAL en el vehículo de ensayo.....	41
Figura 23. Determinación de la rugosidad con ABAKAL.....	41
Figura 24. Determinación de la rugosidad calzada de bajada.....	42
Figura 25. Determinación de la rugosidad calzada de subida.....	42
Figura 26. Descarga información registrada en ROADROID utilizando usuario y contraseña.....	43
Figura 27. Descarga de la información registrada en el aplicativo ABAKAL.....	44
Figura 28. Comportamiento valores IRI cada 100 m, calzada de bajada.....	47
Figura 29. Desplazamiento por la calzada de bajada utilizando ABAKAL.....	47
Figura 30. Comportamiento valores IRI cada 100 m, calzada de subida .....	49
Figura 31. Desplazamiento por la calzada de subida utilizando ABAKAL .....	49
Figura 32. <i>Comportamiento de los valores eIRI y cIRI, evaluados cada 20m calzada de bajada.....</i>	61

Figura 33. Comportamiento de los valores eIRI y cIRI, evaluados cada 20m calzada de subida .....	61
Figura 34. Zona de evaluación .....	62

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha evaluado la rugosidad del pavimento y la determinación de la transitabilidad vehicular utilizando teléfonos inteligentes. El objetivo del trabajo de investigación es evaluar la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para determinar la mejora de la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021. La tesis es de tipo Aplicada con enfoque cuantitativo, porque considera la aplicación directa a los problemas para generar y ampliar el conocimiento, en la determinación de la rugosidad y la transitabilidad vehicular utilizando los aplicativos ROADROID y ABAKAL en una longitud de 2 000 m con una calzada de 6,60 m ancho de carril de 3,30 m, determinando un IRI promedio de la avenida, considerando el aplicativo ROADROID igual a 4,58 m/km y el aplicativo ABAKAL igual a 5,06 m/km. Se ha determinado la rugosidad en el pavimento utilizando los aplicativos en teléfonos inteligentes como el Samsung Galaxy S7 en velocidades entre 40 a 50 km/h, ambas calzadas de bajada y de subida, donde ambos aplicativos obtienen la calificación del estado del pavimento *malo* y la calificación de la transitabilidad *mala*, recomendando efectuar una rehabilitación o reconstrucción a nivel de la capa de rodadura, mediante emulsiones o carpeta asfáltica en frío.

**Palabras Claves:** Transitabilidad, ROADROID, ABAKAL, IRI, Serviciabilidad, Evaluación funcional.

## ABSTRACT

In the present research work, the roughness of the pavement and the determination of vehicular traffic use have been evaluated using smartphones. The objective of the research work is to evaluate the roughness in the pavement using smartphones to determine the improvement of the walkability in Antúnez de Mayolo avenue, Gregorio Albarracín Lanchipa district, Tacna - 2021. The thesis is Applied with a quantitative approach, because considers the direct application to the problems to generate and expand knowledge, in the determination of roughness and vehicular trafficability using the ROADROID and ABAKAL applications in a length of 2 000 m. with a roadway of 6,60 m. lane width of 3,30 m, determining an average IRI of the avenue, considering the ROADROID application equal to 4,58 m/km and the ABAKAL application equal to 5,06 m/km. The roughness in the pavement has been determined using the applications in smartphones such as the Samsung Galaxy S7 at speeds between 40 to 50 km/h, both downhill and uphill roads, where both applications obtain the rating of the state of the pavement is *bad* and also the rating of walkability is *bad*, recommending to carry out a rehabilitation or reconstruction at the level of the tread layer, using emulsions or cold asphalt layer.

**Keywords:** Walkability, ROADROID, ABAKAL, IRI, Serviceability, Functional evaluation.

## INTRODUCCIÓN

El distrito Gregorio Albarracín Lanchipa viene desarrollando un crecimiento poblacional enorme lo cual conlleva a un incremento del transporte vehicular desmedido, sin embargo existe un tema aún más preocupante, el estado situacional de las vías, el cual puede generar muchos inconvenientes a quienes transitan por estas vías.

En la investigación buscamos evaluar la rugosidad en el pavimento de la avenida Antúnez de Mayolo haciendo uso de dos aplicativos de tecnología moderna a fin de cumplir con los objetivos planteados. La mencionada avenida es una vía longitudinal con una extensión de 2,00 km y está compuesta por dos calzadas, contando con dos carriles por cada sentido. En la actualidad la Av. Antúnez de Mayolo tiene una alta demanda de transporte público y privado, por ser una vía secundaria de ingreso y salida hacia el distrito capital de Tacna. De tal manera desarrollamos la investigación en 05 capítulos, los cuales se extenderán de la siguiente manera:

En el primer capítulo se desarrolla la descripción y formulación del problema, de la misma forma presentamos la justificación del trabajo de investigación y planteamos los objetivos e hipótesis correspondientes.

En el segundo capítulo, presentamos y desarrollamos el marco teórico, identificando los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos con los cuales se desarrollará un mejor alcance de la tesis.

En el tercer capítulo, se presenta la metodología, así como el tipo y nivel de investigación e indicamos también la población y muestra de la investigación.

En el cuarto capítulo, presentamos los resultados de los aplicativos utilizados, los cuales son ROADROID y ABAKAL.

En el quinto capítulo se desarrolla la discusión, en donde consideramos el análisis de los resultados obtenidos y contrastamos los resultados obtenidos por ambos aplicativos.

Finalizando con el desarrollo de las conclusiones y las recomendaciones.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Descripción del problema

En la región Tacna, considerando a las municipalidades provinciales y distritales, no se cuenta con información respecto a los mantenimientos de la infraestructura vial, ni control de las patologías presentes en las vías arteriales y locales de su jurisdicción, lo que da paso al rápido deterioro de la carpeta asfáltica, representando un problema potencial porque impide la inmediata y rápida circulación de la avenida Antúnez de Mayolo, una de las vías de acceso y comunicación con el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa.

En la actualidad las vías son utilizadas para el transporte de personas en vehículos particulares y del transporte urbano autorizados que transitan por las vías presentan fallas y patologías, si no se programan actividades de mantenimiento rutinario o periódico, el deterioro de la capa de rodadura alcanzara niveles altísimos que al final requieren su la reconstrucción en periodos cortos, posiblemente por el mal proceso constructivo. La evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo donde los resultados obtenidos pueden servir al planteamiento de un proyecto de mejoramiento o mantenimiento de las calles y carreteras, asimismo contribuye a la integración de la población del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa entre las avenidas principales Humboldt, Puya Raimondi y Antúnez de Mayolo.

La avenida Antúnez de Mayolo se encuentra en condiciones de transitabilidad, pero existe la necesidad de saber exactamente las condiciones funcionales de la capa de rodadura, sabiendo la existencia de vías principales como Humboldt y Puya Raimondi, que comunica con el distrito capital de Tacna, el alto volumen de tráfico generado en estas vías hace que se deben contar con la infraestructura vial en adecuadas condiciones de transitabilidad, por lo que la aparición de fallas y el incremento de la rugosidad genera mayor consumo de tiempo de viaje, mayor consumo de combustible, altos costos de operación vehicular, que repercute en la débil economía de los usuarios de la vía.

En la investigación se realiza la evaluación de la rugosidad en el pavimento de la Av. Antúnez de Mayolo, la cual es considerada una de las vías de acceso principales hacia el distrito capital de Tacna y también el ingreso hacia la parte alta del distrito Gregorio Albarracín, la mencionada avenida viene a ser una vía longitudinal de dos calzadas, compuesta por dos carriles en cada sentido y tiene una longitud aproximada de 2.00 Km tal cual se puede observar en la Figura 1. en la actualidad la Av. Antúnez de Mayolo tiene una alta demanda de transporte público y privado, por ser una vía secundaria de ingreso y salida hacia el distrito capital de Tacna.

### Figura 1

*Zona de investigación, Av. Antúnez de Mayolo, L= 1,95 Km*



*Nota.* Imagen extraída de Google Earth.

En la vía de investigación se observa que el pavimento se encuentra en una situación de descuido y falta de mantenimiento como podemos apreciar en la figura 2, además observamos que presenta fallas y patologías en algunos tramos, tal cual se aprecia en las figuras 3, 4 y 5, por lo que identificar, evaluar y determinar será uno de los objetivos de la presente investigación utilizando

metodologías avanzadas y el uso de aplicativos en teléfonos inteligentes, ROADROID y ABAKAL, para mejorar la transitabilidad.

### **Figura 2**

*Zona de investigación, vista panorámica Av. Antúnez de Mayolo*



### **Figura 3**

*Zona de investigación, presencia de rugosidad*



**Figura 4**

*Zona de investigación, presencia de fallas*

**Figura 5**

*Zona de investigación, presencia de huecos en la capa de rodadura*



## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿De qué manera la evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes permitirá determinar la mejora de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es el valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ROADROID utilizando teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo?
- b) ¿Cuál es el valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ABAKAL utilizando teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo?
- c) ¿De qué manera el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo ROADROID y ABAKAL determina la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo?

## **1.3 Justificación de la investigación**

En la presente investigación evaluará la rugosidad en el pavimento utilizando aplicativos en teléfonos inteligentes para mejorar la transitabilidad vehicular en la avenida Antúnez de Mayolo en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, donde se determinará del índice de rugosidad internacional (IRI) utilizando aplicativos como el ROADROID y ABAKAL, metodologías sencillas pero con resultados confiables para la determinación de los resultados que ayudan a conocer la situación de la capa de rodadura del pavimento para conocer la transitabilidad presente y luego generar propuestas de intervención, considerando rehabilitación o reconstrucción. Por otro lado, indicar que los aplicativos para teléfonos inteligentes deben ser conocidos y manejado por todos los ingenieros carreteros, es una metodología eficiente para determinar el IRI, usando ROADROID y ABAKAL. Los aplicativos son de fácil aplicación e



implementación y no requiere de herramientas especiales, en investigaciones realizadas han demostrado que sus resultados son similares a los obtenidos por el rugosímetro del MERLIN.

### **1.3.1 Justificación teórica**

La investigación propuesta busca, mediante la teoría y los conceptos básicos de la aplicación de las metodologías del aplicativo ROADROID, y ABAKAL, metodologías que nos ayudan a encontrar las explicaciones a situaciones que generan la incomodidad al momento de transitar por la avenida investigada, Nivel de Transitabilidad, los cuales afectan la comodidad, el confort, la seguridad y el medio ambiente.

### **1.3.2 Justificación práctica**

El planteamiento del problema y los objetivos ayudan a desarrollar soluciones rápidas y novedosas a los problemas de la rugosidad (IRI), los ingenieros de carreteras o de transporte deben manejar los parámetros establecidos en el uso de los aplicativos ROADROID y ABAKAL valores obtenidos del Índice de rugosidad internacional, confiables para determinar la transitabilidad y generar propuestas de diseño, rehabilitación, reconstrucción y otros planteamientos como alternativas de solución. La presencia de una serie de fallas de alta severidad que se presentan en la capa de rodadura del pavimento, son los que generan desgaste o averías, mayor consumo de combustible y desgaste de los vehículos que transitan por la avenida investigada.

### **1.3.3 Justificación metodológica**

En el logro de los objetivos, se debe usar las normativas vigentes en materia de transportes como la Norma CE-010-Pavimentos Urbanos y el manual de mantenimiento o conservación vial. Las técnicas de investigación, como el procesamiento en software especializado para calcular la rugosidad internacional, el cual es un indicador de la calidad del pavimento y este indicador se puede calcular en forma precisa con la aplicación del ROADROID y ABAKAL que ayudan a determinar la rugosidad en el pavimento, mucho más fácil, rápido y económico, cuyos resultados de la

investigación trascienden en su importancia por la contribución a las soluciones de mejora que se plantean.

#### **1.3.4 Justificación social**

El resultado de la investigación llega a la sociedad, porque permitirá conocer el estado de la avenida, planteamiento de alternativas y soluciones para el usuario como el afectado al momento de transitar la avenida, con el deseo de mejorar las condiciones de confort y seguridad.

Hasta antes de la presente investigación la Municipalidad Distrital de Gregorio Albarracín Lanchipa no tiene programado la ejecución de mantenimiento rutinario ni periódico, por lo tanto, los resultados de la presente investigación sirvan como base para determinar una alternativa de solución para mejorar las condiciones del conductor y los peatones.

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para determinar la mejora de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Calcular el valor de la rugosidad en el pavimento utilizando el aplicativo ROADROID para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo.
- b) Calcular el valor de la rugosidad en el pavimento utilizando el aplicativo ABAKAL para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo.
- c) Determinar la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo mediante los valores obtenidos con los aplicativos ROADROID y ABAKAL.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general**

La evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes permite determinar la mejora de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021 de manera óptima.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- a) El valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ROADROID para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo, es deficiente.
- b) El valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ABAKAL para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo, es deficiente.
- c) La determinación de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo mediante los valores obtenidos con los aplicativos ROADROID y ABAKAL, permitirá de manera óptima calificar el tipo de mantenimiento.



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

Según Montoya (2013) en su tesis “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú”, sostiene que para la determinación de tolerancias en el control de la rugosidad mediante el análisis del IRI en un proyecto, se propuso mecanismos para los contratos de las concesiones viales. En esta consideró como objetivo general el relacionar el valor del IRI con los parámetros de diseño geométrico de la vía, como parte de la estrategia de la investigación.

Como conclusión, afirma que existe una relación verdadera entre los valores determinado del IRI y el diseño geométrico de la vía. Datos que mejoran las exigencias técnicas en el establecimiento lógico para el desarrollo de los términos de referencia para futuras concesiones viales y en la elaboración de expedientes técnicos de futuras carreteras a pavimentarse.

Ramírez (2017) en la tesis “Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey – Casma de la carretera Panamericana Norte”, compara los valores IRI obtenidos con un perfilómetro láser y el aplicativo ROADROID y de esta manera busca conocer el estado funcional de la vía nacional a la concesionaria de la Red Vial 4 para mantener un nivel bueno de serviciabilidad, acciones preventivas, en periodos anuales utiliza el perfilómetro. Para efectos comparativos, se calcula la rugosidad utilizando un método innovador, el aplicativo ROADROID, en un tramo de la Red Vial 4 de Huarmey – Casma, vía de dos carriles por sentido, los resultados determinados con el aplicativo ROADROID son de 1,2 m/km y 1,3 m/km en calzada derecho e izquierdo de la vía respectivamente y con el perfilómetro láser se determinaron 1,11 m/km y 1,16 m/km, los cuales son datos similares a los obtenidos con el aplicativo.

En la recolección de datos en campo, es necesario desarrollar velocidades que estén en el rango de 75 a 90 km/h, se comprobó que el eIRI y cIRI se correlaciona.

Lloclla y Sánchez (2019) en “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”, indican que se realizó una comparación de similitud en sus resultados de rugosidad del pavimento evaluado en la Av. La Cultura, utilizando las metodologías de los equipos o instrumentos, como: El Rugosímetro de MERLÍN, Rugosímetro electrónico Bump Integrator B1100A y una metodología innovadora para teléfonos Smartphone ROADROID, y en base al IRI determinado se calculó la serviciabilidad (PSI). La metodología utilizada en la presente investigación, considera un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, método hipotético deductivo y diseño no experimental. Ellos mencionan que el rugosímetro de MERLÍN, rugosímetro electrónico Bump Integrator y aplicativo ROADROID determinaron valores IRI en el carril de bajada 7,31 m/km, 6,75 m/km y 6,79 m/km, con IRI ponderado igual a 6,95 m/km y en el carril de subida obtuvieron 3,88 m/km, 3,98 m/km y 3,04 m/km con IRI ponderado igual a 3,63 m/km, comprobando de esta manera que el carril de bajada califica funcionalmente al pavimento *malo* y en carril de subida la calificación del pavimento es *regular*, valores que no se encuentran dentro de los límites establecido en la norma NTP CE 0.10, donde considera valor mínimo igual a 2,5 m/km para pavimentos flexibles nuevos. En la presente investigación se determinó que los resultados obtenidos son similares, por lo tanto, el aplicativo para Smartphone ROADROID, el rugosímetro de MERLÍN y el rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A obtiene resultados con una variación del 18,92 %.

En cuanto Camacho (2018) en la tesis “Evaluación y análisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN”, evalúa la rugosidad del pavimento en las vías más transitadas de Puno, la avenida Floral, para ello se contrastó un método nuevo e innovador como es el aplicativo ROADROID versus la metodología tradicional la cual es el Rugosímetro de MERLIN.

En la investigación, se determina el valor del IRI con las metodologías conocidas, como el tradicional el rugosímetro de MERLIN (equipo recomendado por el Banco Mundial para calibrar otros equipos) y el otro como un nuevo método innovador el aplicativo en smartphones denominado ROADROID, para realizar un comparativo de sus resultados y según ellos el aplicativo determina las rugosidades similares al obtenido por el rugosímetro de MERLIN, con mejores rendimientos HH y mejores tiempos.

Mozo (2019) en “Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y ROADROID en el circuito humedal Lucre – Huacarpay” determina la evaluación del pavimento flexible en una longitud de 8,27 km obteniéndose un valor PCI igual a 22,87 % el cual califica el estado del pavimento flexible MUY MALO de acuerdo a la metodología del PCI. Por otro lado, se utilizó el aplicativo para teléfonos inteligentes ROADROID, para calcular la rugosidad y conocer el valor del IRI y mediante este valor se determinó la serviciabilidad presente en la vía investigada donde obtuvo valores de PSI en el sentido de ida igual a 2,814 y sentido de vuelta 2,813 calificando la transitabilidad de la vía REGULAR. Con los resultados obtenidos se propone una rehabilitación a nivel de capa de rodadura o superficie superficial que consiste en colocar mezcla asfáltica en caliente.

Según, Laura (2016) en la Tesis “Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco – Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN - 2016”, donde el trabajo de investigación con los resultados determinados de la rugosidad en el pavimento flexible de la vía Cusco – Urcos, usando el aplicativo ROADROID y la metodología del Rugosímetro de MERLIN, determinó que porcentaje de similitud tienen los resultados, las ventajas se tiene al utilizar el aplicativo respecto a los resultados obtenidos por el MERLIN y la serviciabilidad evaluados en ambos carriles.

Se determinó la rugosidad a nivel de la superficie de rodadura en la carretera Cusco – Urcos, utilizando el Rugosímetro de MERLIN y una herramienta innovadora en el mercado que viene ser el aplicativo para teléfonos inteligentes ROADROID que mide la rugosidad tan igual que el MERLIN un equipo tradicional conocido ampliamente en la Región y aceptado por el Banco Mundial por sus resultados y recomendado para calibrar otros equipos, donde los resultados obtenidos se procesaron y analizaron.

Las conclusiones obtenidas con los resultados del aplicativo ROADROID y el rugosímetro de MERLIN, es que tiene una similitud de sus resultados en un 89 %. El aplicativo innovador ROADROID viene a ser una metodología para determinar la rugosidad en pavimentos flexibles, proporcionando valores IRI en forma rápida de tramos largos en poco tiempo, con menos recursos y valores fiables, mientras que con el MERLIN necesitamos más tiempos en gabinete para

el procesamiento de los datos.

Por otro lado, Almenara (2015) en la tesis “Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima”, evalúa la rugosidad en la vía Expresa, utilizando el aplicativo ROADROID, para demostrar si la variación de la velocidad en el momento de la obtención de los valores eIRI y cIRI afectan en sus resultados.

En la investigación se concluye que las velocidades deben ser mayores a 60 km/h, porque a esta velocidad en los ensayos mejoran sus resultados, porque se acercan más al valor IRI real de la carretera, finalmente indica que el aplicativo ROADROID viene a ser una alternativa muy favorable para la gestión vial, porque permite desarrollar un control de la rugosidad presente en la vía, y ello ayuda a la toma de decisiones de intervención en el mantenimiento requerido.

Por otro lado, Zeballos y Vizcarra (2020) en la Tesis “Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El peligro – Emp. PE-40, Tacna - 2020”, donde el objetivo de la investigación es determinar la rugosidad del pavimento flexible mediante la aplicación de teléfonos inteligentes con un aplicativo ROADROID y el rugosímetro de MERLIN en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro – Emp. PE-40, Tacna – 2020, determinan la rugosidad utilizando metodologías tradicionales y metodologías de innovación, considerando un diseño descriptivo, determinándose la rugosidad en el carril derecho IRI igual a 3,73 m/km y en el carril izquierdo igual a 3,53 m/km, utilizando el IRI ponderado igual a 3,63 m/km valor que califica el estado de pavimento *regular*, en una longitud cerca de 3 km de la carretera TA-615.

La transitabilidad presente en la vía se calcula utilizando la ecuación de William Paterson, con el valor IRI determinado de toda la vía investigada, el resultado obtenido es igual a 2,59, por lo tanto, la calificación de la *transitabilidad* es *regular*.

Para el análisis con el aplicativo ROADROID, se utilizó los Smartphone de gama alta, por lo que usamos en la presente investigación, Samsung Galaxy S7, obteniendo resultados del eIRI en el carril derecho igual a 3,75 m/km, para el carril izquierdo igual a 3,44 m/km, por lo que, para efectos de comparación con el método tradicional obtenemos el valor de eIRI promedio igual a 3,60 m/km.

podemos indicar que el aplicativo obtiene resultados similares al del rugosímetro de MERLIN, se define que los resultados determinados son confiables.

Finalmente, Gonzalo y Beingolea (2021) en la tesis “Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna – 2021 donde el objetivo de la investigación es determinar la rugosidad del pavimento flexible mediante la aplicación del Smartphone con el aplicativo ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN en la avenida Internacional, tramo: Av. Jorge Basadre Grohmann hasta Ciudad Nueva, la determinación de la rugosidad utilizando metodologías tradicionales y aplicativos en los Smartphone, considerando un diseño descriptivo - exploratorio, determinándose la rugosidad en la calzada derecho IRI igual a 4,07 m/km y en la calzada izquierdo igual a 5,14 m/km, utilizando el IRI ponderado igual a 4,60 m/km valor que ayuda a calificar el estado de pavimento flexible *malo*.

Para determinar resultados de rugosidad con el aplicativo ABAKAL, se utilizan los Smartphone de gama alta, Samsung Galaxy Note 10, obtuvo resultados del IRI para la calzada derecho un valor de 4,38 m/km y en la calzada izquierdo un valor de 4,49 m/km, por lo que, para efectos de comparación con la metodología MERLIN obtenemos el valor ponderado de IRI igual a 4,44 m/km lo que indica indica que el aplicativo obtiene resultados similares al del rugosímetro de MERLIN, por lo tanto, sus resultados IRI son confiables.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Determinación de la rugosidad del pavimento flexible**

La rugosidad viene a ser en referencia a una superficie plana, una desviación vertical de la superficie, como ondulaciones, que pueden afectar la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, es decir, el perfil longitudinal, perfil transversal.” (ASTM, 2012).

Algunos autores prefieren utilizar el término Regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que el término Rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliografía que trata indistintamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad; sin embargo, para efectos de la investigación se prefiere utilizar Rugosidad, para referirse a las

irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

El IRI es una acumulación del movimiento vertical que padece la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) recorriendo a una velocidad de 80 km/h es decir es un índice de confort de rodadura y conforma el parámetro de la vía que siente el usuario. (Caro, F. y Peña, G., 2012).

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.

#### **2.2.1.1 Transitabilidad**

El concepto de "transitabilidad" en el Perú define una situación de "disponibilidad de uso". Demuestra que una carretera específica está disponible para su uso, es decir, que no ha sido cerrada al tránsito público por causas de "emergencias viales" que la hubieran cortado en algún o en algunos lugares del recorrido, como consecuencia de deterioros mayores causados por fuerzas de la naturaleza, tales como deslizamientos de materiales saturados de agua ("huaicos"), desprendimiento de rocas, pérdidas de la plataforma de la carretera, erosiones causadas por ríos, caída de puentes, etc. por ejemplo. Este tipo de problemas, es el que causa mayor impacto en la vida de las poblaciones del país y ocurre mayormente en periodos de lluvias. (Pomasonco de la Cadena, 2010)

#### **2.2.1.2 Serviciabilidad**

La serviciabilidad es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Es por ello que la opinión de ellos debe ser medida para calificar la calidad del pavimento. La medición de la calidad de un pavimento presenta una dificultad conceptual porque depende de la evaluación que se realice, si lo que interesa es la situación estructural, o bien la condición funcional de su superficie. Aunque este se tenga resuelto, si no se utilizan herramientas o

metodologías estandarizadas de evaluación, los resultados no serán comparables con las mediciones hechas por otra persona, ni entre un pavimento y otro. Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se emplea el parámetro denominado Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento, conceptos que fueron desarrollados por el cuerpo técnico del Ensayo Vial AASHO, en 1957. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la condición óptima corresponde al máximo valor. (Pomasonco de la Cadena, 2010)

**Tabla 1**

*Escala de Índice de serviciabilidad*

<b>Índice de Serviciabilidad</b>	<b>Calidad</b>
5	Muy buena
4	Muy buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

*Nota.* Datos adaptados de la Guía AASHTO (1957).

### 2.2.1.3 Cálculo de la serviciabilidad y transitabilidad mediante el IRI

Para la obtención de la transitabilidad en base a la serviciabilidad nos facultaremos de la fórmula de Williams Patterson, la cual transforma los valores IRI a valores PSI, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Transitabilidad en función del IRI*

<b>PSI</b>	<b>Transitabilidad</b>
0-1	Muy mala
1-2	Mala
2-3	Regular
3-4	buena
4-5	Muy buena

*Nota.* Escala de Clasificación de la Serviciabilidad - AASHO (1962).

#### **2.2.1.4 Rugosidad**

Son las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, la misma que tiene un efecto directo en el deterioro de las calles y carreteras y en los usuarios, y que además afecta adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costo de operación del vehículo.

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

#### **2.2.1.5 Causas posibles de la rugosidad**

Las irregularidades en la capa de rodadura de los pavimentos ya sean nuevos como pavimentos existentes se pueden producir a causa de la falta de políticas de mantenimiento o también por faltas cometidas durante el desarrollo de ejecución de la vía; donde no se hayan tomado las medidas de control correspondientes, provocando de esta manera las deformaciones.

#### **2.2.1.6 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos**

Se ha determinado que existen muchos factores que afectan la rugosidad superficial del pavimento, de estos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El numero estructural.
- Las propiedades del concreto asfaltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.
- Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento,



días con temperatura superior a 32°C.

- Propiedades de la base granular como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la sub rasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.

#### **2.2.1.7 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

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

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

#### **2.2.1.8 Escalas y características del IRI**

El IRI se muestra en unidades de mm/m, m/km o in/mi, y puede ir en una escala de 0 a 20 m/km o 0 a 126 in/mi (*rugosidad 0 m/km es un camino uniforme perfecto y 20m/km uno ya casi imposible de transitar*).

Los valores de IRI a considerar para la clasificación del pavimento se considerarán de acuerdo a las normativas vigentes en cada país, según se puede observar en la tabla 3.

**Tabla 3***Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente*

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE. UU	< 2,4	2,4 – 4,7	> 4,7		
España	0 – 2,5	2,5 – 4,0	> 5,0	2,85	1,85
Chile	0 – 3,0	3,0 – 3,6	> 4,0	2,50	2,5
Honduras	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0		
Uruguay	< 3,9	4,0 – 6,0	> 4,6		

*Nota.* Valores adaptados de Alvarenga (2002) en su investigación Indices de medición de la regularidad de un pavimento.

### 2.2.2 Antecedentes del aplicativo ROADROID

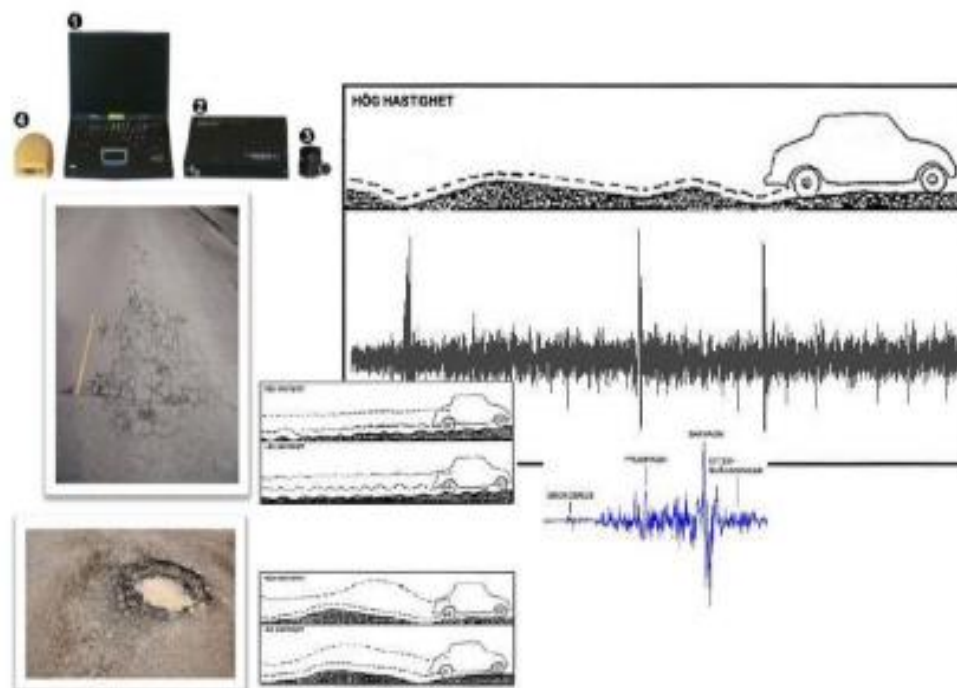
El aplicativo ROADROID fue realizado por ingenieros de nacionalidad sueca, los cuales desarrollaban trabajos con dispositivos móviles, GPS en el año 1997, su trabajo se enfocaba en obtener mediciones de fricción, adaptaciones dinámicas de velocidad y recopilación de datos en las vías.

ROADROID nace en el año 2001 cuando el Transportation Research Board (TRB), ubicado en Washington, monitoreó un proyecto en el cual las velocidades de los camiones eran bajas debido a la mala condición del camino. A raíz de esta aseveración, nace el concepto de medir las vibraciones del automóvil y de esta manera valorar el estado del pavimento.

Es así que con el Royal Institute of Technology se fabricó el primer piloto en el año 2002. Para este año el uso de los teléfonos inteligentes era inexistente, en consecuencia, se optó por utilizar una PC, un acelerómetro externo, un GPS y un amplificador de señal tal cual se observa en la Figura 6. Con estos equipos se usó un software para el análisis de las señales captadas por el aplicativo durante la toma de muestras en los ensayos realizados.

## Figura 6

*Primer prototipo ROADROID desarrollado en el año 2002*



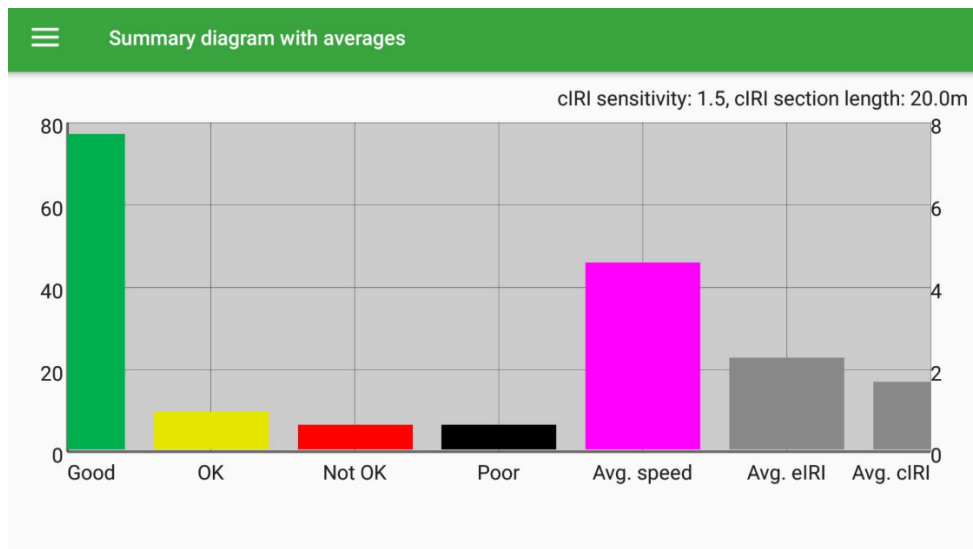
*Nota.* Adaptado del artículo “Roadroid: monitoreo continuo del estado de la carretera con teléfonos inteligentes” (2014).

Al obtener resultados confiables con el primer prototipo, la Administración Nacional de Carreteras de Suecia (SNRA por sus siglas en inglés) decide financiar el proyecto a fin de desarrollar el prototipo orientándolo 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 es aquí donde se implementa la utilización de un sistema de información geográfica en la web para que de esta manera se logre visualizar la calidad de las carreteras a través de colores que definan el estado de la vía tal cual se visualiza en la figura 7.

## Figura 7

Segundo prototipo desarrollado por ROADROID en el año 2004 y 2006



*Nota.* Adaptado del artículo “Roadroid: monitoreo continuo del estado de la carretera con teléfonos inteligentes” (2014).

Este segundo prototipo llegó a su límite en el 2006, esto debido a que esta versión presentaba diversas limitaciones como la interacción de cables y sensores con el medio ambiente, por este motivo para diferentes condiciones climáticas los resultados eran poco confiables.

En el año 2010, se fabricaron teléfonos inteligentes que incluían en su composición el acelerómetro, procesador de datos, memoria y los datos móviles. El equipo ROADROID con la experiencia adquirida años atrás decidió enrumbar su proyecto; no obstante, surgieron nuevas interrogantes sobre cómo utilizar las vibraciones del carro, definir las frecuencias de muestreo, conocer la sensibilidad del acelerómetro del móvil, diferenciar cada tipo de vehículo para la toma de datos.

La aplicación se desarrolló para *celulares con sistema operativo Android*. La elección de Android en vez de un dispositivo iPhone (iOS) se basa en la arquitectura, relación precio-rendimiento. Se empezó a realizar las pruebas con obstáculos en una carretera en el 2011.

Los usuarios de la aplicación pueden recolectar 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.

### Figura 8

#### *Tercer prototipo ROADROID*



#### 2.2.2.1 ROADROID

ROADROID es un aplicativo para Smartphone que cumple con la funcionalidad de monitorear la condición de las carreteras por medio del acelerómetro del teléfono el cual capta las vibraciones del vehículo y transforma los datos obtenidos a unidades IRI (m/km) haciendo uso de ecuaciones correlacionales o el modelo del cuarto de carro. Además, utiliza el GPS y los datos móviles para transferir la información del estado de la vía la cual se puede aprovechar para diferentes propósitos como gestionar el mantenimiento vial.

El sistema Roadroid analiza el camino 100 veces por segundo (en 90km/h una señal cada 25 cm). Con estos datos calcula el IRI y guarda la condición de la carretera con sus respectivas coordenadas GPS. Los datos se guardan en el teléfono y posteriormente son transferidos a la nube.

La app móvil almacena un gran número de valores de datos cada segundo en un archivo CSV, pero para obtener una visión general en una escala mayor es más conveniente utilizar conexiones con datos agregados y promedios de puntos muestreados. Dependiendo de la base de datos del camino, habrá muchas oportunidades para perfeccionar los datos y agregar información de atributos tales como el ancho de la carretera, los volúmenes de tráfico, etc. En Suecia han estado utilizando la base de datos de la Carretera Nacional Sueca (NVDB).

A nivel mundial en su mayoría se utiliza las geometrías del Open Street Maps (OSM) o Google Maps, además los datos de la condición de carretera pueden exportarse en formato shapefile a otros sistemas.

Con la información obtenida y a través de un sitio web (Google Maps) se puede visualizar el recorrido analizado y el estado de la vía por medio de colores los cuales son: verde para una condición óptima, amarillo para satisfactorio, rojo para insatisfactorio y negro para un camino pobre o malo tal cual se puede visualizar en la Figura 9.

### **Figura 9**

*Visualización de la carretera analizada en Google Maps*



*Nota.* Adaptado del artículo “Roadroid: monitoreo continuo del estado de la carretera con teléfonos inteligentes” (2020).

En la web [www.roadroid.com.pe](http://www.roadroid.com.pe), nos indica que el equipo ROADROID, liderado por su CEO el Ing. Lars Forslöf, está constantemente realizando actualizaciones del ROADROID para ofrecer a la sociedad una aplicación cada vez más dinámica, fácil y económica.

#### **2.2.2.2 IRI calculado (cIRI)**

Las pruebas realizadas del IRI calculado (cIRI), confirma que se calibra correctamente, estos datos tienen que obtenerse a una velocidad de 60 a 80 km/h. El modelo del cuarto de carro junto con los dos pesos (el amortiguado y el no amortiguado) y el movimiento del vehículo son simulados como datos de entrada.

De tal manera se estima el comportamiento que va a tener el marco y el cuerpo del vehículo son los datos que se obtendrán a través del acelerómetro, la calibración. Lo cual el usuario lo realizara sin inconveniente alguno.

Para medir en cIRI se tiene que tomar cuenta todas las variables obtenidas y configuradas por la aplicación del Roadroid, siendo de vital importancia detallarlas previamente en el programa. Para la medición y determinación de la longitud de los segmentos entre 20 y 200 m, la simulación de los pesos oscilantes es calculada para hallar un valor de rugosidad promedio por tramo.

La velocidad debe de mantenerse constante de 60 y 80 km/h. Los tipos de vehículos estipulados en la configuración son:

- Vehículo pequeño.
- Vehículo normal (Sedan).
- Camioneta de doble tracción o 4x4.
- Bicicleta.

Según el Roadroid (2020) indica que para el control de mediciones cIRI, se realizaron distintos muestreos en varios países, donde se concluyó a la siguiente tabla para la configuración del programa antes al muestreo.

**Tabla 4**  
*Mediciones de cIRI*

<b>Tipo de vía</b>	<b>Asfalto</b>	<b>Grava</b>	<b>Tierra</b>
Velocidad (km/h)	80	60	40
Sensibilidad cIRI	1.6	2.2	2.8
Longitud tramo cIRI (m.)	40	100	200

*Nota:* Tabla adaptada de “Roadroid, Road Surveys con teléfonos inteligentes, esencial para profesionales” (2020).

### **2.2.2.3 IRI estimado (eIRI)**

El IRI estimado es una variación del cálculo de IRI propuesto por el Banco Mundial, ya que usa correlaciones lineales con instrumentos de medición de alta precisión. Además, el eIRI pertenece a la clase 3 del método de precisión propuesto por (Sayers, M. y Karamihas, S., 1998).

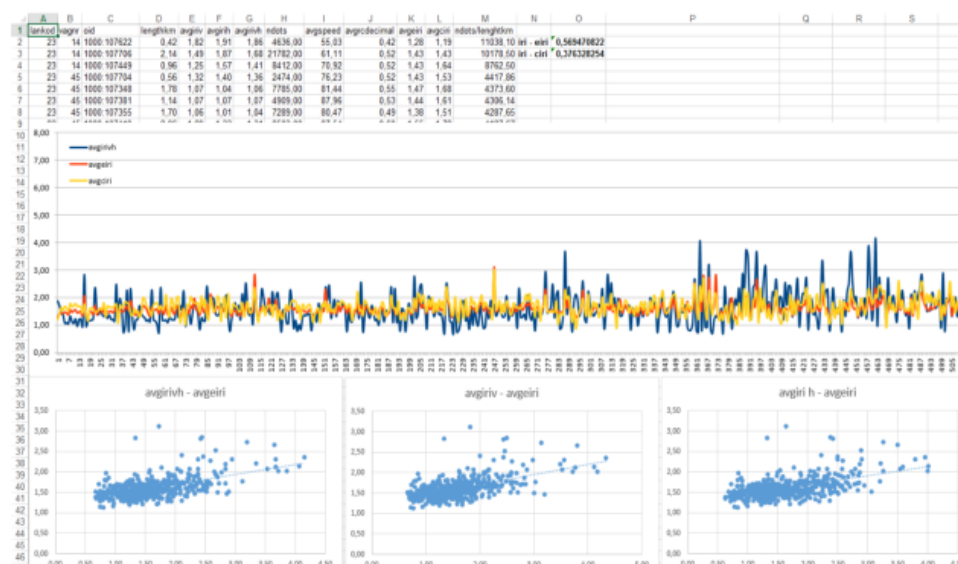
El análisis se basa en medir tramos de 20 m con un perfilómetro láser y el Roadroid en diferentes secciones de las carreteras. Al realizar la comparación, se estableció un factor de correlación para estimar el IRI. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue de 0,5 lo que significa que se correlaciona moderadamente. No obstante, el análisis presenta algunas limitaciones en las superficies de pavimento en mal estado y en vehículos pequeños, debido a que son más sensibles que un coche estándar.

Las investigaciones para encontrar soluciones a las limitaciones aún continúan por diferentes instituciones como el Banco Mundial, UNOPS, la compañía SpeaAutostrade y algunas universidades.



La universidad de Auckland determinó una correlación del 81 % entre los datos obtenidos por la aplicación Roadroid y un perfilómetro de clase 1 tal como se puede apreciar en la imagen 10.

**Figura 10**  
Filtrar datos y buscar correlaciones



*Nota.* Imagen adaptada de “Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones” (2015).

### 2.2.2.4 Índice ROADROID

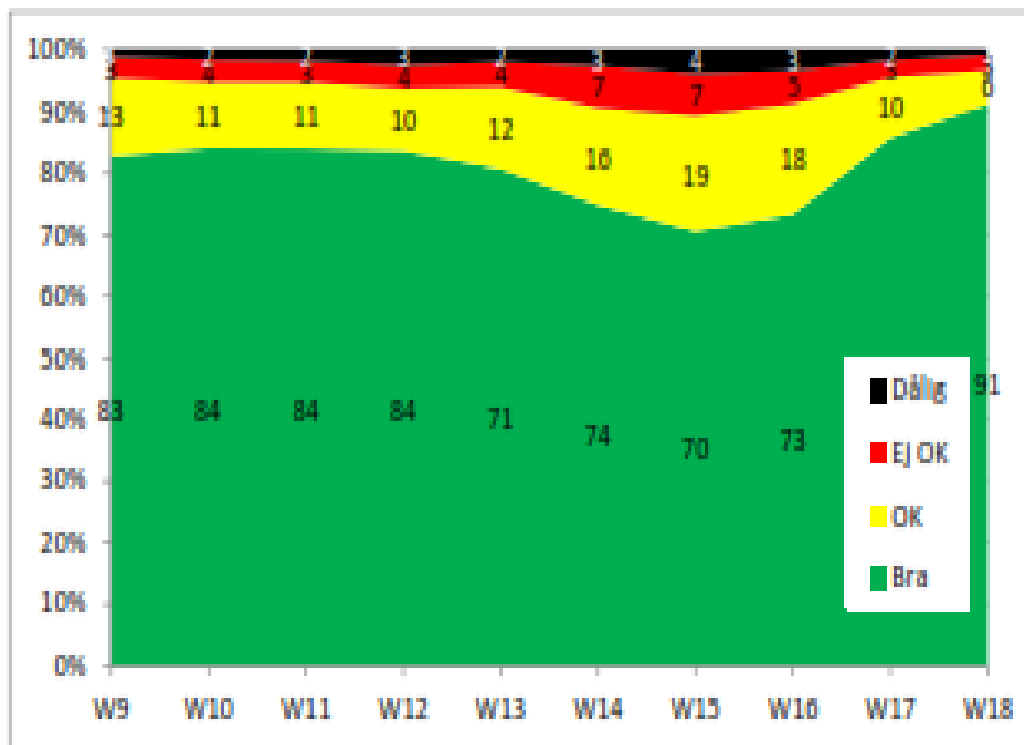
ROADROID diferencia las vías analizadas por medio del IRI (calculado o estimado) en cuatro clases y los representa a través de colores (verde, amarillo, rojo y negro). El objetivo es presentar los datos de manera global y escalable.

El Índice ROADROID muestra el porcentaje de cada clase de ruta gracias a la base de datos que se genera al analizar una carretera. Por ejemplo, para un segmento de ruta examinada se consigue un 94,6 % de bueno (color verde), 3,3 % de satisfactorio (color amarillo), 1,5 % de no satisfactorio (color rojo) y 0,6 % de pobre (color negro). (Ver Figura 11)

La ventaja de este índice radica en añadir datos de varias mediciones en el tiempo; además, se genera informes automáticamente facilitando la

comparación de los resultados obtenidos de la calidad de pavimentos de diferentes longitudes de carreteras.

**Figura 11**  
*Pavimento de asfalto*



*Nota.* Imagen adaptada de “Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones” (2015).

En la siguiente tabla se utiliza los datos obtenidos para el desarrollo resultados en el tiempo.

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

El RI es muy adecuado para hacer informes a partir de los datos de la condición de carretera.

**Tabla 5**  
*Estado de la vía según ROADROID*

Estado de la vía	IRI	Color
Buena	< 2,5	Verde
Satisfactoria	2,5 – 4,0	Amarillo
No satisfactoria	4,0 – 6,0	Rojo
Pobre	> 6,0	Negro

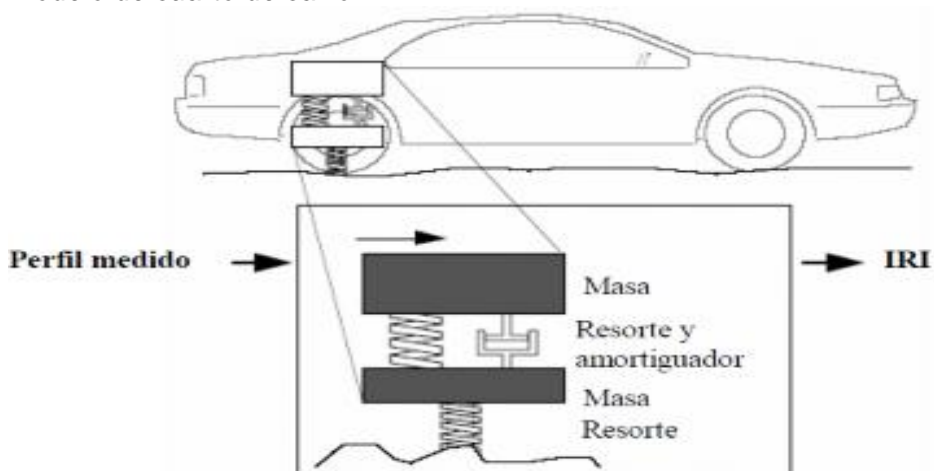
*Nota.* Adaptado del artículo “Roadroid: monitoreo continuo del estado de la carretera con teléfonos inteligentes” (2014).

### 2.2.3 Aplicación de teléfonos inteligentes ABAKAL

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

El modelo es una representación de una rueda posterior de un automóvil, mediante masas, resortes y amortiguadores con coeficientes patrón, representa la masa del vehículo, la masa de la rueda, el amortiguador y la flexibilidad de la llanta. En el modelo ilustrado en la Figura 12 medimos los movimientos verticales atribuibles a las irregularidades en el perfil longitudinal.

**Figura 12**  
*Modelo de cuarto de carro.*



*Nota.* Imagen adaptada de “The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles. Washington, USA.

- **Velocidad de ensayo**

La velocidad debe ser constante y centrada en los 80 km/h, por ese motivo el velocímetro marca en verde los alrededores de dicha velocidad.

- **Ubicación del teléfono inteligente**

El dispositivo móvil puede fijarse apoyado en el parabrisas para la operación adecuada de los ajustes, ya sean los métodos estadísticos o los máximos, de acuerdo a lo mostrado en la figura 13.

### **Figura 13**

*Ubicación del teléfono en el vehículo.*



*Nota.* Imagen tomada del *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil.*

- **Tipos de cálculo**

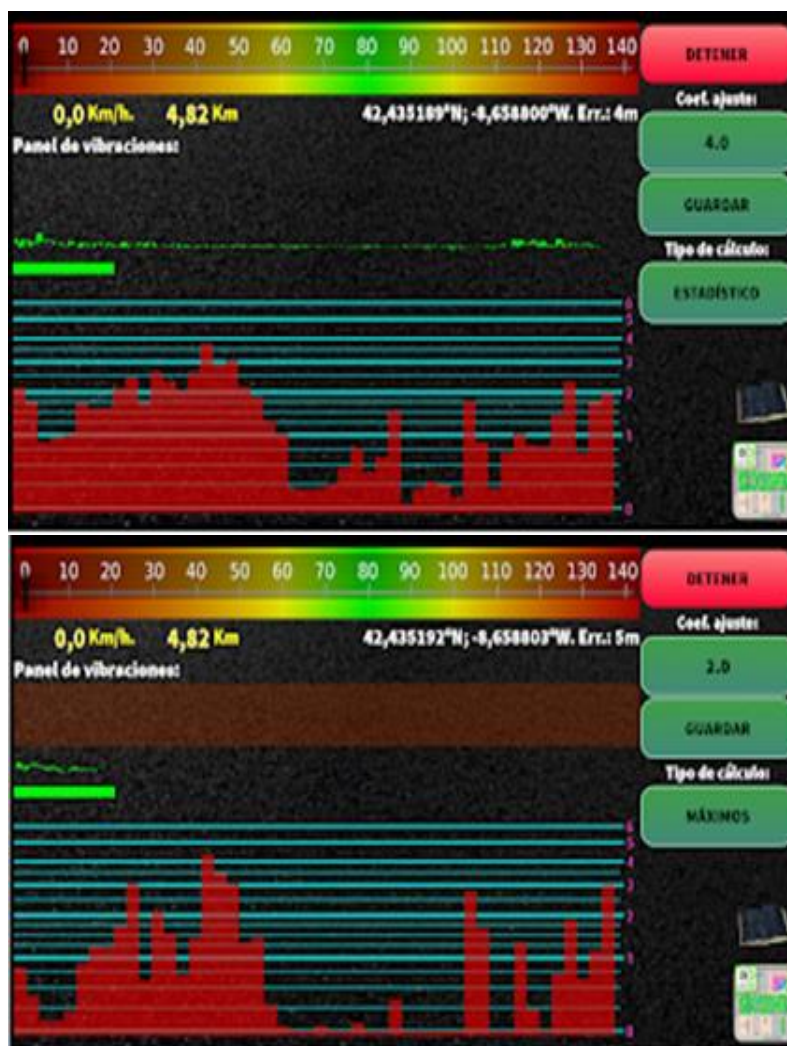
Están definidos dos métodos de cálculo diferente, estadísticos y máximos. El método estadístico deriva de la ponderación relativa de primer y segundo orden de la vibración transmitida por el vehículo al dispositivo. El coeficiente de ajuste eleva (o reduce) dicha ponderación.

El método por máximos establece unos valores límite, a partir de los cuales pondera el ensayo. Bajar el límite equivale a elevar el ensayo. Por ello el coeficiente de ajuste es inverso a la ponderación del ensayo.

A priori, no se puede establecer cuál es el mejor sistema que se adapte al tándem vehículo-Smartphone, Por ese motivo, es necesario comparar los resultados con otro IRI externo y elegir el mejor en cada caso. Si se cambia de vehículo o de Smartphone hay que repetir estas operaciones. Mientras se realiza el ensayo, éste se irá dibujando en la gráfica inferior con la escala vertical de tipo logarítmica de acuerdo a lo mostrado en la figura 14.

**Figura 14**

*Métodos de cálculo.*



*Nota.* Imagen tomada del *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil.*

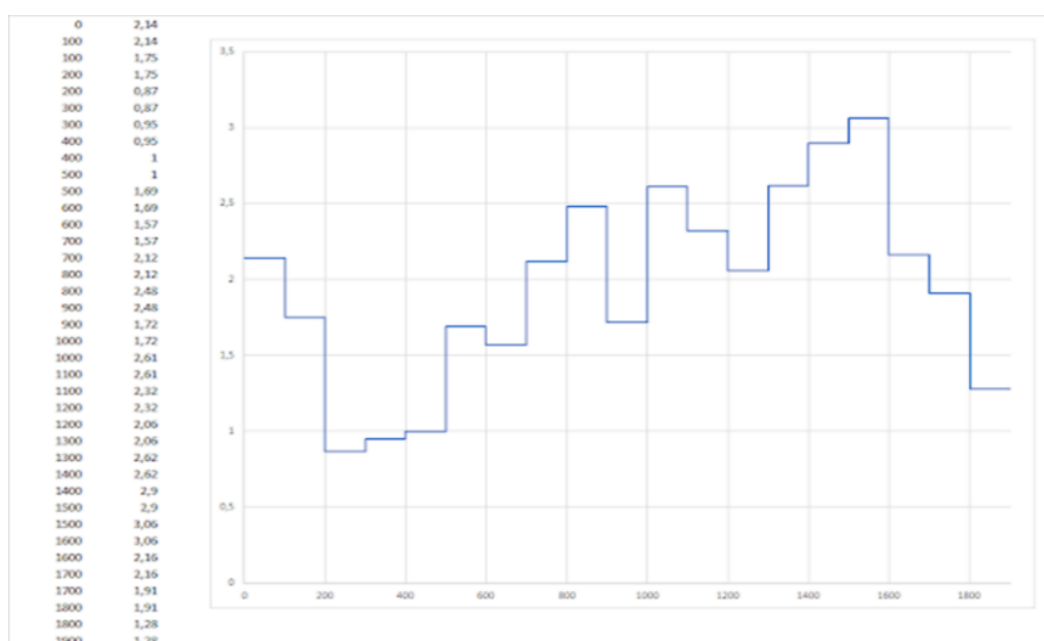
## Generación de informe

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

El primer archivo es el *informe IRI.csv*, el cual se puede abrir como una hoja de cálculo, la cual luego se podrá graficar en base a la data obtenida, tal cual se aprecia en la figura 15.

**Figura 15**

*Informe IRI.csv – base de datos obtenidos y la gráfica correspondiente*



*Nota.* Imagen tomada del Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil.

En cuanto al segundo archivo de nombre *informe IRI2.csv*, es una tabla de control que permite visualizar los datos obtenidos durante los ensayos, como se logra apreciar en la tabla 6.



**Tabla 6**  
*Resultados Informe IRI2.csv – tabla de control*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI
42,453,633	-8,677,348	110	75,35	0	2,14
42,454,396	-8,675,086	114	72,00	200	0,87
42,454,814	-8,673,987	119	73,30	300	0,95
42,455,341	-8,672,945	124	76,32	400	1
42,456,012	-8,671,988	129	80,24	500	1,69
42,456,741	-8,671,048	137	78,12	600	1,57
42,457,411	-8,670,161	142	71,78	700	1,59
42,458,005	-8,669,230	146	73,55	800	2,12

*Nota.* Tabla adaptada del *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil.*

Finalmente obtenemos el archivo informe IRI.kml, el cual se logra abrir en el software de Google Earth, visualizando de esta manera el recorrido realizado (figura 16).

**Figura 16**

*Informe IRI.kml.*



*Nota.* Imagen tomada del *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil.*

## **2.3 Definición de términos**

### **2.3.1 Transitabilidad**

Infraestructura vial que asegura y permite un flujo regular de tránsito en un tiempo determinado. (Zeballos, G. y Vizcarra, C. (2020))

### **2.3.2 ROADROID.**

Aplicativo creado para Smartphone, son equipos desarrollados para medir la rugosidad en los pavimentos flexibles y rígidos en forma precisa, económica y con datos confiables. (Zeballos, G. y Vizcarra, C. (2020))

### **2.3.3 IRI**

Índice de Rugosidad Internacional, viene a ser la rugosidad presente en la capa superficial del pavimento para conocer su estado funcional. (Zeballos, G. y Vizcarra, C. (2020))

### **2.3.4 ABAKAL**

Es un aplicativo usado en teléfonos inteligentes para calcular el IRI utilizando los sensores y el GPS de Android. Sus resultados presentan gráficos e informe en Excel, además es posible calibrar en estadísticos. (Gonzalo, J., y Beingolea, H. (2021))

### **2.3.5 Índice de serviciabilidad**

Se determina mediante una escala de 0 a 5, que ayuda a la calificación de la transitabilidad en una vía investigada para un manejo confortable y seguro. (Flores E. y Pilco G. (2021))



## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo y diseño de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de la investigación es aplicada, se caracteriza porque busca la aplicación de conocimientos y se encuentra vinculada con el diseño de campo, cuando se realiza en un ambiente natural, en el que no hay manipulación de variables.

##### 3.1.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se refiere a la manera en cómo se dará respuesta a las interrogantes formulada en la investigación y dichas maneras están relacionadas con la definición de estrategias a seguir en la búsqueda de solucionar al problema planteado, utilizando estrategias de investigación documental y la investigación de campo; es decir profundizar el conocimiento de trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos, por otro lado la recolección de datos directamente de los investigadores o en la realidad en donde ocurren los hechos sin manipular o controla la variable.

##### 3.1.3 Nivel de la investigación

La investigación es descriptiva - exploratoria, porque implica observar y describir eventos con la finalidad de orientar a lograr un nuevo conocimiento de manera sistémica y metódica, con el único objetivo de ampliar el conocimiento, y exploratorio, porque pretende ahondar con la investigación alcances poco antes estudiada, estableciendo prioridades para futuras investigaciones. La base de la investigación está en la toma de datos en campo a través de un formato de evaluación de registro, cuyos resultados se representan en formatos de cálculo, diagramas de sectores y gráficos de barras.

## 3.2 Población y muestra de estudio

### 3.2.1 Población

La población para la investigación todas las calles y avenidas del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, vías que se encuentra en la parte alta del distrito como Humboldt y Puya Raimondi, vías que comunican o conectan con el distrito capital de Tacna, de los cuales se hace necesario determinar las condiciones de transitabilidad

### 3.2.2 Muestra

La muestra de estudio es la avenida Antúnez de Mayolo, que consisten en dos calzadas de 7.20 m de ancho y una longitud de 1.95 km; cuyo pavimento presenta fallas y desgaste los cuales afectan la capa de rodadura.

## 3.3 Operacionalización de las variables

Se desarrolla a detalle la operacionalización de variables con sus respectivos indicadores expuestos en el Anexo 1.

### 3.3.1 Variable dependiente

*Mejorar la transitabilidad.*

- **Definición conceptual**

La transitabilidad viene a ser una medida del comportamiento del pavimento, la misma que relaciona con el nivel de servicio.

- **Definición operacional**

En relación a los resultados obtenidos del IRI, con el uso de la fórmula de Williams Paterson se obtiene la transitabilidad (muy buena, buena, regular, mala y muy mala).

**Indicadores:**

- Serviciabilidad
- Índice internacional de rugosidad

- Escala y características del IRI
- Cálculo del índice de rugosidad
- Índice de transitabilidad en función del IR

### 3.3.2 Variable independiente

*Evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes.*

- **Definición conceptual**

Uso de aplicativos ROADROID y ABAKAL son métodos que determinan el IRI, donde sus resultados nos ayudan a calificar la condición del pavimento, y ejecutar alternativas de mantenimiento.

- **Definición operacional**

El aplicativo ROADROID y ABAKAL representan un conjunto de lineamientos sustentados en procedimientos establecidos en la NTP CE.010.

**Indicadores:**

- Aplicativo para teléfonos inteligentes ROADROID.
- Índice ROADROID (IR)
- IRI estimado.
- IRI calculado
- ABAKAL.
- Índice ABAKAL IRI

### 3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La metodología utilizada es el uso de un teléfono inteligente (Samsung S6, S7), mediante los aplicativos ROADROID y ABAKAL, para la determinación del índice de rugosidad del pavimento, y en base a valores determinados se pueda calcular la transitabilidad en función del IRI ponderado de cada aplicativo, finalmente indicar el tipo de tratamiento que necesita para mejorar la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo.

Para la elaboración de la investigación se procede con la búsqueda de la zona de investigación avenida Antúnez de Mayolo, vía que presenta fallas y patologías en el pavimento.

Una vez obtenidos los datos de campo utilizando los aplicativos ROADROID y ABAKAL se determina los valores ponderados del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) para calcular la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo y las recomendaciones del tratamiento necesario para mejorar.

### **3.4.1 Técnicas**

Las técnicas utilizadas para la obtención de información fueron la aplicación de los softwares ROADROID y ABAKAL, los cuales son aplicativos portátiles que hacen uso de un smartphone para su aplicación, posteriormente se hizo uso de una camioneta Toyota Hillux, que será configurada para el uso de las aplicaciones móviles.

En cuanto al Aplicativo ROADROID se hizo uso de la versión 2.4.8, en el cual registramos el IMEI del teléfono a utilizarse en el sitio Web, registramos de la misma manera el correo electrónico que utilizaremos para la creación de nuestro usuario y finalmente se configurará el modelo del vehículo y teléfono utilizados para la obtención de datos.

Para la presente investigación el uso de la licencia fue gratuito para la Universidad Privada de Tacna con fines educativos para investigación.

### **3.4.2 Instrumentos**

- Teléfono inteligente (S6, S7 o S8),
- Aplicativo ROADROID
- Aplicativo ABAKAL
- Guías de observación y formatos de campo
- Cámara fotográfica.
- Camioneta 4X4

## **3.5 Procedimiento y análisis de datos**

Mediante los aplicativos adquiridos realizaremos la obtención de datos de la zona, para luego procesarlos en gabinete utilizando una hoja electrónica EXCEL.

### 3.5.1 Procedimiento de ensayo ROADROID

Para iniciar el uso del aplicativo ROADROID ingresamos a la aplicación y visualizamos las opciones que nos brinda el aplicativo ROADROID tal cual se aprecia en la figura 17, para luego seleccionar la opción *Fitting adjustment*, y de esta manera calibrar el celular.

Los valores de X, Y Z deben estar lo más cerca a cero de acuerdo a lo mostrado en la figura 18, para el cual el botón de poner de color verde y así se puede continuar con el levantamiento de la información.

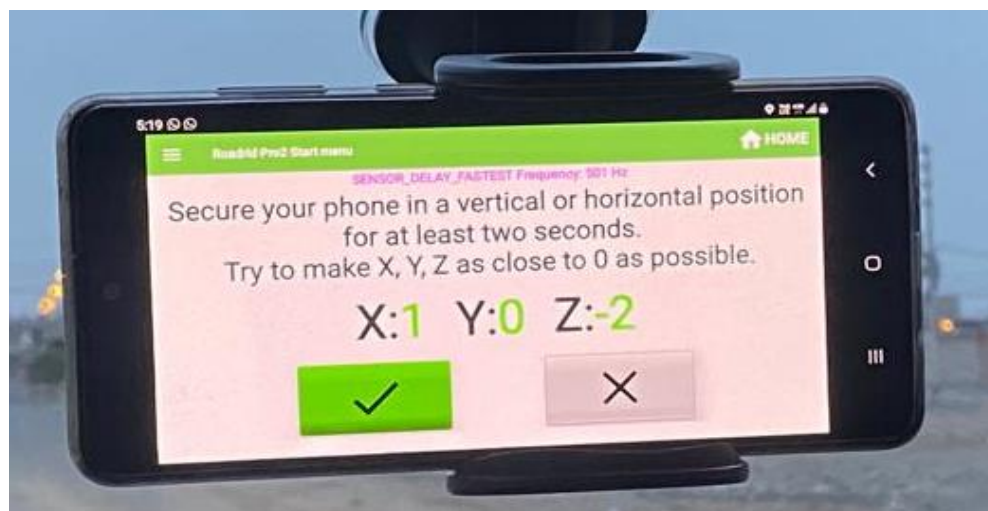
**Figura 17**

*Pantalla Inicio del aplicativo ROADROID en el vehículo de ensayo*



**Figura 18**

*Configuración del aplicativo ROADROID en el vehículo de ensayo*

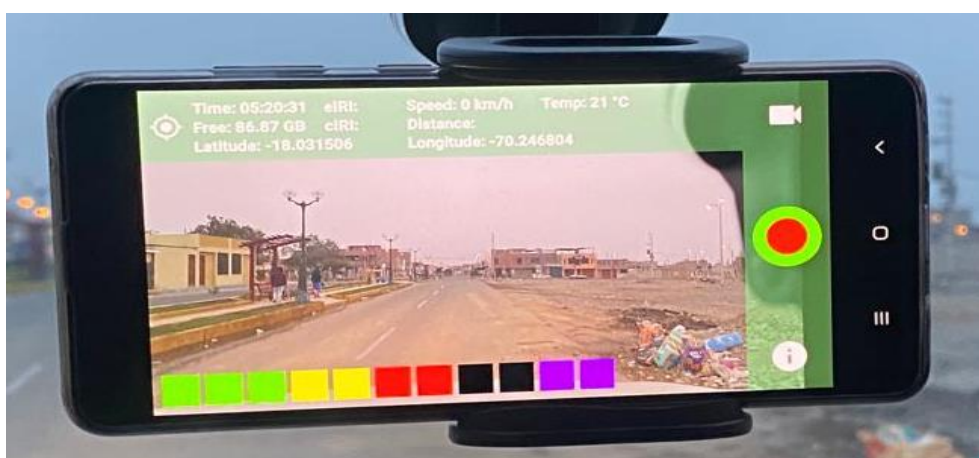


Al realizar la toma de información tenemos varias opciones, una de ellas es el levantamiento de datos con un video completo del recorrido a lo largo de la vía evaluada, así como también la opción de toma de fotografías en determinados tramos, estas opciones se pueden apreciar en la figura 19.

En todos los casos, el aplicativo nos muestra en la parte inferior de la pantalla el índice de colores con el que califica cada tramo por el cual realizamos el recorrido (Ver figura 20).

### Figura 19

*Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID con fotografía*



*Nota. En la imagen observamos la vista panorámica de la opción video del aplicativo, se observa también en la parte inferior de la pantalla la escala de colores de acuerdo al índice ROADROID.*

### Figura 20

*Evaluación de la rugosidad utilizando aplicativo ROADROID sin fotografía*



Al finalizar la toma de la información se procede a cargar todos los archivos a la página web de ROADROID. Los archivos obtenidos en la evaluación de la vía se guardan automáticamente en la carpeta ROADROID del celular en formato Zip, finalmente los archivos cargados a la web se trasladan a la carpeta *roadroid/backup* y en la pantalla del celular aparece el mensaje “*upload complete*”.

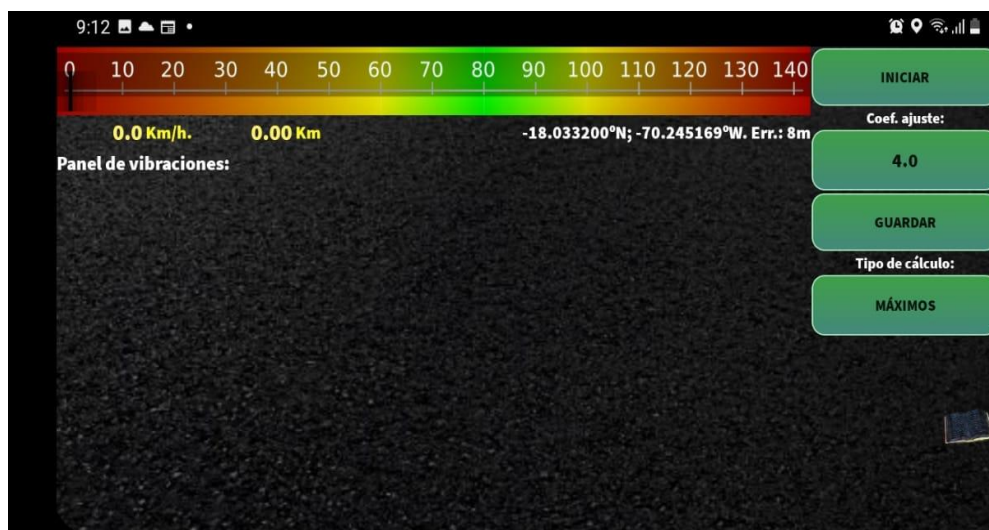
La recolección de los datos fue obtenida por los investigadores con ayuda de un personal especialista en el manejo de los aplicativos, tal como se muestra en la toma fotográfica.

### 3.5.2 Procedimiento de ensayo ABAKAL IRI

Para iniciar el uso del aplicativo ABAKAL IRI ingresamos a la aplicación y visualizamos las opciones que nos brinda el aplicativo, tal cual se aprecia en las figuras 21 y 22, en las cuales visualizamos las dos metodologías de trabajo que nos brinda el aplicativo ABAKAL IRI, las cuales son el tipo de cálculo de máximos donde utilizan un coeficiente de ajuste de valor 4 y el tipo de cálculo de estadísticos con un coeficiente de ajuste 2.

**Figura 21**

*Pantalla Inicio del aplicativo ABAKAL en el vehículo de ensayo*

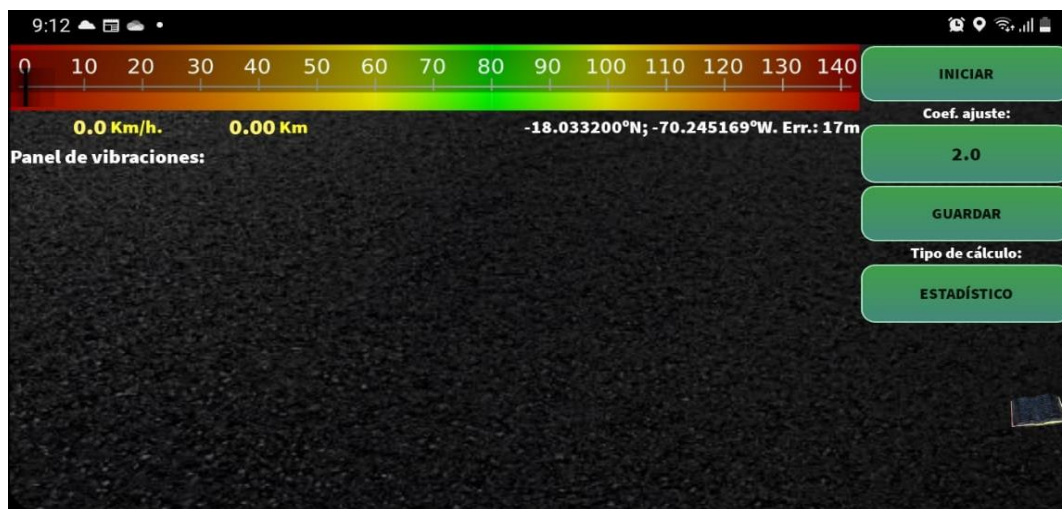


*Nota.* Pantalla de inicio configurada con el tipo de cálculo máximos, apreciamos que el programa utiliza de manera automática el coeficiente de ensayo 4.



**Figura 22**

*Pantalla Inicio del aplicativo ABAKAL en el vehículo de ensayo*



*Nota. Pantalla de inicio configurada con el tipo de cálculo estadístico, apreciamos que el programa utiliza de manera automática el coeficiente de ensayo 2.*

Luego de ajustar con el tipo de calculo que trabajaremos los ensayos, daremos inicio al recorrido por la vía ubicando el Smartphone en la parte delantera del vehículo, de la manera en que se aprecia en la figura 23.

**Figura 23**

*Determinación de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL*





Por otro lado realizaremos los ensayos en ambos sentidos de la vía, de subida y bajada, donde el aplicativo nos mostrará en gráficas de acuerdo a las señales emitidas el estado del pavimento de las vía evaluada, en la figura 24 observamos los resultados obtenidos en graficas de un tramo de la vía en sentido de bajada, del mismo modo en la figura 25 visualizamos para el sentido de subida.

### Figura 24

*Determinación de la rugosidad usando el aplicativo ABAKAL bajada*



### Figura 25

*Determinación de la rugosidad usando el aplicativo ABAKAL subida*



### 3.5.3. Análisis de datos obtenidos por los aplicativos ROADROID y ABAKAL

Los archivos con la información obtenida en los ensayos realizados se encuentran subido en la nube de la página web de ROADROID, al ingresar con el usuario y contraseña con la cual nos registramos en la app Roadroid, nos dirigimos al hipervínculo *detail*, de esta manera mostrará la descarga de los datos obtenidos en campo.

Al seleccionar la opción *Generate*, se nos permitirá obtener el valor analizado de IRI a distancias cada 20, 50, 100, 160 y 200 m y de esta manera proceder a descargar en formato TXT los valores de IRI calculado y estimado.

#### Figura 26

*Descarga de la información registrada en ROADROID, utilizando usuario y contraseña obtenida*

Versión actual del sistema: 2.6.10

Iniciar sesión

Inglés | Svenska | Portugués

Casa Mapa Información

Formulario de inicio de sesión

1. Nombre de usuario

upt.edu.pe

2. Contraseña

\*\*\*\*\*

Iniciar sesión

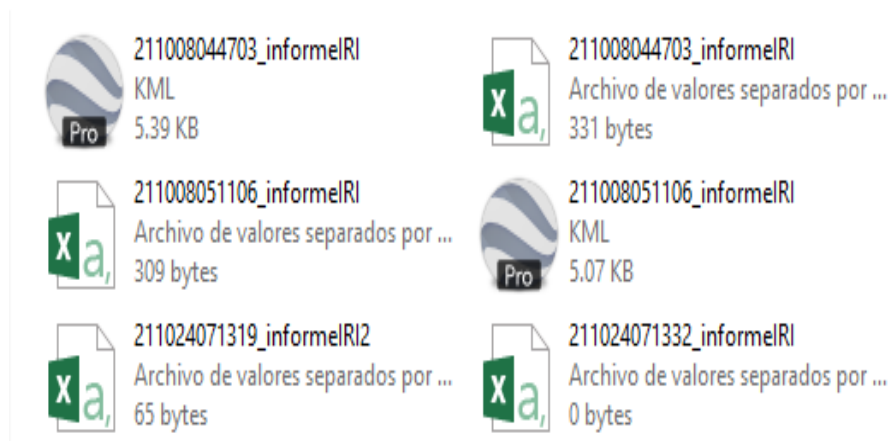
© 2013-2020 - Copyright (c) Roadroid

*Nota.* Vista de la página de ROADROID para la descarga de la información obtenida en campo.

En cuanto al aplicativo ABAKAL IRI descargaremos los 3 archivos que se generan de manera automática en el dispositivo móvil, tal cual se aprecia en la figura 27.

### Figura 27

*Descarga de la información registrada en el aplicativo ABAKAL*



*Nota.* Archivos guardados en el aplicativo ABAKAL para descargar.

En base a la información obtenida de los reportes del Aplicativo ROADROID y ABAKAL en relación al IRI de los aplicativos utilizados, se procesan los datos obtenidos del aplicativo utilizando la hoja electrónica EXCEL.

Para obtener los valores del IRI con los aplicativos en la avenida Antúnez de Mayolo, se ensaya en ambas calzadas, izquierdo y derecho cada 100 m de la misma forma los cálculos ponderados o el procesamiento de los datos se utiliza la Hoja electrónica EXCEL

Finalmente, con los datos ponderados del IRI podremos determinar las condiciones de la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 5.1 Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando el aplicativo ABAKAL IRI.

De acuerdo a la información obtenida en campo del aplicativo ABAKAL, los valores IRI fueron obtenidos a velocidades entre 40 a 50 km/h.

Sabiendo que la vía considerada para la investigación está ubicada dentro de una zona urbana y al ser una ruta transitada, contando con intersecciones y badenes, nos encontramos con la restricción de velocidades, esto debido a que según la nueva modificatoria DS N°025-2021-MTC realizada al Reglamento Nacional de Tránsito, indica que el límite de velocidad en avenidas puede tener un máximo de 50 km/h, máximo de velocidad que no permite cumplir con lo establecido para el funcionamiento del aplicativo ABAKAL, el cual es de 80 km/h, por lo que tomamos como referencia investigaciones anteriormente realizadas.

Junaid (2015) en la Tesis “Pavement Performance Measures using Android based Smart Phone Application” donde realizado distintos ensayos con el aplicativo mencionado, concluye que para calcular el IRI promedio, el aplicativo funciona de manera correcta incluso al trabajar con velocidades de 50 km/h, indicando también que el aplicativo no obtendrá valores confiables con velocidades menores a los 20 km/h.

En tal sentido optamos por reducir la velocidad de evaluación a fin de no incurrir al límite máximo de velocidades permitidas para la zona de investigación.

##### 5.1.1 Datos obtenidos del aplicativo ABAKAL

En la Tabla 7 presentamos la data obtenida a raíz de los ensayos realizados en la avenida Antúnez de Mayolo con el aplicativo ABAKAL, para establecer los valores del IRI. Posteriormente analizamos la data con un gráfico de líneas donde muestra el comportamiento de los valores IRI en la

zona de evaluación (ver figura 28), de la misma forma en la figura 29 observamos la imagen obtenida del aplicativo de la zona de evaluación.

**Tabla 7**

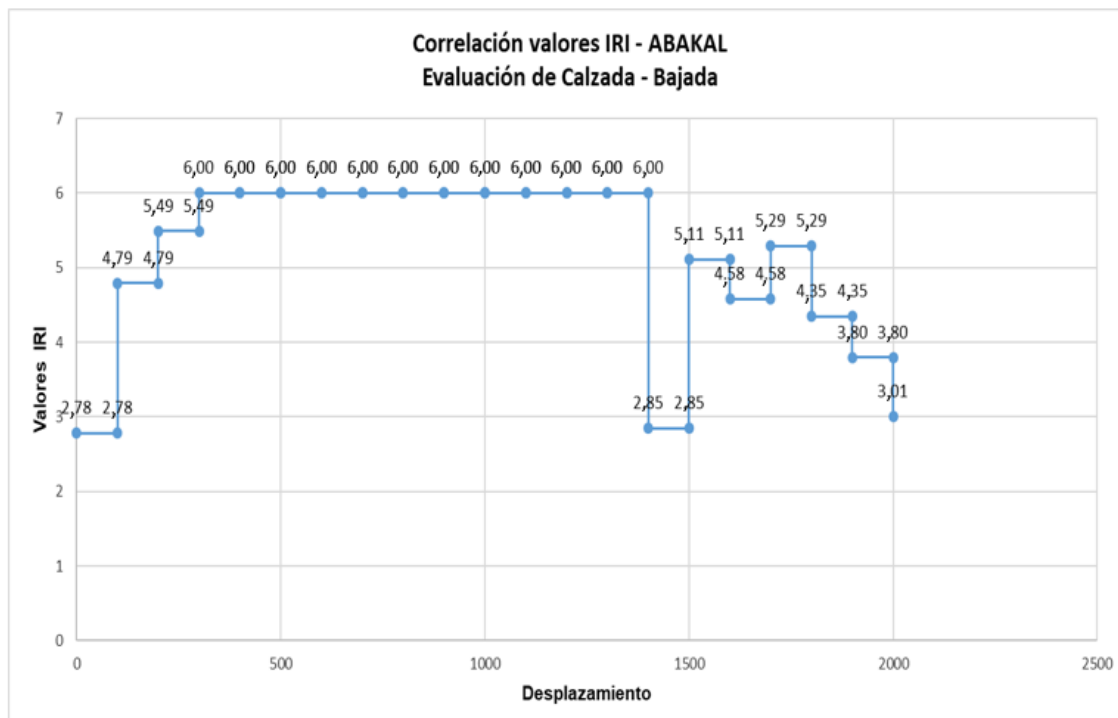
*Reporte del aplicativo ABAKAL, calzada de Bajada*

Latitud	Longitud	Altitud (m)	Velocidad (km/h)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,032502	-70,246834	573,23	41,13	0,00	2,78
-18,033492	-70,246878	572,66	51,17	100	4,79
-18,034475	-70,24678	571,50	48,31	200	5,49
-18,035457	-70,246818	570,08	47,99	300	6,00
-18,036442	-70,246867	567,46	51,72	400	6,00
-18,037444	-70,246907	565,51	49,02	500	6,00
-18,038459	-70,24696	563,67	51,63	600	6,00
-18,039476	-70,247009	562,52	50,22	700	6,00
-18,04038	-70,247051	561,30	52,32	800	6,00
-18,041297	-70,247097	559,23	52,80	900	6,00
-18,04232	-70,247141	556,46	50,41	1 000	6,00
-18,043331	-70,247192	553,69	50,62	1 100	6,00
-18,044299	-70,24723	550,90	46,66	1 200	6,00
-18,045249	-70,247276	548,19	43,46	1 300	6,00
-18,046203	-70,247322	545,54	47,40	1 400	2,85
-18,04711	-70,247363	542,99	51,84	1 500	5,11
-18,04812	-70,247401	539,25	46,66	1 600	4,58
-18,04916	-70,247443	536,24	43,46	1 700	5,29
-18,05015	-70,247482	532,98	47,40	1 800	4,35
-18,05114	-70,247521	497,85	51,84	1 900	3,80
-18,05213	-70,247562	465,25	43,50	2 000	3,01

*Nota.* Información obtenida en campo en el tramo 0+000 al 2+000, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI evaluados cada 100 m en el carril de bajada.

**Figura 28**

*Comportamiento de los valores IRI cada 100 m. Calzada de Bajada*



*Nota.* Comportamiento de los valores IRI obtenidos en campo en el tramo 0+000 al 2+000, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI evaluados cada 100 m en el carril de bajada.

**Figura 29**

*Desplazamiento por la calzada de bajada utilizando ABAKAL*



*Nota.* Tomado del aplicativo ABAKAL



En la Tabla 8 presentamos la data obtenida a raíz de los ensayos realizados en la avenida Antúnez de Mayolo con el aplicativo ABAKAL, para establecer los valores del IRI. Posteriormente analizamos la data con un gráfico de líneas donde muestra el comportamiento de los valores IRI en la zona de evaluación (ver figura 30), de la misma forma observamos la imagen obtenida del aplicativo de la zona de evaluación (ver figura 31).

**Tabla 8**

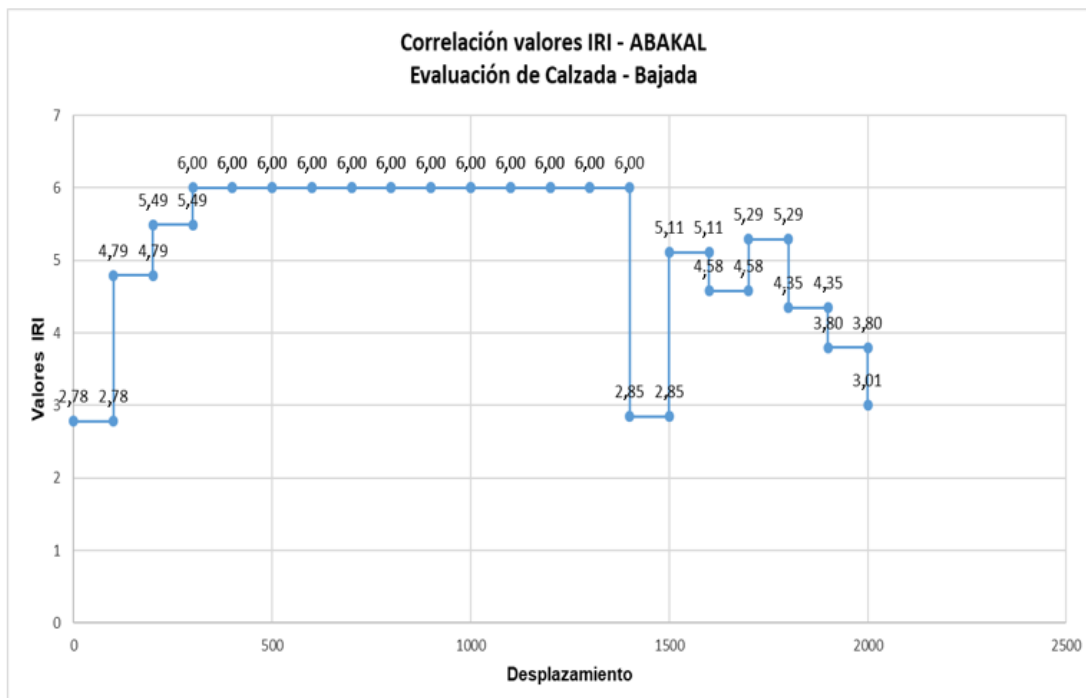
Reporte del aplicativo ABAKAL, calzada de Subida

Latitud	Longitud	Altitud (m)	Velocidad (km/h)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,04683	-70,24722	543,14	41,38	0	2,93
-18,045812	-70,247182	545,92	48,80	100	6,00
-18,044857	-70,247143	548,72	53,55	200	6,00
-18,043901	-70,247099	551,46	45,40	300	6,00
-18,042951	-70,247056	554,39	43,57	400	6,00
-18,041947	-70,247014	556,97	45,66	500	6,00
-18,041017	-70,246975	559,70	46,84	600	6,00
-18,040083	-70,246929	561,45	47,28	700	6,00
-18,039166	-70,24689	563,20	42,85	800	6,00
-18,038257	-70,246843	564,56	45,98	900	6,00
-18,037301	-70,246798	566,50	45,18	1 000	6,00
-18,036306	-70,246746	567,62	46,75	1 100	5,33
-18,035373	-70,246702	570,21	49,61	1 200	4,35
-18,034416	-70,246678	571,25	52,12	1 300	4,53
-18,033457	-70,246791	572,82	48,00	1 400	4,13
-18,032547	-70,24675	574,54	41,42	1 500	3,62
-18,03162	-70,246703	575,87	44,05	1 600	3,42
-18,031548	-70,246702	576,98	53,28	1 700	5,32
-18,031147	-70,2466899	577,12	42,85	1,800,00	4,65
-18,030234	-70,246589	578,84	45,98	1,900,00	3,20
-18,030123	-70,246579	579,32	45,18	2,000,00	2,96

*Nota.* Información obtenida en campo en el tramo 0+000 al 2+000, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI evaluados cada 100 m en el carril de subida.

**Figura 30**

Comportamiento de los valores IRI cada 100 m. Calzada de Subida



Nota. Información obtenida en campo en el tramo 0+000 al 2+000, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI evaluados cada 100 m en el carril de subida.

**Figura 31**

Desplazamiento por la calzada de subida utilizando ABAKAL IRI



Nota. Tomado del aplicativo ABAKAL.



## **5.2 Resultados del cálculo de la rugosidad utilizando el aplicativo ROADROID**

### **5.2.1 Datos obtenidos del aplicativo ROADROID**

Se presenta los datos determinados por el aplicativo ROADROID, para establecer los valores del IRI calculado muy confiable si se calibró correctamente en el que se obtiene resultados muy confiables valores de la rugosidad. El cIRI está basado en el modelo del cuarto coche planteado por el Banco Mundial y se recomienda en la toma de datos velocidades que se encuentren en el rango de 60 a 80 km/h.

Las velocidades alcanzadas en la presente investigación para obtener el cIRI no fueron constantes, razón por el cual se tomó el eIRI como el que mejor se ajusta al IRI real de la avenida Antúnez de Mayolo. Para nuestra investigación los valores IRI fueron obtenidos a velocidades entre 40 a 50 km/h, esto debido a que por el límite máximo de velocidades permitidos (50 km/h) y por las intersecciones y badenes existentes a lo largo de la vía de investigación resulta imposible transitar a velocidades mayores a 50 km/h.

De tal manera, Almenara (2015) en su tesis “Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima” evalúa la rugosidad en la Vía Expresa de Lima haciendo uso del aplicativo Roadroid, y se analiza el nivel de afectación producido por la reducción de velocidades al realizar el muestreo para la obtención del IRI, concluyendo así que el aplicativo Roadroid trabaja de manera recomendable en velocidades mayores a los 60 km/h indicando que la variación del IRI no es de manera circunstancial.

**Tabla 9**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+000 m al 0+400 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 05:53	- 18,032502	-70,246834	20	40,02	573,23	0	3,58	2,95	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,033492	-70,246878	40	42,26	572,66	-0,1	4,85	3,84	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,034475	-70,24678	60	45,33	571,50	-0,13	5,48	3,74	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,035457	-70,246818	80	43,56	570,08	-0,17	6,25	4,29	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,036442	-70,246867	100	45,25	567,46	-0,45	5,08	5,48	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,037444	-70,246907	120	46,32	565,51	-0,8	4,65	4,69	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,038459	-70,24696	140	48,63	563,67	-0,85	4,9	3,85	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,039476	-70,247009	160	40,25	562,52	-0,7	4,15	3,1	bajada01
8/10/2021 05:53	-18,04038	-70,247051	180	40,74	561,30	-0,72	4,26	2,59	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,041297	-70,247097	200	49,61	559,23	-0,97	6,02	2,63	bajada01
8/10/2021 05:53	-18,04232	-70,247141	220	47,52	556,46	-0,78	5,69	2,59	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,043331	-70,247192	240	47,25	553,69	-0,58	3,73	2,29	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,044299	-70,24723	260	45,36	550,90	-0,53	3,68	2,96	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,045249	-70,247276	280	41,36	548,19	-0,59	3,87	2,07	bajada01
8/10/2021 05:53	- 18,046203	-70,247322	300	42,31	545,54	-0,64	4,15	2,56	bajada01
8/10/2021 05:53	-18,04711	-70,247363	320	42,46	542,99	-0,75	3,46	2,64	bajada01
8/10/2021 05:53	-18,04812	-70,247401	340	42,07	539,25	-0,46	4,36	2,69	bajada01
8/10/2021 05:53	-18,04916	-70,247443	360	41,85	536,24	-0,31	4,82	3,31	bajada01
8/10/2021 05:54	-18,05015	-70,247482	380	41,65	532,98	-0,55	5,01	4,01	bajada01
8/10/2021 05:54	-18,05114	-70,247521	400	43,66	497,85	-1,37	4,56	2,98	bajada01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 10**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+420 m al 0+800 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	ciRI	Roadroid
8/10/2021 05:54	-18.05213	- 70.247562	420	45,61	465.25	-1,45	4.98	2,03	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.032502	- 70.246834	440	46,8	573.23	-1,5	5.26	2,57	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.033492	- 70.246878	460	47,72	572.66	-1,23	5.25	2,46	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.034475	-70.24678	480	47,75	571.50	-0,76	4.87	2,02	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.035457	- 70.246818	500	47,21	570.08	-0,62	4.85	1,89	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.036442	- 70.246867	520	47,1	567.46	-0,82	5.21	2,57	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.037444	- 70.246907	540	46,82	565.51	-1,31	5.12	2,54	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.038459	-70.24696	560	46,32	563.67	-1,73	5.09	2,29	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.039476	- 70.247009	580	46,44	562.52	-1,55	5.31	2,53	bajada01
8/10/2021 05:54	-18.04038	- 70.247051	600	46,96	561.30	-1,27	5.29	2,23	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.041297	- 70.247097	620	47,85	559.23	-1,21	4.58	2,21	bajada01
8/10/2021 05:54	-18.04232	- 70.247141	640	48,75	556.46	-1,18	4.58	3.45	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.043331	- 70.247192	660	49,13	553.69	-1,12	4.59	2,51	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.044299	-70.24723	680	49,16	550.90	-0,89	5.23	1,84	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.045249	- 70.247276	700	49,01	548.19	-0,66	5.56	2,01	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18.046203	- 70.247322	720	48,56	545.54	-0,36	5.48	2,34	bajada01
8/10/2021 05:54	-18.04711	- 70.247363	740	48,57	542.99	-0,17	5.65	3.26	bajada01
8/10/2021 05:54	-18.04812	- 70.247401	760	48,53	539.25	-0,22	4.06	3.85	bajada01
8/10/2021 05:54	-18.04916	- 70.247443	780	47,9	536.24	-0,51	5.74	3.82	bajada01
8/10/2021 05:54	-18.05015	- 70.247482	800	47,56	532.98	-0,79	5.86	3.95	bajada01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 11**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+820 m al 1+000 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 05:54	-18,05114	- 70,247521	820	47,16	497,85	-0,98	4,96	2,04	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,032502	- 70,246834	840	46,17	573,23	-0,95	4,69	3,35	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,033492	- 70,246878	860	44,89	572,66	-1,18	4,44	2,39	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,034475	-70,24678	880	44,11	571,50	-0,79	4,00	3,39	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,035457	- 70,246818	900	43,59	570,08	-0,99	4,48	3,45	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,036442	- 70,246867	920	42,68	567,46	-1,47	4,58	2,2	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,037444	- 70,246907	940	43,04	565,51	-1,07	4,56	2,11	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,038459	-70,24696	960	44,28	563,67	-1,07	4,26	2,08	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,039476	- 70,247009	980	44,98	562,52	-1,01	3,21	2,92	bajada01
8/10/2021 05:54	-18,04038	- 70,247051	1000	44,96	561,30	-0,94	3,90	3,25	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,041297	- 70,247097	1020	45,47	559,23	-1,23	3,58	2,57	bajada01
8/10/2021 05:54	-18,04232	- 70,247141	1040	45,68	556,46	-0,93	5,08	3,63	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,043331	- 70,247192	1060	45,81	553,69	-0,87	3,69	3,22	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,044299	-70,24723	1080	45,62	550,90	-1	4,40	3,26	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,045249	- 70,247276	1100	44,33	548,19	-1,13	4,81	2,81	bajada01
8/10/2021 05:54	- 18,046203	- 70,247322	1120	42,37	545,54	-1,42	5,47	3,41	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04711	- 70,247363	1140	42,29	542,99	-0,7	3,48	2,98	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04812	- 70,247401	1160	43,98	539,25	-0,98	3,64	3,01	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04916	- 70,247443	1180	46,7	536,24	-1,85	3,58	3,08	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,05015	- 70,247482	1200	48,9	532,98	-1,44	3,87	3,78	bajada01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 12**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+220 m al 1+600 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 05:55	-18,05114	- 70,247521	1220	50,04	497,85	-0,92	3,83	3,96	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,032502	- 70,246834	1240	51,03	573,23	-1,23	4,59	3,26	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,033492	- 70,246878	1260	50,74	572,66	-1,14	4,59	3,78	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,034475	-70,24678	1280	49,34	571,50	-1,21	4,69	3,65	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,035457	- 70,246818	1300	48,11	570,08	-1,32	5,22	3,24	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,036442	- 70,246867	1320	47,03	567,46	-1,28	5,36	3,25	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,037444	- 70,246907	1340	45,58	565,51	-1,27	4,48	3,89	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,038459	-70,24696	1360	44,53	563,67	-1,73	5,15	3,26	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,039476	- 70,247009	1380	43,58	562,52	-2,92	4,38	2,68	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04038	- 70,247051	1400	42,74	561,30	-2,4	4,90	2,72	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,041297	- 70,247097	1420	43,19	559,23	-2,3	4,93	4,05	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04232	- 70,247141	1440	44,32	556,46	-3,25	4,36	3,62	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,043331	- 70,247192	1460	44,73	553,69	-2,5	5,69	3,87	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,044299	-70,24723	1480	45,19	550,90	-2,68	5,45	3,59	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,045249	- 70,247276	1500	45,78	548,19	-2,67	5,23	3,54	bajada01
8/10/2021 05:55	- 18,046203	- 70,247322	1520	46,36	545,54	-2,55	3,65	2,51	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04711	- 70,247363	1540	47,03	542,99	-2,53	6,01	4,87	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04812	- 70,247401	1560	47,56	539,25	-2,33	3,74	3,32	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04916	- 70,247443	1580	47,39	536,24	-2,17	4,55	3,58	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,05015	- 70,247482	1600	46,5	532,98	-2,01	6,45	4,22	bajada01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 13**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+620 m al 2+000 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 05:55	-18,05114	- 70,247521	1620	45,65	497,85	-2,68	6,99	4,36	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,032502	- 70,246834	1640	45,51	573,23	-2,06	5,02	3,15	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,033492	- 70,246878	1660	45,97	572,66	-2,02	4,73	3,58	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,034475	-70,24678	1680	46,59	571,50	-1,88	5,00	3,87	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,035457	- 70,246818	1700	47,19	570,08	-2,12	3,10	2,42	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,036442	- 70,246867	1720	47,68	567,46	-2,35	4,02	2,69	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,037444	- 70,246907	1740	47,36	565,51	-1,95	4,83	3,58	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,038459	-70,24696	1760	46,61	563,67	-1,58	4,95	3,87	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,039476	- 70,247009	1780	46,03	562,52	-1,39	4,71	3,58	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04038	- 70,247051	1800	44,56	561,30	-1,7	4,36	3,89	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,041297	- 70,247097	1820	43,32	559,23	-1,23	4,77	3,77	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,04232	- 70,247141	1840	43,69	556,46	-1,43	3,88	3,04	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,043331	- 70,247192	1860	44,60	553,69	-2,77	3,95	2,96	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,044299	-70,24723	1880	44,66	550,90	-2,6	3,80	3,58	bajada01
8/10/2021 05:55	-18,045249	- 70,247276	1900	43,49	548,19	-2,43	4,23	2,49	bajada01
8/10/2021 05:56	-18,046203	- 70,247322	1920	42,50	545,54	-3,05	4,90	2,32	bajada01
8/10/2021 05:56	-18,04711	- 70,247363	1940	40,25	542,99	-3,7	5,08	3,78	bajada01
8/10/2021 05:56	-18,04812	- 70,247401	1960	42,52	539,25	-4,72	6,62	2,98	bajada01
8/10/2021 05:56	-18,04916	- 70,247443	1980	42,25	536,24	-4,1	4,47	2,73	bajada01
8/10/2021 05:56	-18,05015	- 70,247482	2000	44,56	532,98	-3,17	4,24	2,46	bajada01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 14**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+000 m al 0+400 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 06:02	-18.04683	-70.24722	20	25,43	543,14	2,56	3,64	3.15	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.045812	-70.247182	40	31,50	545,92	2,56	3,34	3.46	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.044857	-70.247143	60	36,44	548,72	2,56	5,09	2.82	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.043901	-70.247099	80	38,26	551,46	2,50	5,25	3.46	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.042951	-70.247056	100	40,04	554,39	2,14	3,17	3.63	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.041947	-70.247014	120	41,63	556,97	2,23	3,05	3.53	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.041017	-70.246975	140	43,64	559,70	2,23	3,87	3.57	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.040083	-70.246929	160	44,85	561,45	1,87	3,69	2.82	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.039166	-70.24689	180	46,67	563,20	1,85	3,24	2.88	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.038257	-70.246843	200	48,89	564,56	1,98	3,58	2.88	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.037301	-70.246798	220	49,98	566,50	1,48	3,45	2.86	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.036306	-70.246746	240	51,08	567,62	2,28	3,53	2.63	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.035373	-70.246702	260	51,05	570,21	2,34	4,86	3.19	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.034416	-70.246678	280	50,55	571,25	2,61	3,63	3.58	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.033457	-70.246791	300	50,88	572,82	2,77	7,33	3	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.032547	-70.24675	320	51,41	574,54	1,80	7,55	4.42	subida01
8/10/2021 06:02	-18.03162	-70.246703	340	52,32	575,87	2,63	4,59	4.96	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.031548	-70.246702	360	53,26	576,98	2,82	3,98	3.2	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.031147	- 70.2466899	380	53,89	577,12	1,92	4,35	2.98	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.030234	-70.246589	400	54,83	578,84	2,79	4,26	3.19	subida01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 15**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+420 m al 0+800 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 06:02	- 18.030123	-70.246579	420	56,00	579,32	2,78	4,65	4,04	subida01
8/10/2021 06:02	-18.04683	-70.24722	440	56,70	543,14	2,02	4,89	3,7	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.045812	-70.247182	460	57,21	545,92	2,05	4,60	3,36	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.044857	-70.247143	480	58,11	548,72	2,03	5,72	4,90	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.043901	-70.247099	500	59,10	551,46	2,03	5,68	4,79	subida01
8/10/2021 06:02	- 18.042951	-70.247056	520	59,73	554,39	2,03	5,24	3,91	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.041947	-70.247014	540	60,38	556,97	1,97	5,21	3,92	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.041017	-70.246975	560	61,02	559,70	1,97	4,83	3,93	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.040083	-70.246929	580	61,81	561,45	2,00	5,86	4,35	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.039166	-70.24689	600	62,42	563,20	2,02	5,26	4,29	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.038257	-70.246843	620	62,14	564,56	2,02	5,61	3,36	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.037301	-70.246798	640	62,17	566,50	2,30	7,27	4,95	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.036306	-70.246746	660	62,72	567,62	2,25	5,89	6,54	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.035373	-70.246702	680	62,75	570,21	2,22	4,98	4,78	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.034416	-70.246678	700	61,47	571,25	2,28	5,26	3,01	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.033457	-70.246791	720	59,80	572,82	3,23	5,32	3,78	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.032547	-70.24675	740	58,59	574,54	2,05	4,99	5,17	subida01
8/10/2021 06:03	-18.03162	-70.246703	760	58,16	575,87	2,13	5,23	6,17	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.031548	-70.246702	780	58,09	576,98	2,15	5,54	5,21	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.031147	- 70.2466899	800	58,12	577,12	2,15	5,23	4,04	subida01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID



**Tabla 16**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de subida de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 0+820 m al 1+000 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 06:03	- 18.030234	- 70.246589	820	58,14	578,84	2,15	4,65	3,64	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.030123	- 70.246579	840	58,10	579,32	2,20	4,59	4,41	subida01
8/10/2021 06:03	-18.04683	-70.24722	860	57,05	543,14	2,20	4,58	3,19	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.045812	- 70.247182	880	55,09	545,92	2,05	3,59	3,52	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.044857	- 70.247143	900	54,35	548,72	2,05	3,47	2,90	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.043901	- 70.247099	920	54,16	551,46	2,05	4,26	3,11	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.042951	- 70.247056	940	53,51	554,39	2,05	4,21	3,54	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.041947	- 70.247014	960	53,38	556,97	2,05	4,89	3,76	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.041017	- 70.246975	980	52,90	559,70	2,05	3,97	3,77	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.040083	- 70.246929	1000	51,64	561,45	2,05	3,92	3,18	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.039166	-70.24689	1020	52,37	563,20	2,05	3,62	2,43	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.038257	- 70.246843	1040	52,99	564,56	2,05	3,71	2,04	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.037301	- 70.246798	1060	51,81	566,50	2,05	3,88	2,18	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.036306	- 70.246746	1080	49,66	567,62	2,05	6,53	2,18	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.035373	- 70.246702	1100	48,11	570,21	2,06	5,20	2,18	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.034416	- 70.246678	1120	48,35	571,25	2,04	4,61	2,16	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.033457	- 70.246791	1140	48,67	572,82	2,04	6,19	3,06	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.032547	-70.24675	1160	48,87	574,54	2,04	3,89	3,65	subida01
8/10/2021 06:03	-18.03162	- 70.246703	1180	47,85	575,87	2,05	4,58	3,41	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.031548	- 70.246702	1200	46,22	576,98	2,05	4,26	2,65	subida01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 17**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+220 m al 1+600 m

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 06:03	- 18.031147	- 70.2466899	1220	46,39	577,12	2,05	3,58	2,54	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.030234	-70.246589	1240	45,17	578,84	2,05	3,69	2,76	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.030123	-70.246579	1260	43,86	579,32	2,05	5,48	3,45	subida01
8/10/2021 06:03	-18.04683	-70.24722	1280	42,55	543,14	2,05	3,45	3,73	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.045812	-70.247182	1300	40,9	545,92	2,05	5,54	3,33	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.044857	-70.247143	1320	39,8	548,72	2,45	5,91	3,57	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.043901	-70.247099	1340	38,63	551,46	2,45	4,40	3,49	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.042951	-70.247056	1360	38,19	554,39	2,45	4,34	3,11	subida01
8/10/2021 06:03	- 18.041947	-70.247014	1380	38,60	556,97	2,45	5,76	3,73	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.041017	-70.246975	1400	39,04	559,70	2,45	5,01	3,64	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.040083	-70.246929	1420	40,16	561,45	2,45	5,61	3,22	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.039166	-70.24689	1440	41,18	563,20	2,45	3,12	3,50	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.038257	-70.246843	1460	42,7	564,56	2,45	3,00	3,23	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.037301	-70.246798	1480	44,24	566,50	2,45	7,21	3,49	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.036306	-70.246746	1500	44,87	567,62	2,45	3,76	6,52	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.035373	-70.246702	1520	45,25	570,21	2,50	5,31	4,14	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.034416	-70.246678	1540	44,85	571,25	2,50	4,61	4,32	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.033457	-70.246791	1560	44,70	572,82	2,05	3,91	4,73	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.032547	-70.24675	1580	45,13	574,54	2,50	3,22	3,02	subida01
8/10/2021 06:04	-18.03162	-70.246703	1600	45,88	575,87	2,50	3,76	3,45	subida01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

**Tabla 18**

Valores IRI, utilizando el aplicativo ROADROID evaluados cada 20 m calzada de bajada de la avenida Antúnez de Mayolo tramo 1+620 m al 2+000 m

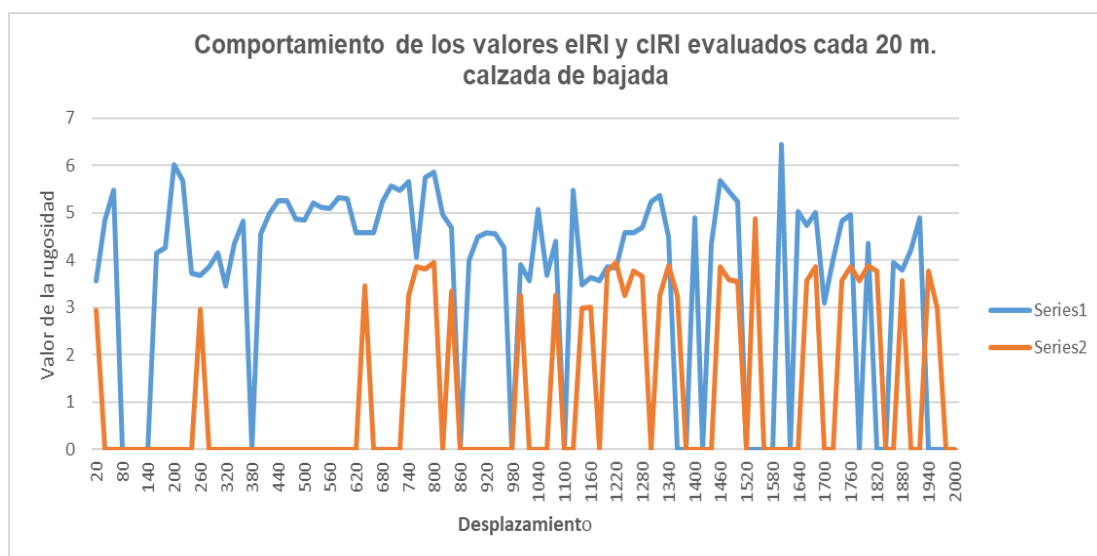
Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Altitud (m)	Pendiente (%)	eIRI	cIRI	Roadroid
8/10/2021 06:04	- 18.031548	-70.246702	1620	45,92	576,98	2,5	3,2	2,35	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.031147	- 70.2466899	1640	45,68	577,12	2,5	3,19	2,77	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.030234	-70.246589	1660	47,24	578,84	2,45	3,92	3,43	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.030123	-70.246579	1680	47,83	579,32	2,45	3,03	2,81	subida01
8/10/2021 06:04	-18.04683	-70.24722	1700	47,75	543,14	2,45	3,8	2,34	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.045812	-70.247182	1720	46,90	545,92	2,45	3,82	2,06	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.044857	-70.247143	1740	44,45	548,72	2,45	3,99	2,35	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.043901	-70.247099	1760	41,58	551,46	2,45	3,68	2,42	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.042951	-70.247056	1780	35,62	554,39	2,45	3,75	1,27	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.041947	-70.247014	1800	25,99	556,97	2,56	3,30	1,76	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.041017	-70.246975	1820	25,06	559,70	2,56	3,87	1,40	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.040083	-70.246929	1840	31,66	561,45	2,56	3,78	1,08	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.039166	-70.24689	1860	38,06	563,20	2,56	3,94	1,58	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.038257	-70.246843	1880	43,24	564,56	2,56	3,01	2,39	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.037301	-70.246798	1900	46,10	566,50	2,62	3,79	2,85	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.036306	-70.246746	1920	47,39	567,62	2,62	5,19	2,89	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.035373	-70.246702	1940	48,28	570,21	2,62	4,74	2,91	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.034416	-70.246678	1960	49,87	571,25	2,62	4,87	3,66	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.033457	-70.246791	1980	51,42	572,82	2,65	5,01	5,14	subida01
8/10/2021 06:04	- 18.032547	-70.24675	2000	52,04	574,54	2,65	3,29	4,26	subida01

Nota. Tomado del aplicativo ROADROID.

Como se observa en las tablas presentadas de los datos obtenidos para los carriles en ambos sentidos, tenemos valores IRI evaluados cada 20 m por lo que en base a ello se realizo la gráfica del comportamiento del IRI en toda la extensión de la via estudiada, ambas graficas están detalladas en la figura 32 y 33.

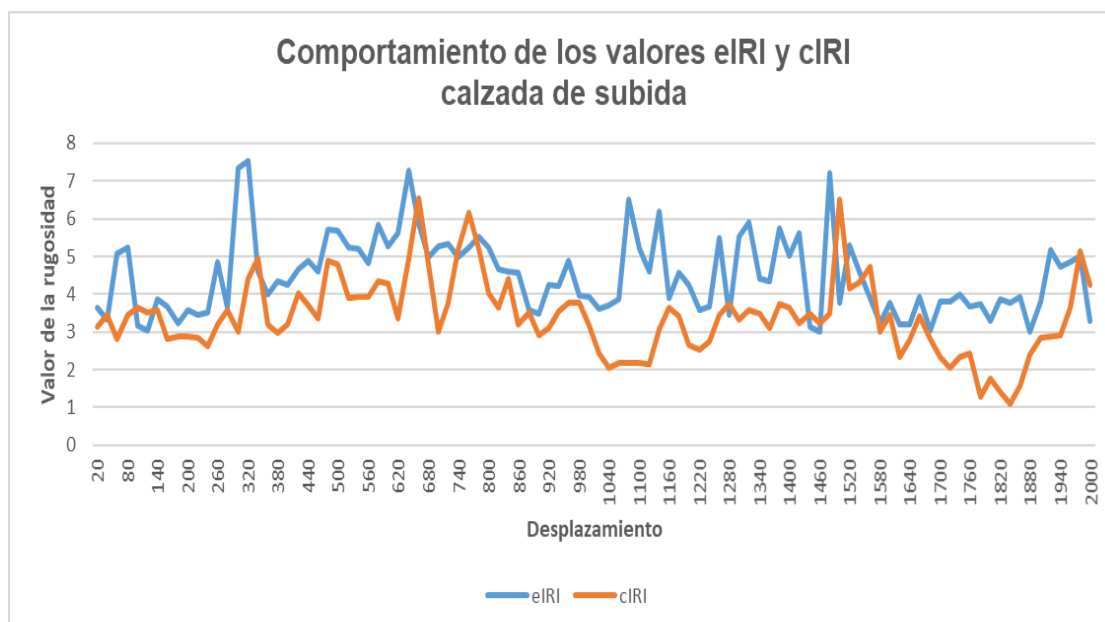
**Figura 32**

*Comportamiento de los valores eIRI y cIRI, evaluados cada 20 m calzada de bajada*



**Figura 33**

*Comportamiento de los valores eIRI y cIRI, evaluados cada 20 m calzada de subida*



En los gráficos anteriores los valores cIRI tiene muchas fluctuaciones, lo cual mejoraría si evaluamos con velocidades de 60 a 80 km/h constantes. Por esa consideración los valores de eIRI son las utilizadas para efectos de comparación con el aplicativo ABAKAL.

**Figura 34**

*Zona de evaluación, aplicando ROADROID, ambas calzadas*



*Nota.* Tomado del aplicativo ROADROID.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1 Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL

Los resultados utilizando el aplicativo ABAKAL, en la presente investigación se utilizó el Samsung Galaxy 7, y con ella se obtuvo resultados del IRI en la calzada de bajada igual a 5,15 m/km, para la calzada de subida igual a 4,97 m/km, obteniendo un ponderado de la rugosidad igual a 5,06 m/km.

**Tabla 19**

*Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo ABAKAL*

Calzadas	IRI
Calzada de bajada Av. Antúnez de Mayolo	5,15 5,15 m/km
Calzada de subida Av. Antúnez de Mayolo	4,97 4,97 m/km

El valor IRI ponderado obtenido utilizando el aplicativo ABAKAL para la Av. Antúnez de Mayolo, es igual 5,06 m/km, por lo que se califica al estado del pavimento como *malo*.

Para la calificación del estado del pavimento en la avenida Antúnez de Mayolo, se obtiene de la rugosidad de la calzada de bajada y la calzada de subida, para determinar el valor del IRI en toda la avenida investigada:

**Tabla 20***Calificación del estado del pavimento*

País	Estado del pavimento		
	Bueno	Regular	Malo
EE.UU.	< 2,4	2,4 – 4,7	> 4,7
CHILE	0 – 3,0	3,0 – 4,0	> 4,0
HONDURAS	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0
URUGUAY	< 3,9	4,0 – 4,6	> 4,6
<b>PERÚ</b>	< 2,5	2,5 – 4,5	<b>&gt; 4,5</b>

*Nota.* Valores adaptados de Alvarenga (2002) en su investigación Índices de medición de la regularidad de un pavimento.

**Tabla 21***Calificación de la transitabilidad en función del IRI*

IRI	5,06 m/km
Conversión a PSI en función del IRI	1,99
<b>Clasificación del PSI</b>	<i>Transitabilidad mala</i>

Con el resultado del IRI promedio se calculó la transitabilidad utilizando la fórmula de Williams Paterson, donde se obtuvo un valor de 1,99, y con ello podemos calificar la transitabilidad como: *transitabilidad mala*.

**Tabla 22***Calificación de la transitabilidad*

PSI	Transitabilidad
0 - 1	Muy mala
<b>1 - 2</b>	<b>Mala</b>
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

*Nota.* Escala de Clasificación de la Serviciabilidad - AASHO (1962)

## 5.2 Análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo ROADROID

Para el análisis con el aplicativo ROADROID, se utilizó los teléfonos de gama alta, por lo que usamos en la presente investigación Samsung Galaxy S7, obteniendo resultados del eIRI en la calzada de bajada igual a 4,66 m/km, para la calzada de subida igual a 4,49 m/km, por lo que, para

efectos de comparación se determina el valor de eIRI promedio igual a 4,58 m/km.

Las velocidades alcanzadas en la presente investigación para obtener el cIRI no fueron constantes, razón por el cual se tomó el eIRI como el que mejor se ajusta al IRI real de la avenida Antúnez de Mayolo. Para nuestra investigación los valores IRI fueron obtenidos a velocidades entre 40 a 50 km/h.

**Tabla 23**

*Promedio de valor eIRI calzada de bajada*

	eIRI	cIRI
Calzada bajada Av. Antúnez de Mayolo	4,66	3,57
	4,66	m/km

**Tabla 24**

*Promedio de valor eIRI calzada de subida*

	eIRI	cIRI
Calzada subida Av. Antúnez de Mayolo	4,49	3,40
	4,49	m/km

El valor determinado del eIRI ponderado utilizando el aplicativo ROADROID para la avenida Antúnez de Mayolo, es igual 4,58 m/km

Con el IRI ponderado determinado utilizando el aplicativo ROADROID, se calificó el estado del pavimento quedando como *malo*.

Por otro lado, con el resultado del IRI promedio también se calculó la transitabilidad utilizando la fórmula de Williams Paterson, donde se obtuvo un valor de 2,17, y con ello podemos calificar la transitabilidad como: *transitabilidad regular*.



### 5.3 Discusión comparativa de la rugosidad y la transitabilidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL y el aplicativo ROADROID.

Determinado los valores de IRI utilizando los aplicativos ABAKAL y ROADROID, podemos realizar un análisis comparativo entre ambos aplicativos que utilizaron un teléfono Samsung Galaxy S7.

**Tabla 25**

*Comparativo de la calificación del Estado del Pavimento ambos aplicativos*

<b>Rugosidad IRI</b>		
<b>Aplicativo</b>	<b>ROADROID</b>	<b>ABAKAL</b>
Calzada bajada	4,66 m/km	5,15 m/km
Calzada subida	4,49 m/km	4,97 m/km
IRI ponderado	4,58 m/km	5,06 m/km
Calificación Estado del Pavimento	<i>Malo</i>	<i>Malo</i>

En la tabla comparativa presentada con resultados obtenidos de la calificación del estado del pavimento con resultados determinados utilizando aplicativos ROADROID y ABAKAL, se demuestra que proporcionan resultados similares, en la calificación del estado del pavimento *malo*, por lo que los valores de la rugosidad obtenidos son totalmente confiables.

**Tabla 26**

*Comparativo de la transitabilidad de ambos aplicativos utilizados*

<b>TRANSITABILIDAD</b>		
<b>APLICATIVO</b>	<b>ROADROID</b>	<b>ABAKAL</b>
CALZADA BAJADA	2,14	1,96
CALZADA SUBIDA	2,21	2,03
Transitabilidad ponderada	2,17	1,99
Calificación de la Transitabilidad	REGULAR	MALO

En la tabla comparativa presentada con resultados obtenidos de la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo utilizando aplicativos ROADROID y ABAKAL, se demuestra que proporcionan resultados similares,

por lo que la transitabilidad obtenida difiere en 0,17 del PSI para la igualdad en la calificación *mala*, significa que los valores de la rugosidad obtenidos son totalmente confiables.

Los resultados obtenidos han permitido precisar que la evaluación de la rugosidad utilizando teléfonos inteligentes influye negativamente en la determinación de la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo, donde se obtuvieron valores de IRI con ABAKAL un ponderado de 5,06 m/km y utilizando ROADROID se obtuvo eIRI un ponderado de 4,58 m/km, son valores similares donde se permite calificar el estado del pavimento y calificar la transitabilidad, con los valores determinados podemos afirmar la necesidad de una rehabilitación a nivel de superficie.

Dichos resultados concuerdan con los resultados logrados por Ramírez Castro, (2017), quien concluye que los resultados obtenidos con el aplicativo ROADROID fueron de 1,2 m/km y 1,3 m/km en cada calzada, mientras que con el perfilómetro láser obtuvieron 1,11 m/km y 1,16 m/km respectivamente, comprobando también que en la determinación del IRI el rango de velocidades de 75 a 90 km/h, los valores de eIRI y cIRI se correlacionan.

De forma similar existe concordancia con los resultados encontrados por Lloclla Huaychao y Sánchez Hurtado (2019), quien concluye indicando que los resultados obtenidos en el carril de bajada tienen los IRI medidos de 7,31m/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. Los resultados obtenidos son similares, por lo tanto, el ROADROID obtiene resultados confiables.

También existe concordancia con los resultados obtenidos por Camacho Pampamallco (2018), quienes concluyen que la utilización de un método innovador aplicado a smartphones (ROADROID), donde se hace una comparación con el método tradicional (Rugosímetro de Merlín), según el banco mundial este equipo es uno de los más recomendados para calibrar otros equipos. Dicho esto, tanto el método tradicional y el método innovador miden la rugosidad en pavimentos. Llegando a la conclusión que el ROADROID nos proporciona valores similares al Rugosímetro de Merlín y se puede aseverar que

el rendimiento es mucho mejor con la aplicación del ROADROID.

De forma similar existe concordancia con los resultados encontrados por Laura Hirpahuanca (2016), quien concluye indicando que los resultados obtenidos con la aplicación ROADROID tiene una similitud del 89 % con respecto al Rugosímetro de MERLIN. 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 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.

## CONCLUSIONES

Se ha evaluado la rugosidad del pavimento utilizando teléfonos inteligentes para determinar la transitabilidad en la avenida Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, donde utilizando el aplicativo para teléfonos inteligentes ROADROID, obtiene valores del IRI promedio en la calzada de bajada igual a 4,66 m/km y la calzada de subida igual a 4,49 m/km, utilizando el aplicativo ABAKAL obtiene valores IRI promedio en la calzada de bajada igual a 5,15 m/km y en la calzada de subida igual a 4,97 m/km, finalmente para calificar el estado del pavimento se determina el IRI promedio de la avenida, considerando el aplicativo ROADROID igual a 4,58 m/km, aplicativo ABAKAL igual a 5,06 m/km.

Se calculó la rugosidad en el pavimento utilizando el aplicativo ROADROID en teléfonos inteligentes Samsung Galaxy S7 en velocidades entre 40 a 50 km/h, obteniendo valores de cIRI más parecido al eIRI si la velocidad aumenta, es decir que a velocidades mayores a 60 km/h los valores de eIRI y el cIRI, se asemejan más, también se puede notar que cuando la vía está muy deteriorada los valores de eIRI y el cIRI difieren mucho, en el caso de la presente investigación se obtienen valores 4,66 m/km y 3,57 m/km, en la calzada de bajada y en la calzada de subida valores iguales a 4,49 m/km y 3,40 m/km. se toma los valores del eIRI, son valores que mejor se ajustan al IRI real de la avenida Antúnez de Mayolo.

Se calculó los valores de la rugosidad mediante el aplicativo ABAKAL en teléfonos inteligentes de la avenida Antúnez de Mayolo, a lo largo de 2,0 km, obteniendo valores en la calzada de bajada igual a 5,15 m/km y 4,97 m/km en la calzada de subida, finalmente un IRI promedio igual a 5,06 m/km, calificando el estado del pavimento *mal*, en condiciones generales de toda la avenida.

Se determinó la transitabilidad con los resultados obtenidos de los aplicativos ROADROID y ABAKAL, se demuestra que ambos aplicativos obtienen valores similares en la calificación del estado del pavimento y la calificación de la transitabilidad, considerando el rendimiento en horas hombre y costo, los aplicativos en teléfonos inteligentes son bajísimos en comparación con metodologías tradicionales. Comparando los valores obtenidos de ambas metodologías IRI es igual a 5,06 m/km y eIRI da como resultado 4,58 m/km, son similares. Ambos aplicativos califican al estado del pavimento como *mal*, mientras que la transitabilidad igual a 1,99 y 2,17, difiere en 0,17 del PSI para la igualdad en la calificación de la transitabilidad *mala*.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda al Gobierno Regional de Tacna, gobiernos locales provinciales y distritales el empleo del aplicativo ABAKAL y ROADROID en teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad superficial del pavimento y la calificación de la transitabilidad en las calles y carreteras, cuyos resultados ayudan a programar el tipo de intervención, ya sea mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción necesario. Para obtener los datos del IRI con los aplicativos desarrollados no requiere personal calificado.

Se recomienda a la Municipalidad Distrital Gregorio Albarracín Lanchipa, el uso de los valores IRI obtenidos con los aplicativos ABAKAL y ROADROID para determinar actividades de mantenimiento y/o reconstrucción, siendo una metodología confiable de bajo costo y un alto rendimiento, para nuestra investigación se determinó un IRI estimado igual a 4,82 m/km, valor que califica un pavimento *malo*.

Siendo la avenida Antúnez de Mayolo, una avenida que corresponde a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Gregorio Albarracín Lanchipa, se recomienda un tratamiento superficial consistente en la colocación de una bicapa de emulsiones asfálticas, o una capa de carpeta asfáltica en frío, considerando el IRI determinado que califica un pavimento *malo* y transitabilidad *mala*.

Se recomienda el uso de los aplicativos en teléfonos inteligentes, debido que el ABAKAL y ROADROID posee muchas funciones que se están actualizando permanentemente que ayudarán a obtener resultados más confiables con alto rendimiento y a menor costo, son aplicativos que facilitará a futuras investigaciones en las evaluaciones del estado funcional de pavimentos, la transitabilidad y la serviciabilidad vehicular, especialmente en carreteras donde pueden desarrollar velocidades constantes de 80 km/h.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAKAL. (2020). *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil*. España: ABAKAL ingenieros consultores, S.L.
- Almenara, C. (2015). *Aplicación de telefonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Alvarenga, E. (2002). *Indices de medición de la regularidad de un pavimento*. Republica del El Salvador: Ministerio de Obras Publicas, transporte, vivienda y desarrollo urbano.
- ASTM, E.-0. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*.
- Camacho P, S. (2018). *Evaluacion y analisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosimetro de MERLIN*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres Velásquez.
- Camacho, S. (2018). *Evaluación y análisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN*. Juliaca - Puno: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez.
- Caro, F. y Peña, G. (2012). Análisis y criterios para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) en vias urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica. *Inteknia*, 57-72.
- Forsslóf, L. (2013). *Roadroid - Continuous Road Condition Monitoring with Smartphone*. Ljusdal, Sweden.
- Forsslóf, L. y Jones, H. (2015). Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. *Journal of Civil Emgineering and Arquitecture* 9, 485-496, doi: 10.17265/1934-7359/2015.04.012 .
- Gonzalo, J., y Beingolea, H. (2021). *Aplicacion del Smartphone y el rugosimetro de MERLIN para la medicion de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Laura, D. (2016). *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco - Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosimetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.

- Lloclla, A. y Sánchez, K. (2019). *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 MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Mozo B., W. (2019). *Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y ROADROID en el circuito Humedal Lucre-Huacarpay*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Pomasonco de la Cadena, R. (2010). *Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera Cañete-Huancayo Km. 110+000 al Km. 112+000*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ramirez, B. (2017). *Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey - Casma de la carretera Panamericana Norte*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Roadroid. (2014). *Roadroid - continuous road condition monitoring with smartphones. A multi-disciplinary approach to improve capacity & safety for road transport in Africa*. South Africa: Pretoria.
- Roadroid. (2020). *Roadroid, Road Surveys using smartphones, Essential for professionals. Essential Guide Pro2*. Suecia: Essential Guide Pro2.
- Sachún, J. (2016). *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte-Zona Trujillo, para su mantenimiento*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sayers, M. y Karamidas, S. (1988). *The Little Book of Profiling*. Michigan USA.
- Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la rugosidad de Pavimentos con uso del BUMP Integrator*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Zeballos, G. y Vizcarra, C. . (2020). *Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento*

*flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna*  
- 2020. Tacna: Universidad Privada de Tacna.



## ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</b></p> <p>¿De qué manera la evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes permitirá determinar la mejora de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021?</p> <p><b>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) ¿Cuál es el valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ROADROID utilizando teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo?</p> <p>b) ¿Cuál es el valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ABAKAL utilizando teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo?</p> <p>c) ¿De qué manera el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo ROADROID y ABAKAL determina la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo?</p>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Evaluar la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes para determinar la mejora de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021.</p> <p><b>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>a) Calcular el valor de la rugosidad en el pavimento utilizando el aplicativo ROADROID para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo.</p> <p>b) Calcular el valor de la rugosidad en el pavimento utilizando el aplicativo ABAKAL para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo.</p> <p>c) Determinar la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo mediante los valores obtenidos con los aplicativos ROADROID y ABAKAL.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La evaluación de la rugosidad en el pavimento utilizando teléfonos inteligentes permite determinar la mejora de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna - 2021 de manera óptima.</p> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) El valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ROADROID para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo, es deficiente.</p> <p>b) El valor de la rugosidad en el pavimento obtenido con el aplicativo ABAKAL para teléfonos inteligentes en la Av. Antúnez de Mayolo, es deficiente.</p> <p>c) La determinación de la transitabilidad en la Av. Antúnez de Mayolo mediante los valores obtenidos con los aplicativos ROADROID y ABAKAL, permitirá de manera óptima calificar el tipo de mantenimiento.</p>	<p><b>Variable Independiente(X)</b></p> <p><b>X1. Evaluación de la rugosidad en el pavimento, utilizando teléfonos inteligentes</b></p> <p><b>Variable Dependiente(Y)</b></p> <p><b>Y1. Mejorar la transitabilidad.</b></p>	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicativo para teléfonos inteligentes ROADROID.</li> <li>▪ Índice ROADROID (IR)</li> <li>▪ IRI estimado.</li> <li>▪ IRI calculado</li> <li>▪ Aplicativo para Smartphone ABAKAL.</li> <li>▪ Índice ABAKAL (IRI)</li> </ul> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Serviciabilidad</li> <li>▪ Índice internacional de rugosidad</li> <li>▪ Escala y características del IRI</li> <li>▪ Cálculo del índice de rugosidad</li> <li>▪ Índice de transitabilidad en función del IRI</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicada</li> </ul> <p><b>Nivel de la Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descriptiva, exploratoria</li> </ul> <p><b>Ámbito de Estudio</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Av. Antúnez de Mayolo, distrito Gregorio Albarracín Lanchipa</li> </ul> <p><b>Población</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas las calles y avenidas del distrito GAL</li> </ul> <p><b>Técnicas de Recolección de datos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación.</li> <li>- Formato de campo</li> <li>- Reporte del aplicativo ABAKAL</li> <li>- Reporte del aplicativo ROADROID</li> </ul> <p><b>Instrumentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Odómetro manual</li> <li>- Conos de seguridad</li> <li>- Ficha o formulario de observación para aforos</li> <li>- Guías de observación y formatos de campo</li> <li>- Aplicativo ABAKAL.</li> <li>- Smartphone.</li> <li>- Aplicativo ROADROID.</li> <li>- Hoja electrónica Excel.</li> </ul>

