

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



**TESIS**

**“APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN PARA LA  
MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV.  
INTERNACIONAL, TACNA - 2021”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. JUDITH YOVANA GONZALO LÓPEZ**

**BACH. HÉCTOR JESÚS BEINGOLEA VILLARREAL**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

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

**TESIS**

**“APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN  
PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN  
LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 2021, estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE** :

MTRO. ROLANDO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

**SECRETARIO** :

MTRO. ULIANOV FARFÁN KEHUARUCHO

**VOCAL** :

MSC. ALEXANDER VILCANQUI ALARCÓN

**ASESOR** :

Mag. MARTÍN PAUCARA ROJAS

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Judith Yovana Gonzalo López; Héctor Jesús Beingolea Villarreal, 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 70307738 y DNI 42353600.

Declaro bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada: **“APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021”** la misma que presentamos para optar: 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 mi acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 17 de abril del 2021



---

Bach. Judith Yovana Gonzalo López  
DNI. 7307738



---

Bach. Héctor Jesús Beingolea Villarreal  
DNI. 42353600

## DEDICATORIA

A Dios, por ser nuestra guía y fortaleza en cada paso que hemos dado.

A mis padres, Francisco Gonzalo Anco y Susana López Choquegonza, por demostrarme siempre su apoyo incondicional, trabajo y sacrificio todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí.

A mis hermanos, Yaquelín, Jhon y Reyser , porque siempre sigamos unidos manteniendo nuestro amor fraternal.

.

Bach. Judith Yovana Gonzalo López

## DEDICATORIA

A mis padres, por darme la confianza y motivarme a lograr mi objetivo.

A mis hermanos y demás familiares, por el apoyo que siempre me brindaron.

Bach. Héctor Jesús Beingolea Villarreal

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por las bendiciones para lograr nuestras metas.

A nuestro asesor de tesis Ing. Martin Paucara Rojas, por la orientación en la elaboración de la presente tesis.

A la Universidad Privada de Tacna, que nos acogió en nuestra formación profesional.

A nuestros profesores por compartir sus enseñanzas y experiencias, durante nuestra formación profesional, con el cual hemos alcanzado nuestros objetivos.

**ÍNDICE**

Página

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	2
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1 Problema General .....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos .....	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1 Hipótesis General .....	6
1.5.2 Hipótesis Específicos.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de la investigación .....	7
2.2. Bases teóricas .....	12
2.2.1 Pavimento .....	12
2.2.2 Clasificación de los pavimentos .....	13
2.2.3 Índice de serviciabilidad.....	14
2.2.4 Rugosidad .....	15
2.2.5 Causas posibles de la rugosidad .....	15
2.2.6 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos .....	17
2.2.7 Importancia de la rugosidad en la superficie de rodadura .....	18
2.2.8 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	19
2.2.9 Escalas y características del (IRI).....	19
2.2.10 Métodos para la medición de la rugosidad .....	21
2.2.11 Rugosímetro de MERLIN .....	22
2.2.12 Aplicativo ABAKAL IRI.....	28
2.2.13 Velocidad de ensayo .....	31
2.2.14 Ubicación de Smartphone .....	31
2.2.15 Cálculo de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI.....	31
2.2.16 Generación de informe .....	32
2.2.17 Definición de términos .....	34



CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	35
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	35
3.1.1 Tipo de investigación.....	35
3.1.2 Diseño de la investigación .....	35
3.2. Población y/o muestra de estudio .....	36
3.2.1 Población.....	36
3.2.2 Muestra .....	36
3.3. Operacionalización de variables .....	36
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	37
3.4.1 Técnicas.....	37
3.4.2 Instrumentos.....	37
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	37
3.5.1 Procedimiento de ensayo aplicativo ABAKAL IRI.....	37
3.5.2 Diagrama de flujo ABAKAL IRI.....	43
3.5.3 Procedimiento de ensayo del Rugosímetro de MERLIN.....	44
3.5.4 Diagrama de flujo Rugosímetro de MERLIN.....	47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	48
4.1 Cálculo de la rugosidad utilizando MERLIN .....	48
4.2 Cálculo de la rugosidad Aplicando ABAKAL IRI.....	81
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	85
5.1 Análisis de los resultados por rugosidad obtenidos con el MERLIN.....	85
5.2 Comparacion de la rugosidad obtenida con ambas metologias .....	87
5.3 Analisis de la serviciabilidad obtenida con ambas metodologias.....	89
5.4 Discusión de resultados con otras fuentes bibliograficas .....	92
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS	
1. Formato MERLIN: Hoja de registro en campo .....	97
2. Zona de investigación, Av. Internacional .....	98
3. Panel fotográfico – Rugosímetro de MERLIN .....	100
4. Matriz de Consistencia .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Sección de un pavimento flexible .....	13
Figura 2: Sección de un pavimento rígido.....	14
Figura 3 Sección de un pavimento semi-rígido.....	14
Figura 4: Escala estándar empleado por el Banco mundial.....	20
Figura 5: valores para determinar el estado vial en el Perú .....	20
Figura 6: Clasificación de equipos.....	22
Figura 7: Uso del Rugosímetro de MERLIN.....	22
Figura 8: Detalles del instrumento MERLIN.....	23
Figura 9: Detalles en corte del MERLIN.....	23
Figura 10: Medición de las desviaciones de la superficie.....	24
Figura 11: Escala para determinar la dispersión.. ..	25
Figura 12: Formato para recolección de datos de campo.....	27
Figura 13: Histograma de la distribución de frecuencias.....	26
Figura 14: Modelo de cuarto de carro.....	30
Figura 15: Aplicativo ABAKAL IRI.....	30
Figura 16: Ubicación del teléfono en el vehículo.....	31
Figura 17: Métodos de cálculo.....	32
Figura 18: Informe IRI.csv.....	33
Figura 19: Informe IRI.kml.....	33
Figura 20: Instalación del aplicativo y activación de GPS.....	37
Figura 21: Ubicación del Smartphone en el vehículo.....	38
Figura 22: Ícono a presionar para dar inicio al programa.....	38
Figura 23: Ícono para dar inicio a la toma de datos.....	39
Figura 24: Ícono para detener la toma de datos.....	39
Figura 25: Ícono para guardar los datos obtenidos.....	39
Figura 26: Archivos obtenidos por el aplicativo ABAKAL IRI.....	40
Figura 27: Opción para poder leer el ultimo ensayo realizado .....	41
Figura 28: Opción para poder cambiar el coeficiente de ajuste .....	41
Figura 29: Calibración de equipo .....	44
Figura 30: Operando el equipo de rugosímetro de MERLÍN.....	45
Figura 31: Toma de datos con el Rugosímetro de MERLÍN.....	45
Figura 32: Formato de ensayo de rugosímetro de MERLÍN.....	46

Figura 33: Distribución de frecuencias, ensayo 01.....	49
Figura 34: Distribución de frecuencias, ensayo 02.....	51
Figura 35: Distribución de frecuencias, ensayo 03.....	53
Figura 36: Distribución de frecuencias, ensayo 04.....	55
Figura 37: Distribución de frecuencias, ensayo 05.....	57
Figura 38: Distribución de frecuencias, ensayo 06.....	59
Figura 39: Distribución de frecuencias, ensayo 07.....	61
Figura 40: Distribución de frecuencias, ensayo 08.....	63
Figura 41: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 01.....	65
Figura 42: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 02.....	67
Figura 43: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 3.....	69
Figura 44: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 4.....	71
Figura 45: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 5.....	73
Figura 46: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 6.....	75
Figura 47: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 7.....	77
Figura 48: Distribución de frecuencias, calzada izquierda ensayo 8.....	79
Figura 49: Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. C. derecha.....	83
Figura 50: Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. C. izquierda.....	83
Figura 51: Evaluación cada 100 m aplicando ABAKAL C. derecha.....	80
Figura 52: Evaluación cada 100 m aplicando ABAKAL C. izquierda.....	80
Figura 53: Comparativo de resultados IRI, MERLIN y ABAKAL.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Clasificación de la serviciabilidad.....	15
Tabla 2: Resultados informe IRI2.cs .....	33
Tabla 3: Operacionalización de variables.....	36
Tabla 4: Cálculo del costo para la recolección de datos ABAKAL .....	42
Tabla 5: Cálculo del costo para la recolección de datos MERLIN .....	46
Tabla 6: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 01.....	48
Tabla 7: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 01.....	50
Tabla 8: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 02.....	51
Tabla 9: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 02.....	52
Tabla 10: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 03.....	53
Tabla 11: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 03.....	54
Tabla 12: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 04.....	55
Tabla 13: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 04.....	56
Tabla 14: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 05.....	57
Tabla 15: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 05.....	58
Tabla 16: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 06.....	59
Tabla 17: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 06.....	60
Tabla 18: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 07.....	61
Tabla 19: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 07.....	62
Tabla 20: Datos de campo, calzada derecha – ensayo 08.....	63
Tabla 21: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. derecha ensayo 08.....	64
Tabla 22: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 01.....	65
Tabla 23: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 01.....	66
Tabla 24: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 02.....	67
Tabla 25: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 02.....	68
Tabla 26: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 03.....	69
Tabla 27: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 03.....	70
Tabla 28: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 04.....	71
Tabla 29: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 04.....	72
Tabla 30: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 05.....	73
Tabla 31: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 05.....	74
Tabla 32: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 06.....	75

Tabla 33: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 06.....	76
Tabla 34: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 07.....	77
Tabla 35: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 07.....	78
Tabla 36: Datos de campo, calzada izquierda – ensayo 08.....	79
Tabla 37: Resultados de rugosidad con MERLIN, C. izquierda ensayo 08.....	80
Tabla 38: Datos IRI, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI C. derecha.....	81
Tabla 39: Datos IRI, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI C. izquierda.....	82
Tabla 40: Cuadro resumen de la rugosidad obtenida con el MERLIN.....	85
Tabla 41: Valores para determinar el estado vial en Perú.....	86
Tabla 42: Resultados de la serviciabilidad con el Rugosímetro de MERLIN.....	86
Tabla 43: Promedio de los valores de IRI,utilizando el aplicativo ABAKAL IRI...	87
Tabla 44: Comparativo de porcentajes de similitudes IRI .....	88
Tabla 45: Calificacion de la serviciabilidad.....	89
Tabla 46: Resultados de serviciabilidad con el Rugosímetro de MERLIN.....	90
Tabla 47: Resultados de la serviciabilidad con el aplicativo ABAKAL IRI.....	91

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis determina la rugosidad del pavimento flexible utilizando aplicativos para Smartphone y una metodología tradicional como es el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional, comprendido en una longitud de 3.20 km, desde el distrito Alto de la Alianza hasta el distrito de Ciudad Nueva.

El objetivo de la investigación es el de ampliar el conocimiento mediante la determinación de la rugosidad del pavimento flexible, con la aplicación de una metodología moderna y económica para Smartphone, denominado ABAKAL IRI y una metodología tradicional mediante el Rugosímetro de MERLIN.

Se considera un diseño descriptivo-exploratorio y una investigación de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, porque busca la aplicación de conocimientos y porque se reúne datos cuantitativos mediante la medición Superficial del pavimento, para luego comparar los resultados obtenidos.

Para llevar a cabo esta investigación se empezó realizando el trabajo de campo con el Rugosímetro de MERLIN, donde se tomaron 16 muestras de 400 metros, cada una para ambos carriles; tanto de subida como de bajada, determinándose la rugosidad en la calzada derecha igual a 4.07 m/km, y en la calzada izquierda igual a 5.14 m/km; obteniendo un IRI promedio de 4.61 m/km.

Luego se procedió a calcular la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI, donde se consideró una longitud aproximada de 3.2 km. Se vio por conveniente la utilización de un Smartphone de gama alta, un Samsung Galaxy Note 10; obteniendo resultados del IRI en la calzada derecha de 4.59 m/km y para la calzada izquierda igual a 4.43 m/km, por lo que, para efectos de comparación con la metodología del Rugosímetro de MERLIN, obtenemos un valor de IRI promedio de 4.51 m/km. Los valores obtenidos nos ayudarán a calificar el estado de pavimento flexible como MALO para toda la avenida Internacional, y nos indican que el aplicativo ABAKAL IRI obtiene resultados aproximados a los obtenidos con el Rugosímetro de MERLIN; por lo tanto, son datos confiables.

**Palabras Claves:** Transitabilidad, ABAKAL, IRI, Rugosímetro de MERLIN.

## ABSTRACT

The present thesis work determines the roughness of the flexible pavement using applications for Smartphone, and a traditional methodology such as the MERLIN Roughness Meter, in the International avenue, comprised in a length of 3.20 km, from the Alto de la Alianza district to the district of New City.

The objective of the research is to expand the knowledge by determining the roughness of the flexible pavement, with the application of a modern and economical methodology for Smartphone, called ABAKAL IRI and a traditional methodology using the MERLIN rugsimeter.

They are considered a descriptive-exploratory design and an Applied type investigation, with a quantitative approach, because they seek the application of knowledge and because quantitative data is gathered by means of the surface measurement of the pavement, in order to later compare the results obtained.

To carry out this research, field work began with the MERLIN Roughness Meter, where 16 samples of 400 meters each were taken, for both up and down lanes, determining the roughness on the right side of the road equal to 4.07 m / km, and on the left road equal to 5.14 m / km, obtaining an average IRI of 4.61 m / km.

Then the roughness was calculated with the ABAKAL IRI application, where an approximate length of 3.2 km was considered, the use of a high-end Smartphone was considered convenient, so we used a Samsung Galaxy Note 10 in the thesis, obtaining IRI results on the right carriageway of 4.59 m / km and for the left carriageway equal to 4.43 m / km, so for comparison purposes with the MERLIN Roughness Meter methodology, we obtain an average IRI value of 4.51 m / km . Whose values obtained will help us to qualify the state of flexible pavement as BAD for the entire International Avenue, and indicate that the ABAKAL IRI application obtains results close to those obtained with the MERLIN Roughness Meter, therefore they are reliable data.

**Keywords:** Walkability, ABAKAL, IRI, MERLIN Roughness Meter.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, la comodidad y el confort son parámetros relevantes que se toman en cuenta al momento de ejecutar una infraestructura vial. Las vías existentes son de mucha relevancia por ser parte de la economía social del país, ya que las calles y avenidas son partes que generan la comunicación. Sin embargo, en la última década con el crecimiento de la población en la de la ciudad de Tacna con el distrito de Ciudad Nueva, cada vez va en aumento el flujo de vehículos que circulan por sus vías, ocasionando atoros y aniegos en mayor cantidad, que generan una situación crítica de congestión vehicular, el cual va debilitando la carpeta asfáltica, lo que reduce su vida útil, incrementando las apariciones de patologías en el pavimento.

El Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013” señala que para conocer el estado real y la capacidad de servicio de un pavimento, se debe medir con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Es por eso la importancia de conocer el análisis superficial del pavimento flexible evaluando la rugosidad, el cual nos ayuda a calificar el estado del pavimento y a plantear soluciones para mejorar la transitabilidad.

Para tal objetivo, se planteó la utilización de dos metodologías para obtener resultados del IRI (Índice de Rugosidad Internacional), siendo la primera una metodología tradicional y confiable, el Rugosímetro de MERLIN y la segunda una aplicación moderna y económica para Smartphone denominado ABAKAL IRI; con tales metodologías se evalúa a la avenida Internacional en una longitud de 3.20 km. Los resultados de esta investigación servirán como base para determinar el estado del pavimento y plantear soluciones en la zona de estudio.

La presente tesis está estructurada en 5 capítulos, en el primer capítulo identificamos la formulación del problema, los objetivos y la hipótesis; en el segundo capítulo, el marco teórico, donde se presentan los antecedentes, la base teórica que analiza las dos variables presentes para el cálculo de la rugosidad, el Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI y la definición de términos; en el tercer capítulo, la metodología de la investigación, donde se detalla el tipo y nivel de investigación, la población y muestra de estudio; cuarto capítulo, presentación de los resultados, análisis e interpretación; finalmente en el capítulo quinto la discusión acerca de los resultados, para finalizar con las conclusiones y recomendaciones.



## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

Una de las manifestaciones más evidentes del grado de desarrollo de un pueblo depende principalmente de una buena y segura infraestructura vial, capaz de soportar las necesidades de movimiento del tránsito vehicular, que se demanden en la actualidad y en un futuro. En la actualidad a medida que las vías son más utilizadas, la presencia de vehículos en la comunicación de la ciudad de Tacna, con el distrito de Ciudad Nueva cada vez se va incrementando, ocasionando el aumento de atoros y aniegos que van debilitando la carpeta asfáltica, lo que reduce su vida útil produciendo la aparición de patologías en la vía.

De acuerdo con el Reporte de Competitividad Global 2019 del Foro Económico Mundial, el Perú ocupó el puesto 88 de las 141 economías evaluadas en el pilar Infraestructura. Además, en el subpilar Infraestructura de transporte, nos ubicamos en el puesto 97 gracias a las mejoras en los indicadores de eficiencia en servicios portuarios (92) y conectividad de envíos (39). No obstante, nuestra posición en los indicadores de conectividad de vías (102) y calidad de infraestructura en carreteras (110) reflejan la alarmante situación del país en términos de infraestructura vial. (Schwab,2019)

Tomando en cuenta dicho reporte y otros indicadores de infraestructura vial, observamos que a medida que aumenta la población en el distrito de Ciudad Nueva, se va incrementando la necesidad de contar con vías en buen estado, las cuales son necesarias para un mejor transporte de personas y carga desde el distrito capital de Tacna, pasando por el distrito Alto de la Alianza hasta el distrito de Ciudad Nueva.

Actualmente la avenida internacional viene presentando daños, y si no se realiza el mantenimiento adecuado, el deterioro del pavimento puede alcanzar niveles altos, que pueden requerir su reconstrucción en periodos cortos con relación a la su vida útil.

Es mucho más económico mantener una carretera en buen estado que una sumamente deteriorada, debido a que, si los tratamientos básicos de mantenimiento se aplican más a menudo, el costo total será menor si el pavimento se repara tempranamente.

Por lo que Conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, nos permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente. Debido a esto, muchos países han utilizado el Índice de rugosidad Internacional (IRI), como parámetro para evaluar la rugosidad y reflejar el confort y seguridad de los usuarios. (Badilla ,2009)

Por ello es importante el análisis y las evaluaciones permanentes de la rugosidad del pavimento flexible. Basado en ello se considera la necesidad de ampliar el conocimiento mediante la investigación sobre el uso de la aplicación de una metodología moderna y económica para Smartphone denominado ABAKAL IRI y una metodología tradicional mediante el Rugosímetro de MERLIN. Métodos con los cuales obtendremos los valores IRI para luego realizar la evaluación de la transitabilidad y clasificación del estado actual de la vía.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿De qué manera la aplicación del Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, permitirán el cálculo de la medición de la rugosidad del pavimento flexible, en la avenida Internacional, Tacna - 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone, en la avenida Internacional?
- b) ¿Cuál es el valor de la rugosidad obtenido con el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional?

- c) ¿Existe similitud entre los valores determinados mediante el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional?

### **1.3 Justificación de la investigación e importancia de la investigación**

El proyecto de investigación está basado en la medición de la rugosidad mediante la utilización del aplicativo ABAKAL IRI para los Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, y de acuerdo a los resultados efectuar un comparativo para determinar la similitud de la rugosidad.

El Rugosímetro de MERLIN es de fácil aplicación, el cual es autorizado por el Banco Mundial por su efectividad en sus resultados, y el aplicativo ABAKAL IRI, que sería una propuesta moderna y económica para Smartphone, con los que se busca conocer el estado de la vía, en base a la aplicación de métodos de gran importancia para la determinación del IRI, que es un requisito obligatorio para determinar la calidad del pavimento como lo señala la normativa peruana para mantenimiento de pavimentos.

#### **1.3.1 Justificación ambiental**

La Investigación se justifica ambientalmente, porque a raíz de los estudios realizados se recomienda hacer mantenimientos en la vía, lo que con lleva a un menor desgaste del vehículo, ahorro de combustible y un tránsito más fluido, reduciendo la emisión de gases contaminantes.

#### **1.3.2 Justificación social**

Con respecto a la parte social, los afectados vienen a ser los conductores y peatones, debido a que la avenida se encuentra en mal estado, generando incomodidad al momento de transitar por la zona de investigación. Con ello se pretende conocer la transitabilidad de la vía, para mejorar las medidas de confort y seguridad para los involucrados.

### **1.3.3 Justificación científica**

Se justifica científicamente por que propone la utilización de metodologías, los cuales debemos aplicarlas de manera óptima, para el cálculo de rugosidad.

### **1.3.4 Justificación económica**

Con respecto a la parte económica, la investigación propuesta busca, mediante la aplicación de ambas metodologías, conocer el estado de la vía, mediante el cálculo de la rugosidad, con el cual se podrá definir propuestas de mantenimiento; lo que nos permitirá ahorrar recursos de financiamiento.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar y comparar la rugosidad del pavimento flexible, mediante el aplicativo para el Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional, Tacna – 2021.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a)** Determinar el valor de la rugosidad obtenido con el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional.
- b)** Determinar el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone, en la avenida Internacional.
- c)** Comparar los valores determinados mediante el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general**

Con la aplicación del Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone, en el cálculo de la medición de la rugosidad en la avenida internacional, se obtendrán valores óptimos del estado del pavimento flexible.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- a) El valor obtenido de la rugosidad mediante el uso del Rugosímetro de MERLIN en la avenida Internacional, es aceptable.
- b) La comparación de los valores determinados mediante el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN en la avenida internacional, son similares.
- c) La serviciabilidad del pavimento en la avenida internacional, usando el Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI presenta una transitabilidad regular.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

La tesis “Pavement performance measures using Android based Smartphone application”, desarrollado por Mohammed Junaid Uddin en el año 2015. Tesis desarrollada para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería de la Universidad de Osmania de la India, sostiene que medir la rugosidad del pavimento en la ciudad de Hyderabad, una ciudad de la India, utilizando la tecnología del teléfono inteligente basado en un Android, donde indica que la rugosidad es un importante indicador de la condición del pavimento, los cuales deben ser considerados cuidadosamente al evaluar pavimentos nuevos; puesto que al realizar ensayos con velocidades por debajo de los 20km/h los datos que proporciona el teléfono inteligente basado en un Android ya no son confiables.

Llegando a la conclusión de que la longitud para hallar el IRI promedio debe ser cada 100m, además concluyó que manejar el vehículo a una velocidad constante de 50 km/h es adecuada para la obtención del IRI. (Junai, 2015)

La tesis “Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima”, desarrollado por Carlos Ignacio Almenara Cueto, en el año 2015. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú, sostiene que se evaluó la rugosidad de la vía expresa en Lima utilizando la aplicación Roadroid, donde se analizó si la variación de la velocidad al momento del muestreo afecta los resultados obtenidos del IRI.

En esta tesis se ha concluido que el Roadroid se presenta como una alternativa muy favorable para la gestión vial, pues permite llevar un control de variación de la rugosidad en el tiempo que podrá ayudar a la toma de decisiones de cuándo y dónde intervenir una vía. Por otro lado, se concluyó que las velocidades mayores a 60km/h son recomendables para realizar los ensayos ya que a esta velocidad los datos obtenidos se acercan más al IRI real de la carretera. (Almenara, 2015)

La tesis “Evaluación de la transitabilidad utilizando el Rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera cañete-Huancayo Km.110+000 al Km. 112+000”, desarrollado por Roberto Carlos Martin Pomasonco de la Cadena en el año 2010. Tesis desarrollada para optar el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería, sostiene que tiene como base la obtención del IRI (Índice de rugosidad internacional), lo cual permitirá calcular la condición de uso de la vía (PSI) y con este valor obtendremos la adjetivación de la calidad de servicio que brinda, es decir, la transitabilidad.

También plantea la necesidad de tomar la transitabilidad como un indicador que permita relacionarse con las acciones de conservación y rehabilitación de la vía y su eficacia en el tiempo.

El problema planteado en esta tesis es obtener una variable de evaluación de la transitabilidad representativa para el tipo de vía en estudio. Se planteará el uso del IRI para esta evaluación, siendo el IRI un indicador que se relaciona más con el confort de la vía, y la transitabilidad se refiere a la capacidad de la vía para estar operativa. Por este motivo se analizarán dos métodos con los cuales obtendremos la caracterización del tramo asignado, obteniendo resultados que evidencien el estado de transitabilidad de la vía.

Finalmente se obtendrán los resultados de la evaluación con ambos métodos y concluiremos los beneficios de cada uno de ellos respecto al tipo de vía en estudio. Con estos resultados se busca dar a conocer metodologías que se ajusten mejor a las diversas condiciones y realidades en que se encuentran las carreteras en nuestro país y así poder aplicarlos. (Pomasonco, 2010)

Hoffman y Del Águila (1885), los estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos No Destructivos) Este estudio presenta una metodología simple para la evaluación estructural de pavimentos basada en la interpretación de curvas de deflexiones, la cual es ilustrada con datos obtenidos durante la Supervisión de la Carretera Talara-Cancas. Esta metodología fue desarrollada e implementada en numerosos proyectos en diversos países por Louis Berger International. Este informe presenta toda la información necesaria para medir, procesar, analizar e interpretar los resultados obtenidos de la metodología de evaluación estructural. Se incluyen, además, numerosos ejemplos de verificación y análisis de

sensibilidad de las soluciones obtenidas que permiten apreciar el potencial y la utilidad de las metodologías propuestas.

Almenara (2015), “Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima”, desarrollado por Carlos Ignacio Almenara Cueto, en el año 2015. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú, sostiene que se evaluó la rugosidad de la vía expresa en Lima utilizando la aplicación Roadroid, donde se analizó si la variación de la velocidad al momento del muestreo afecta los resultados obtenidos del IRI.

En esta tesis se ha concluido que el Roadroid se presenta como una alternativa muy favorable para la gestión vial, pues permite llevar un control de variación de la rugosidad en el tiempo que podrá ayudar a la toma de decisiones de cuándo y dónde intervenir una vía. Por otro lado, se concluyó que las velocidades mayores a 60km/h son recomendables para realizar los ensayos ya que a esta velocidad los datos obtenidos se acercan más al IRI real de la carretera.

Pari (2010), desarrolló la tesis titulado “Estudio de la rugosidad en pavimentos asfálticos de la ciudad de Puno”, desarrollado por Pari Luque en el año 2010. Tesis desarrollada para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional del Altiplano, sostiene que la investigación se focaliza en el estudio de la rugosidad de la superficie de rodadura asociado con los cambios en la serviciabilidad de los pavimentos, utilizando el Equipo de Rugosímetro de MERLIN, donde hace el estudio respectivo en las principales vías de la ciudad de Puno conformado por: Av. circunvalación, Av. El Ejército, Av. El Sol, Av. Floral, salida a desagadero (panamericana sur) y salida a Juliaca (panamericano norte) las cuales presentan superficies de concreto asfáltico.

Donde da a conocer la importancia del IRI para el mantenimiento respectivo de las principales vías de la ciudad de Puno, debido a la presencia de irregularidad en la superficie de rodadura, propios de un inadecuado proceso constructivo.

Al realizar el ensayo respectivo con el Rugosímetro de MERLIN, nos informa sobre los valores correspondientes del Índice de Rugosidad Internacional



(IRI) para las vías evaluadas en la ciudad de Puno conformado por: Av. Circunvalación, Av. El Ejército, Av. El Sol, Av. Floral, salida a desaguadero (panamericana sur) y salida a Juliaca (panamericano norte), las cuales son luego correlacionadas con la Serviciabilidad y de esta manera determinar la transitabilidad actual de las principales vías de la ciudad de Puno.

Montoya (2013), desarrolló la investigación titulada “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú”, desarrollado por José Montoya Goicochea en el año 2013. Tesis desarrollada para obtener el grado académico de Maestro en ingeniería por la Universidad de Piura, sostiene que el análisis del IRI en un proyecto, a partir del cual se propone un mecanismo para la determinación de tolerancias en el control de la rugosidad establecida en los contratos de las concesiones viales.

Para tal objetivo, se planteó como estrategia, relacionar el IRI de diseño de la vía con los datos geométricos de la misma. Llegando a la conclusión de que el conocer la verdadera relación entre los valores de IRI de diseño y la geometría de la vía, nos ayudará a mejorar la lógica en el establecimiento de las exigencias técnicas en los términos de referencia de futuras concesiones viales y expedientes técnicos para caminos nuevos pavimentados.

Pomasonco (2010), elaboró la tesis “Evaluación de la transitabilidad utilizando el Rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera cañete-Huancayo Km.110+000 al Km. 112+000”, desarrollado por Roberto Carlos Martin Pomasonco de la Cadena en el año 2010. Tesis desarrollada para optar el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería, sostiene que tiene como base la obtención del IRI (Índice de rugosidad internacional), lo cual permitirá calcular la condición de uso de la vía (PSI) y con este valor obtendremos la adjetivación de la calidad de servicio que brinda, es decir, la transitabilidad.

También plantea la necesidad de tomar la transitabilidad como un indicador que permita relacionarse con las acciones de conservación y rehabilitación de la vía y su eficacia en el tiempo.

El problema planteado en esta tesis es obtener una variable de evaluación de la transitabilidad representativa para el tipo de vía en estudio. Se planteará el

uso del IRI para esta evaluación, siendo el IRI un indicador que se relaciona más con el confort de la vía, y la transitabilidad se refiere a la capacidad de la vía para estar operativa.

Por este motivo se analizarán dos métodos con los cuales obtendremos la caracterización del tramo asignado, obteniendo resultados que evidencien el estado de transitabilidad de la vía.

Finalmente se obtendrán los resultados de la evaluación con ambos métodos y concluiremos los beneficios de cada uno de ellos respecto al tipo de vía en estudio. Con estos resultados se busca dar a conocer metodologías que se ajusten mejor a las diversas condiciones y realidades en que se encuentran nuestras carreteras en nuestro país y así poder aplicarlos.

Medina y Farro (2018), desarrolló la tesis titulado “Evaluación superficial y de rugosidad del pavimento en la Av. Circunvalación Oeste, tramo: Óvalo Transportes – Óvalo Cuzco, distrito de Tacna, provincia de Tacna, Tacna – 2017”, desarrollado por Richard Ángel Medina Chahuares y Diego Alonso Farro Velarde en el año 2018. Tesis desarrollada para optar el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Privada de Tacna, sostiene que tiene la metodología del PCI y método de la rugosidad de MERLIN, se midió la regularidad superficial y la evaluación superficial usando los métodos indicados, llegando a la conclusión después de haber realizado el procesamiento de los datos para obtener los resultados, los resultados obtenidos con respecto al Rugosímetro de MERLIN y la evaluación superficial mediante PCI dio como resultado final un estado “Malo” de ambos carriles siendo el más crítico el carril derecho. Por lo tanto, las fallas superficiales de la zona de estudio se pueden concluir que generalmente presentan un nivel de severidad alto, la primordial causa de deterioro es el insuficiente mantenimiento de las vías, que a su vez presenta poco mantenimiento solamente parchado de zonas dañadas a simple vista. Siendo necesario su respectivo mantenimiento ya que es una de las vías más transitadas de la ciudad y comunica de extremo a extremo.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Montejo, 2008).

#### **Características que debe reunir un pavimento.**

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial.
- Debe presentar una regularidad superficial, que permita una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable y económico.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito (Montejo, 2008).

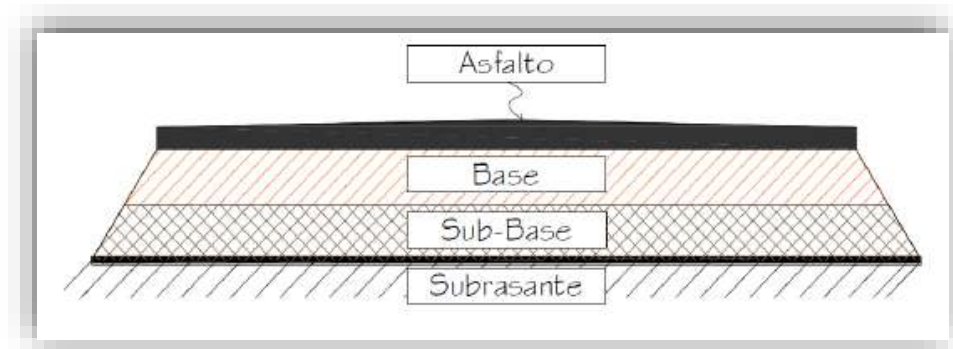
## 2.2.2 Clasificación de los pavimentos

### A) Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo, 2008).

#### Figura 1

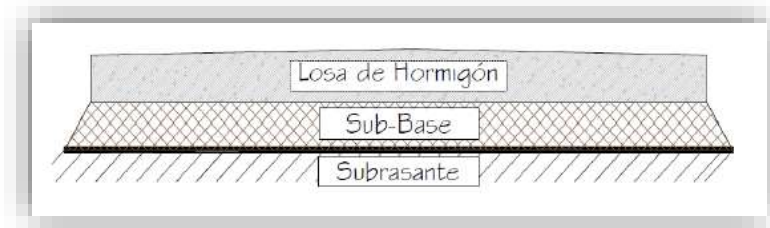
*Sección de un pavimento flexible*



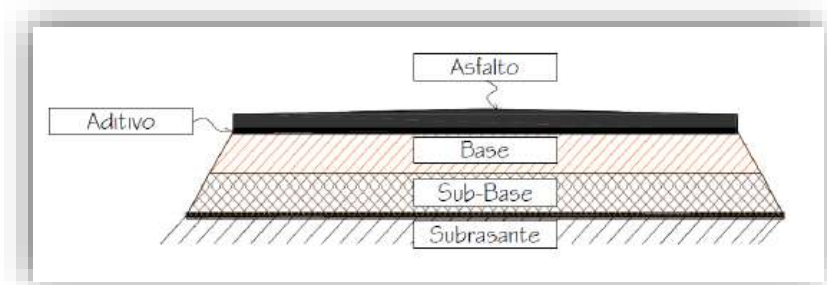
*Nota. Fuente: (Armijos,2009).*

### B) Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. (Montejo, 2008).

**Figura 2.***Sección de un pavimento rígido**Nota. Fuente: (Armijos, 2009)***C) Pavimentos semi-rígidos**

Los pavimentos semi-rígidos contienen la misma estructura que los flexibles, con la variación que se rigidiza artificialmente una de las capas con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; incrementando la capacidad portante del suelo (Armijos, 2009).

**Figura 3***Sección de un pavimento semi-rígido**Nota. Fuente: (Armijos, 2009).***2.2.3 Índice de Serviciabilidad**

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, índice internacional de rugosidad (International Roughness Index). Y para correlacionar el índice de serviciabilidad y el IRI, se utilizan ecuaciones. (Coronado Iturbide, 2002).

Para evaluar la serviciabilidad (PSI) del pavimento, se utiliza la ecuación de Williams Paterson en función del valor IRI, cuyo resultado determina la condición funcional o nivel de servicio actual de la capa de

rodadura del pavimento, conceptos que fueron desarrollados por la AASHO, en 1957. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la calidad muy buena corresponde al máximo valor. (Pomasonco de la Cadena, 2010).

**Tabla 1**

*Clasificación de la serviciabilidad*

Índice de Serviciabilidad(PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

*Nota. Fuente: Guía AASHTO*

#### **2.2.4 Rugosidad**

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 & Kohn, 2002).

El Banco Mundial propuso una medida 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.

#### **2.2.5 Causas posibles de la rugosidad**

Las irregularidades en la capa de rodamiento de los pavimentos

tanto nuevos como existentes se pueden producir por falta de políticas de mantenimiento o errores cometidos durante el procedimiento constructivo de la vía; en la cual no se haya tomado las medidas de control correspondientes, provocando como consecuencia las deformaciones.

**Existen 10 causas posibles que dan origen a la rugosidad en la etapa de construcción de la vía:**

- Variaciones en la superficie de la base o carpeta asfáltica existente sobre la que se construye la nueva capa de desgaste.
- No verificar la superficie asfáltica con la regla inmediatamente después de la compactación inicial para hacer las correcciones mientras que la superficie asfáltica todavía se encuentra caliente.
- Paradas y reinicios frecuentes de la pavimentadora: si no se puede evitar se debe verificar con una regla antes y después de la compactación.
- Juntas de construcción de mala calidad: se deben verificar las juntas con una regla inmediatamente después de su construcción y corregirlas de ser necesario cuando el material está aún caliente.
- Rastrillado excesivo del material colocado: la regla de la pavimentadora debe estar ajustada de manera que se haga innecesario el rastrillado. De ser empleado éste último, debe ser de una manera estrictamente suficiente y no exagerada.
- Rodillado irregular o dejar que el rodillo se detenga sobre el pavimento caliente.
- Mezcla no uniforme.
- Operaciones impropias de los camiones: frenos muy duros o el camión golpea a la pavimentadora.

- Temperatura no uniforme del material: las cargas frías no se compactan al mismo espesor que las calientes
- Ajustes frecuentes a los controles de la regla de la pavimentadora.

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

Se han demostrado 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 número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico 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.
- Extensión y severidad de fallas en el pavimento.



### **2.2.7 Importancia de la rugosidad en la superficie de rodadura en pavimentos para la circulación de vehículos**

La rugosidad de la superficie de rodadura para la circulación de los vehículos tiene importancia en varios aspectos que se describen a continuación:

#### **a. Seguridad y comodidad**

Una buena rugosidad superficial permite ofrecer condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios.

#### **b. Costos de operación vehicular**

Tiene incidencia en los costos de operación de los vehículos, puesto que, dependiendo de la magnitud de las irregularidades superficiales, la velocidad de circulación puede verse afectada negativamente, lo cual puede reflejarse por un mayor desgaste en llantas y componentes mecánicos de los vehículos y mayor consumo de combustible.

#### **c. Efectos dinámicos**

Los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las vías, pueden reflejarse no solo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación.

#### **d. Acciones de conservación de las vías**

La rugosidad inicial de los pavimentos es un indicador de la calidad de la construcción de las vías. Si el pavimento es construido con buena regularidad superficial se espera que su vida útil sea mayor que otro que tenga mayores deformaciones; sin embargo, debe tenerse en cuenta que el progreso de las irregularidades depende de muchos otros factores como las cargas impuestas por el tráfico, el clima, la

variabilidad de los materiales de construcción, el estado de la subrasante, variaciones de topografía, presencia de estructuras en la vía, entre otros aspectos.

Por lo tanto, es de suma importancia conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, para definir las acciones de conservación (mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción) necesarias en el momento pertinente.

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

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, Michel; Karamihas, Steven, 1998)

El IRI en términos prácticos se puede definir como la acumulación del movimiento vertical en valor absoluto que sufre la suspensión del neumático de un vehículo (un cuarto de carro) cuando este recorre la superficie de rodadura a una velocidad referencial de 80 km/h. (Caro, F. & Peña, G. 2012).

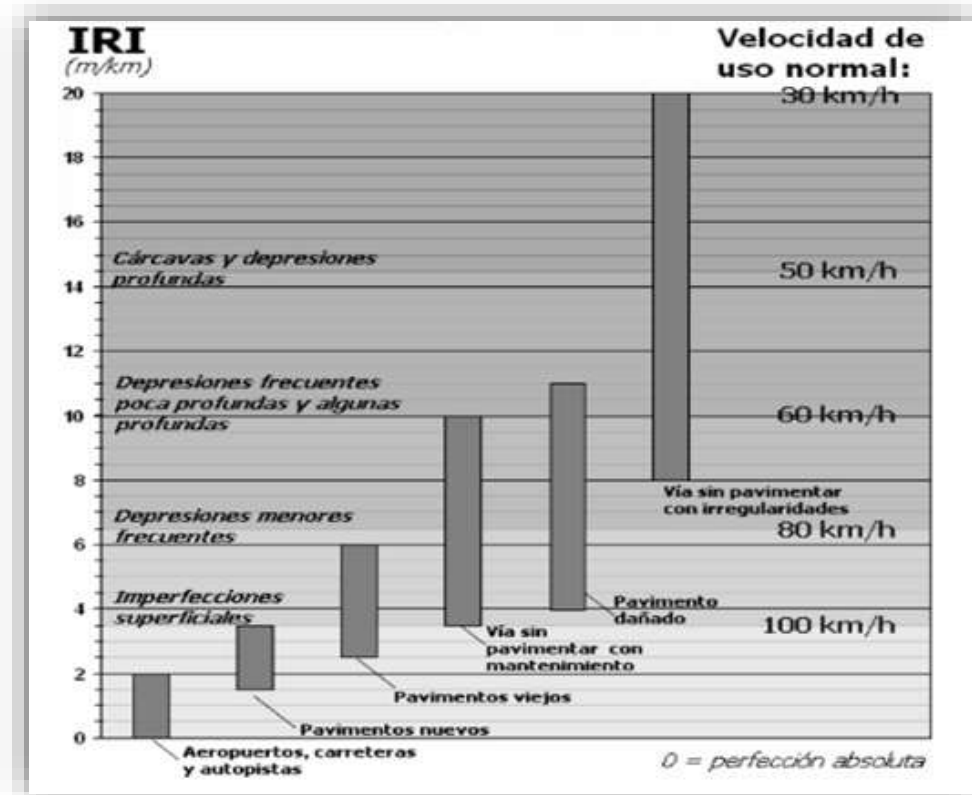
### **2.2.9 Escalas y características del IRI**

El IRI tiene unidades de mm/m, m/km o in/mi, varía de 0 a 20 m/km o 0 a 126 in/mi (rugosidad 0 m/km en un camino uniforme perfecto y 20m/km uno ya casi imposible de transitar).

Cabe mencionar que en algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional para definir el instante en el cual se debe implementar la intervención de conservación periódica.

#### Figura 4

Escala estándar empleada por el Banco Mundial para clasificar los caminos según su IRI



Nota. Fuente: Banco Mundial

- Para el Perú se han fijado los siguientes valores para determinar el estado vial, según la rugosidad.

#### Figura 5

Valores para determinar el estado vial en el Perú según la rugosidad.

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

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

### 2.2.10 Métodos para la medición de la rugosidad

Según estudios realizados existen múltiples equipos que permiten determinar la rugosidad y cabe resaltar que estos equipos deben estar calibrados y en óptimas condiciones, a partir de evaluaciones superficiales visuales se pueden relacionar y determinar la condición actual del pavimento. (MTC, 2014)

- **Nivel y mira topográfica**

Poco funcional y posee costos muy elevados para proyectos largos.

- **Dipstick**

Poco práctico y costos elevados para proyectos largos.

- **Perfilógrafos**

No son efectivos para evaluar la condición a nivel de red.

- **Equipos tipo respuesta (RTRRMS)**

Estos equipos son un poco delicados porque los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo.

- **Perfilómetro inercial**

Este equipo se caracteriza por obtener unos resultados de alta precisión, cuyos resultados son transportables y fijos en el tiempo. Su primordial uso es la evaluación de redes viales grandes.

**FIGURA 6**

*Clasificación de equipos utilizados para la medición de la regularidad*

<b>Equipo</b>	<b>Grado de precisión</b>	<b>Implementación</b>	<b>Complejidad del equipo</b>	<b>Observaciones</b>
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Muy Simple	Poco práctico y costos elevados para proyectos largos
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo
Perfilómetro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de red viales grandes

*Nota.* Fuente: Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008.

### 2.2.11 Rugosímetro de MERLIN

Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú en 1993, existiendo para junio 1999) más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras. (Del Aguila, 1999).

**Figura 7**

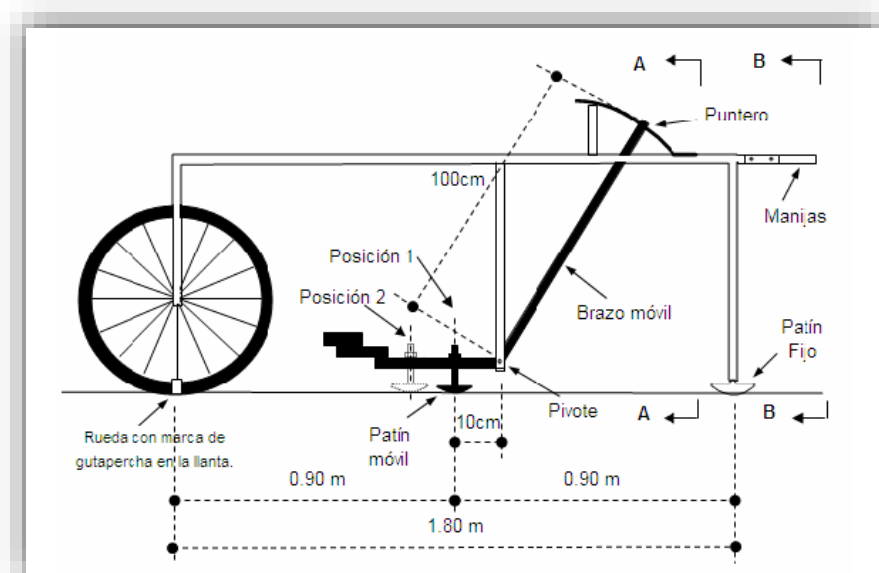
*Uso del rugosímetro de Merlín*



El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0.98$ ). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus Rugosímetros. (Del Aguila, 1999)

**Figura 8**

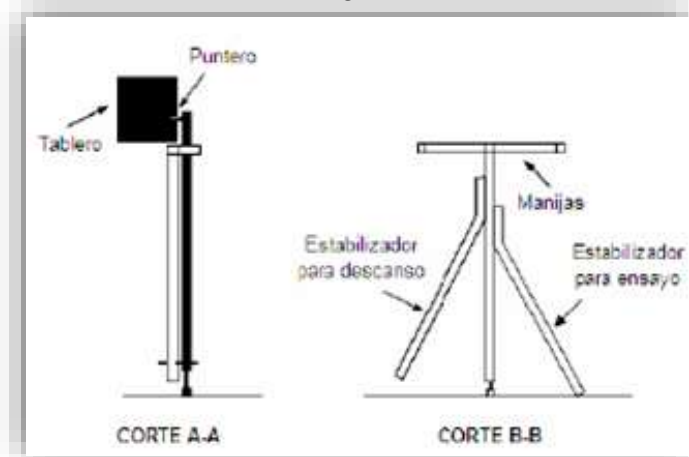
*Detalles del instrumento MERLIN*



*Nota.* Fuente: (Del Aguila, 1999)

**Figura 9**

*Detalles en corte del Rugosímetro de MERLIN*



*Nota.* Fuente: (Del Aguila, 1999)

El MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación con respecto a la cuerda promedio”.

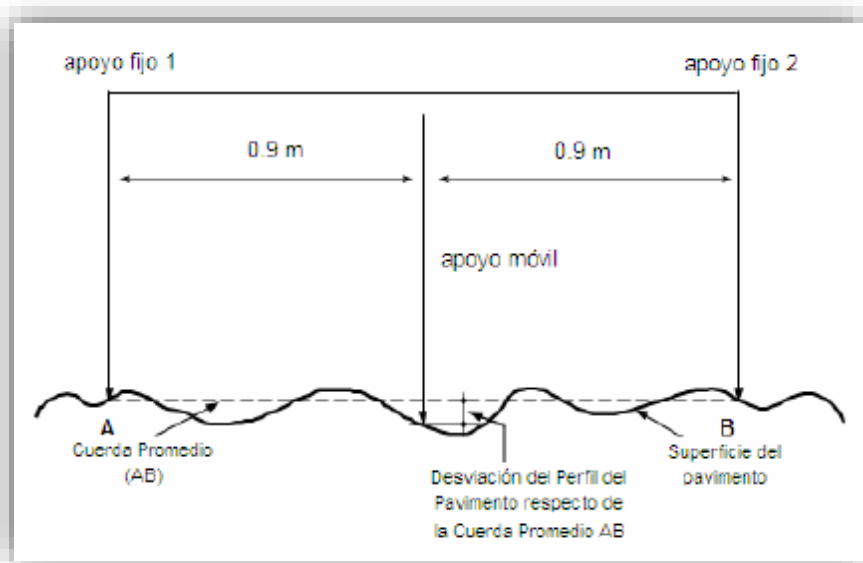
El MERLIN tiene dos pies, separados uno de otro una distancia de 1.8m, el cual se apoya en la superficie del camino cuya rugosidad será medida a lo largo de la wheeltrack (marca hecha por las ruedas).

Un patín de prueba móvil se pone a media-vía sobre la superficie de camino entre los dos pies y el MERLIN mide la distancia vertical “y” entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante que une la base de los dos pies.

El resultado se registra en un formato montado sobre la máquina, tomando medidas repetidas a lo largo de la huella de la rueda cuando se han completado las observaciones, se remueve el formato, en el cual se habrá generado un histograma. El “ancho” del histograma (D), expresado en milímetros representa la rugosidad en la escala de MERLIN. (Del Aguila, 1999)

### Figura 10

*Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio AB.*



Nota. Fuente: (Del Aguila, 1999)

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín emperrado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero. (Del Aguila, 1999)

### Figura 11

*Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de pavimento respecto a la cuerda promedio*



Nota. Fuente: (Del Aguila, 1999)



### a) Modo de Uso

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que los anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de 400m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico. (Del Aguila, 1999)

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia, en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda. (Del Aguila, 1999)

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como es mostrado en la figura. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. (Del Aguila, 1999)

Figura 12

Formato para recolección de datos de campo

ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)												
PROYECTO : _____					OPERADOR : _____							
SECTOR : _____					SUPERVISOR : _____							
TRAMO : _____					FECHA : _____							
CARRIL : _____												
ENSAYO N°		□	KM		+	HORA		□		:		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1											TIPO DE PAVIMENTO :	
2											AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
5											TRAT. SICAPA	<input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO	<input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
8											RECAPEO ASFALTICO	<input type="checkbox"/>
9											SELLO	<input type="checkbox"/>
10											OTROS	<input type="checkbox"/>
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
OBSERVACIONES : _____												
_____												
_____												

**Nota.** Fuente: (Del Aguila, 1999)

#### b) Calculo de la Rugosidad con el Rugosímetro de MERLIN

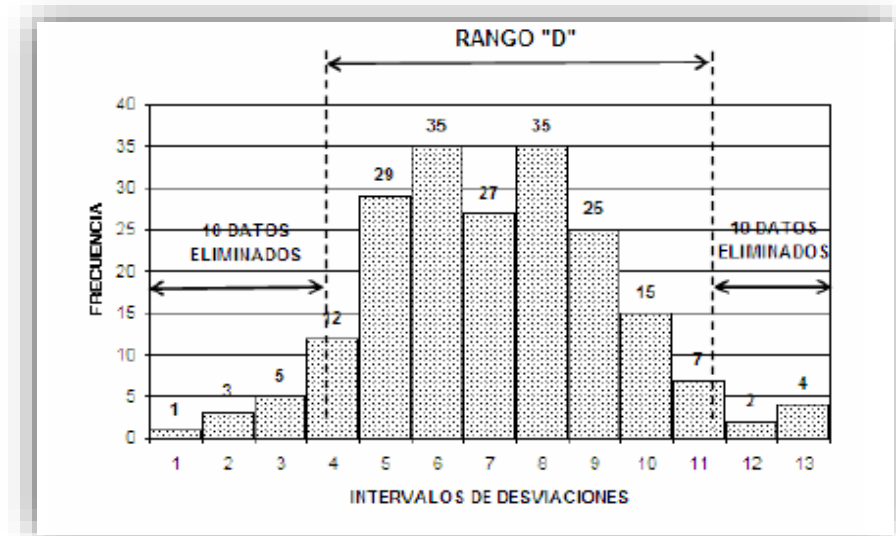
Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del Rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N<sup>a</sup> 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea

recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N°25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada). (Del Aguila, 1999).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura 13). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. (Del Aguila, 1999).

**Figura 13**

*Histograma de la distribución de frecuencias.*



*Nota.* Fuente: (Del Aguila, 1999)

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura 17, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen

al intervalo 4, en consecuencia, resulta una unidad fraccionada igual a  $11/12=0.92$ . Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a  $3/7=0.43$ . Se tiene en consecuencia un Rango igual a  $0.92+6+0.43 = 7.35$  unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros.

$$\text{Rango D} = 7.35 \times 5\text{mm} = 36.75\text{mm}.$$

#### **Factor de corrección**

$$\text{F.C.} = (\text{EP} \times 10) / (\text{Li} - \text{Lf}) \times 5$$

Donde:

EP = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial del puntero.

Lf = Posición final del puntero.

#### **Cálculo del Rango D corregido**

$$D_c = D \times \text{FC}$$

#### **Calculo de IRI**

- Cuando  $2.4 < \text{IRI} < 15.9$ , entonces  $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$   
(ecuación empleada para la evaluación de pavimentos en servicio)
- Cuando  $\text{IRI} < 2.4$ , entonces  $\text{IRI} = 0.0485 D$   
(ecuación empleada para la evaluación de pavimentos nuevos)

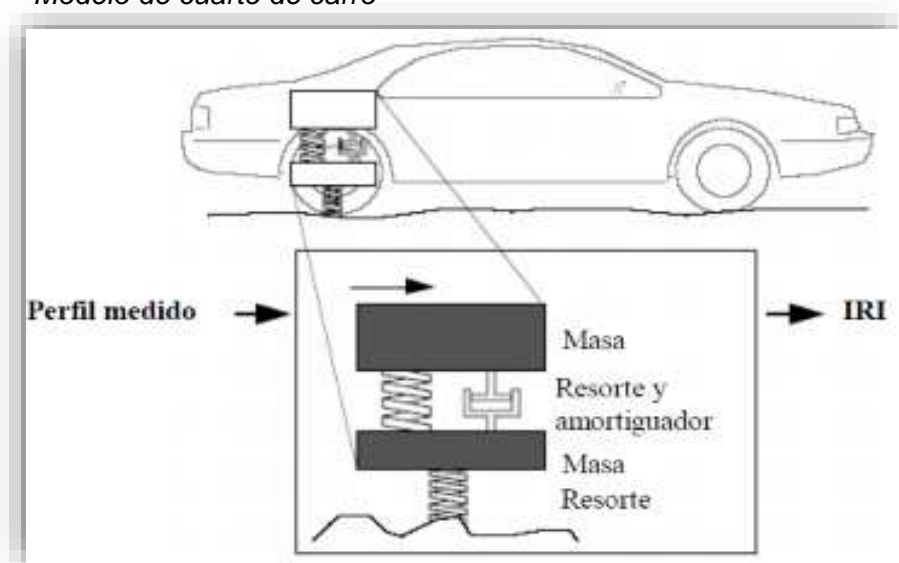
#### **2.2.12 Aplicativo ABAKAL IRI**

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 medimos los movimientos verticales atribuibles a las irregularidades en el perfil longitudinal.

**Figura 14**

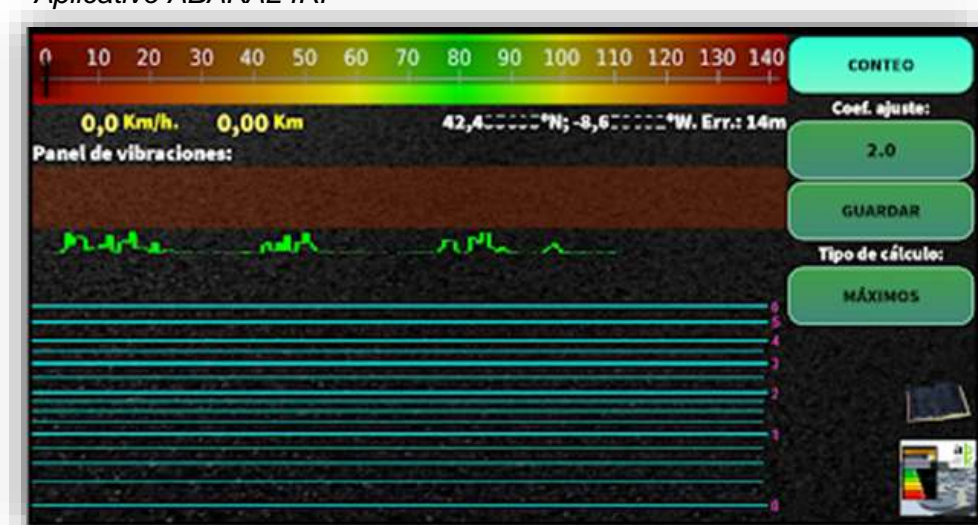
*Modelo de cuarto de carro*



Nota. Fuente: (Sayers, M. & Karamidas, S., 1988)

**Figura 15**

*Aplicativo ABAKAL IRI*



Nota. Fuente: (ABAKAL, 2020)

### 2.2.13 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.

### 2.2.14 Ubicación del Smartphone

Puede colocarse apoyado en el parabrisas para la operación adecuada de los ajustes, ya sean los métodos estadísticos o los máximos.

#### Figura 16

*Ubicación del teléfono en el vehículo*



*Nota.* Fuente: (ABAKAL, 2020)

### 2.2.15 Calculo de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI

Están definidos dos métodos de cálculo diferente, estadísticos y máximos.

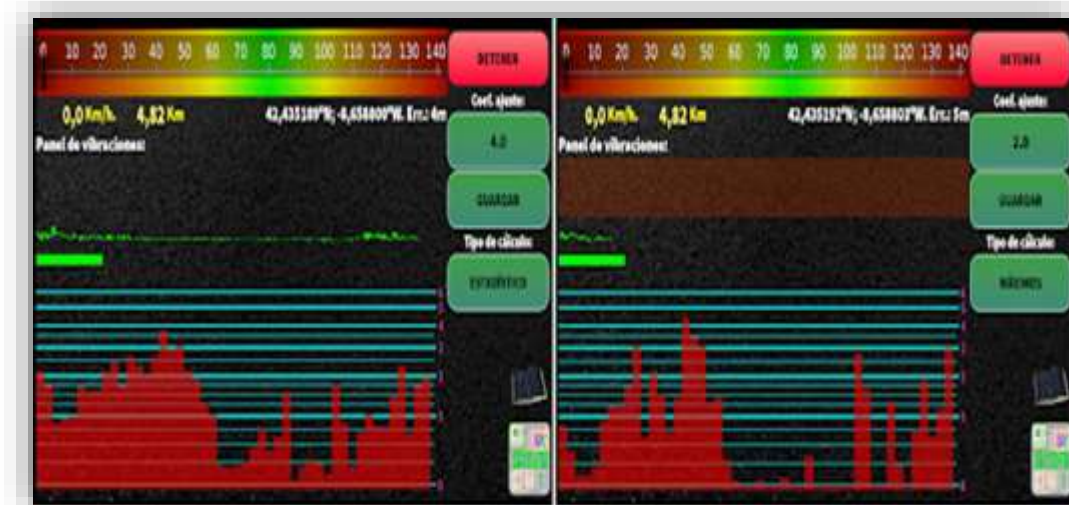
El método estadístico deriva de la ponderación relativa de primer y segundo orden de la vibración transmitida por el vehículo al dispositivo. El coeficiente de ajuste eleva (o reduce) dicha ponderación.

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.

No se puede establecer con precisión 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.

**Figura 17**

*Métodos de calculo*

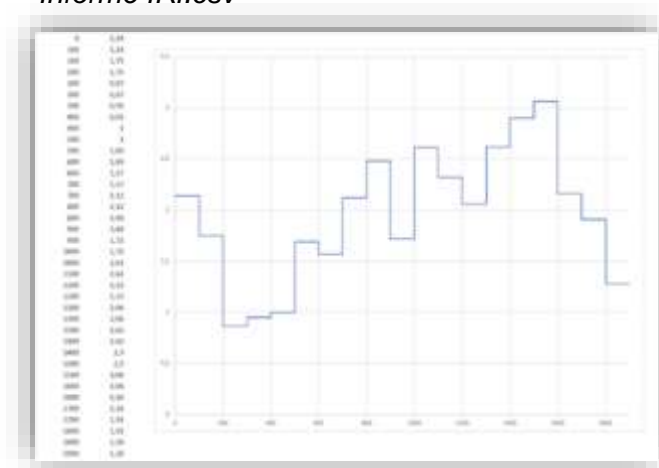


Nota. Fuente: (ABAKAL, 2020)

### 2.2.16 Generación de informe

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

- El archivo informe IRI.csv, se puede abrir como una hoja de cálculo, es importante porque podemos graficar.
- El archivo informe IRI2.csv, es más una tabla de control.
- El archivo informe IRI.kml, es para abrir en Google Earth.

**Figura 18***Informe IRI.csv*

Nota. Fuente: (ABAKAL, 2020)

**Tabla 2***Resultados Informe IRI*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	desplazamiento	Valor IRI
42,453633	-8,677348	110	75,35	0	2,14
42,454028	-8,676213	108	75,82	100	1,75
42,454396	-8,675086	114	72	200	0,87
42,454814	-8,673987	119	73,3	300	0,95
42,455341	-8,672945	124	76,32	400	1
42,456012	-8,671988	129	80,24	500	1,69
42,456741	-8,671048	137	78,12	600	1,57
42,457411	-8,670161	142	71,78	700	1,59
42,458005	-8,66923	146	73,55	800	2,12

NOTA. Fuente: (ABAKAL, 2020)

**Figura 19***Informe IRI.kml*

Nota. Fuente: (ABAKAL, 2020)



### 2.2.17 Definición de Términos

- **Rehabilitación**

Actividades con el que se busca mejorar o restaurar las condiciones actuales presentes en la edificación, pavimento, puentes, etc. El objetivo es recuperar su funcionalidad extendiendo así su vida útil.

- **Abakal Iri**

Aplicativo español creado para Smartphone o teléfonos inteligentes, esta aplicación utiliza las herramientas preinstaladas en los teléfonos, de tal manera que sea capaz de medir la rugosidad en pavimentos de manera precisa y económica.

- **Transitabilidad**

Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

- **IRI**

Índice de Rugosidad Internacional, es el parámetro que mide el estado más característico de la condición funcional de la capa de rodadura de un pavimento.

- **Rugosímetro de Merlín**

Instrumento diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático. Acabado en pintura electrostática de color amarillo y negro. Plegable, para fácil embalaje y transporte.

- **Smartphone**

Teléfono celular con pantalla táctil, que permite al usuario conectarse a internet, gestionar cuentas de correo electrónico e instalar otras aplicaciones y recursos a modo de pequeño computador.

## 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 cuantitativa, Aplicada porque se centra en contar con mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo concreto, la evaluación del nivel de servicio del pavimento. Y Cuantitativa, porque se reúne datos cuantitativos mediante la medición Superficial del pavimento en la avenida internacional con dos métodos distintos como son equipo MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI, para luego comparar los resultados obtenidos.

##### 3.1.2 Diseño de la investigación

Esta investigación se enmarca dentro de una investigación No Experimental, según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006), define la investigación no experimental como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente las variables, Lo que hacemos en esta investigación es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

##### 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/o muestra de estudio

#### 3.2.1 Población

La población para la investigación es la avenida Internacional, zona muy importante que interconecta la ciudad de Tacna con los distritos de Alto de la Alianza y distrito de Ciudad Nueva, inicia en la avenida Jorge Basadre Grohmann y termina en el distrito de Ciudad Nueva, considerando las vías de acceso en determinados sectores de la avenida.

#### 3.2.2 Muestra

La muestra de estudio son los 8 tramos de 400 metros cada uno tanto de subida como de bajada, que componen ambos carriles de la avenida Internacional, entre los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva.

### 3.3 Operacionalización de variables

**Tabla 3**

*Operacionalización de variables*

	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR
INDEPENDIENTE	Aplicación del Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN.	Son métodos que se basan en la determinación del índice de rugosidad (IRI), para poder conocer la condición de la vía.	Representan un conjunto de lineamientos sustentados en procedimientos establecidos bajo la norma técnica peruana ce.010.	Aplicación del Rugosímetro de MERLIN.	Valor del IRI ( m/km) Factor de corrección ( m )
				Aplicación del Smartphone.	Rango D ( mm ) Valor del IRI (m/km) Velocidad (km/h) Desplazamiento ( m )
DEPENDIENTE	Calculo de la Medición de la rugosidad del pavimento flexible, en la Av. internacional.	Determinación de las irregularidades de la superficie del pavimento (IRI).	Representa un valor referencial para medir la calidad en los pavimentos sustentados en el grado de desgaste y daños causados por efectos durante la vida útil de un pavimento.	Índice de Rugosidad Internacional.  Calificación del Pavimento Flexible.	-estado del pavimento - Transitabilidad  - Muy bueno - Bueno - Regular - Malo - Muy malo

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

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

#### 3.4.1 Técnicas

La técnica en el uso de un Smartphone (Samsung Galaxy Note 10S7), mediante un aplicativo ABAKAL IRI y el Rugosímetro de MERLIN, para el cálculo de la rugosidad, se basa en los datos obtenidos en campo, necesarios para determinar el estado del pavimento.

Una vez realizado el trabajo de campo se pasa a gabinete a realizar los cálculos para determinar los valores de la rugosidad utilizando el aplicativo ABAKAL IRI y el Rugosímetro de MERLIN, una vez conocido los resultados de la rugosidad internacional de ambas metodologías, realizamos un comparativo de similitud, para finalmente indicar el tratamiento que necesita la carretera investigada.

#### 3.4.2 Instrumentos

- Rugosímetro de MERLIN.
- Smartphone Samsung Galaxy Note 10
- Aplicativo ABAKAL IRI
- Vehículo de aplicación, Camioneta Toyota Hilux

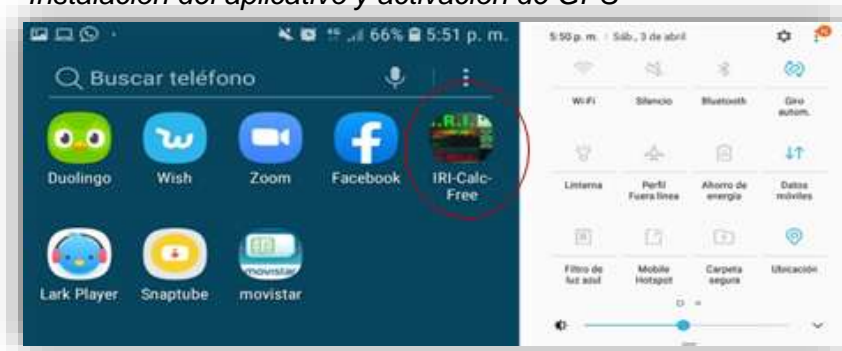
### 3.5 Procesamiento y análisis de datos

#### 3.5.1 Procedimiento de ensayo aplicativo ABAKAL IRI

- A) Instalar el aplicativo ABAKAL IRI en el celular, y tener las funciones de GPS activadas.

**Figura 20**

*Instalación del aplicativo y activación de GPS*



- B)** Instalar el sujetador del celular en la ventana delantera (parabrisas) del vehículo, de modo que se encuentre fija, estable y fácil de alcanzar con las manos.

**Figura 21**

*Ubicación de Smartphone Samsung en el vehículo*



Nota. Fuente: (ABAKAL, 2020)

- c)** Abrir la aplicación ABAKAL IRI pulsando el ícono del programa INICIAR.

**Figura 22**

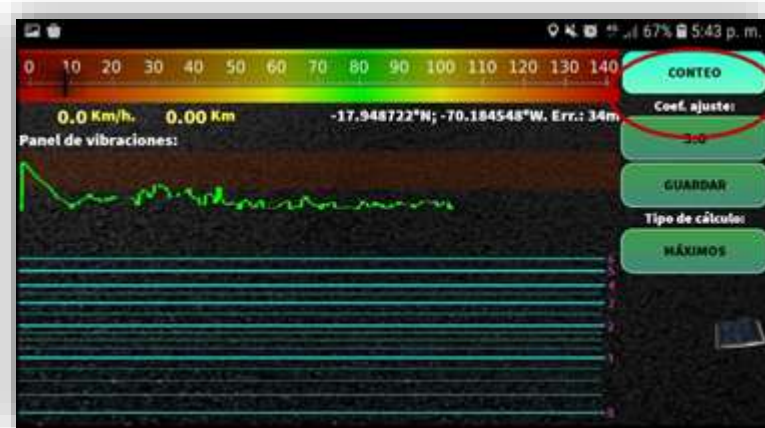
*Icono a presionar para dar inicio al programa.*



- D)** Dar a la opción de conteo, en este punto el programa ira tomando datos de la vibración, el coeficiente de ajuste por defecto es 2 para el tipo de cálculo estadístico y 4 para el tipo de cálculo de máximos, reflejándolos en la graficas logarítmicas que se tiene en la parte inferior del programa.

**Figura 23**

*Icono para dar inicio a la toma de datos.*



- E) Una vez terminado el recorrido del tramo de estudio, pulsamos la opción PARAR Y posteriormente al botón DETENER.

**Figura 24**

*Icono para detener la toma de datos.*



- F) Al finalizar pulsamos la opción GUARDAR, posteriormente descargamos el archivo para el procesamiento.

**Figura 25**

*Icono para guardar los datos obtenidos.*

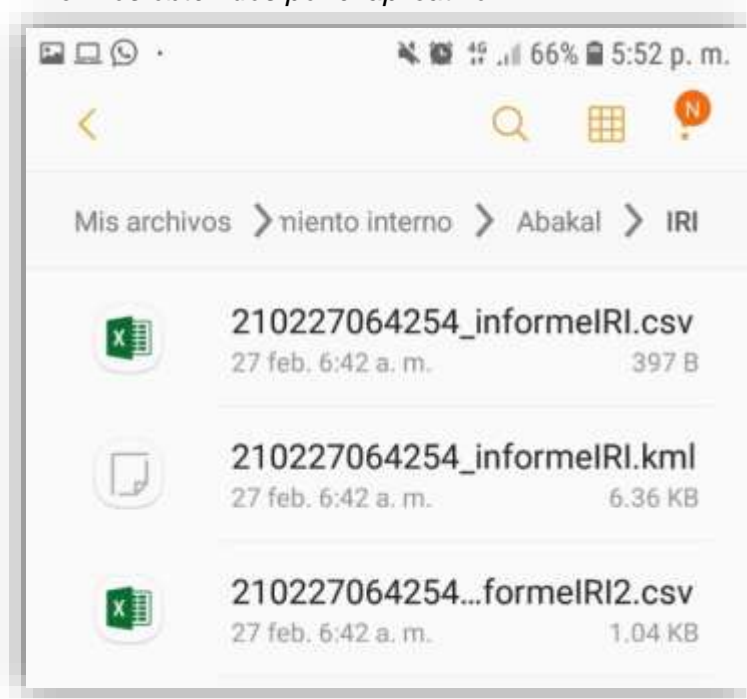


**G)** Para proceder a la importación de los resultados obtenidos se debe ingresar al aplicativo ABAKAL IRI y descargar toda la información en formato IRI.csv e IRI.kml.

- El archivo informe IRI.csv, se puede abrir como una hoja de cálculo, es importante porque podemos graficar.
- El archivo informe IRI2.csv, es más una tabla de control.
- El archivo informe IRI.kml, es para abrir en Google Earth.

### Figura 26

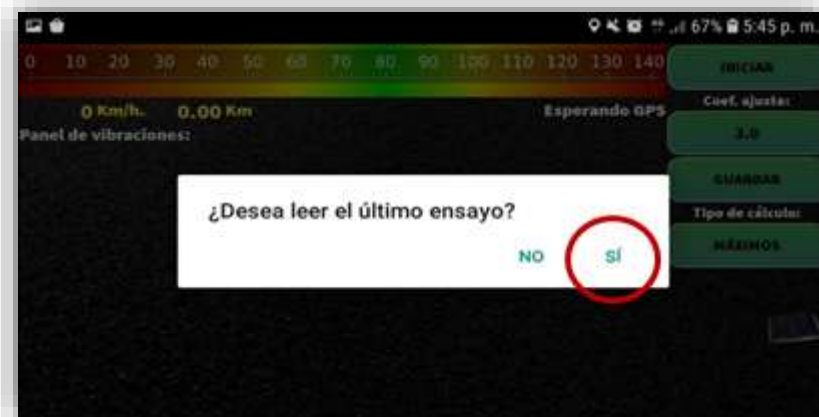
*Archivos obtenidos por el aplicativo ABAKAL IRI*



**H)** Hay que tener en cuenta que la siguiente vez que volvamos a abrir el programa, nos preguntará si queremos leer el último ensayo, si ponemos que “si” tomara los datos de este y se nos permitirá cambiar los datos del coeficiente de ajuste, para ver si así nos vamos aproximando a los resultados que se hayan obtenido con otro método (Rugosímetro de MERLIN) en la misma zona de estudio. Este paso es muy importante porque podremos ir comparando los resultados hasta poder hallar coeficiente de ajuste que más nos asemeje a los resultados obtenidos con otro método.

**Figura 27**

*Opción para poder leer el último ensayo realizado*

**Figura 28**

*Opción para poder cambiar el coeficiente de ajuste.*



- I) Utilizando la información obtenida de los reportes del Aplicativo ABAKAL IRI, se obtiene el valor del IRI cada 100 m. en ambos carriles, se procesan los datos adicionales al aplicativo utilizando la hoja electrónica EXCEL



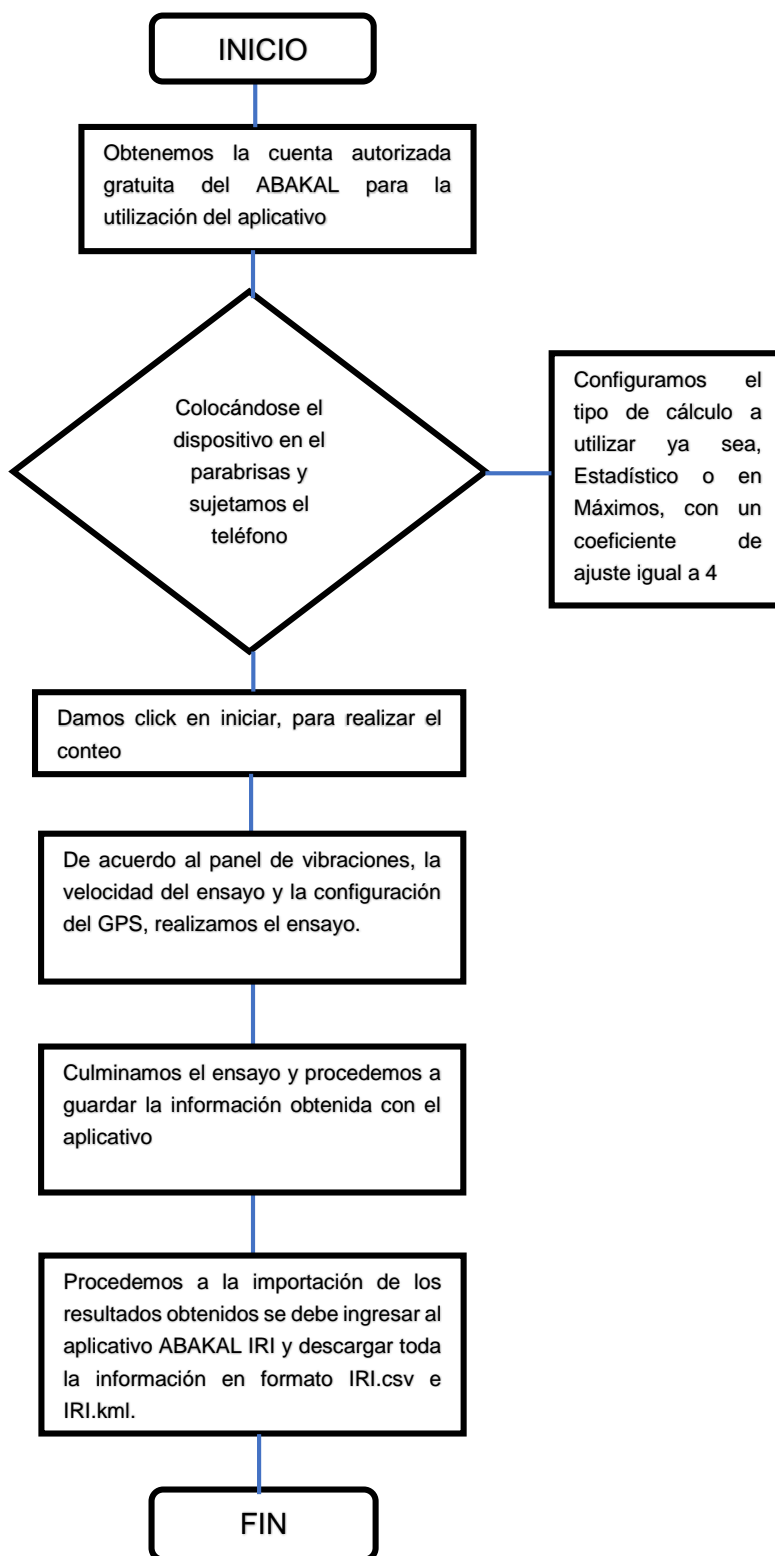
**Tabla 04**

*Cálculo del costo para la recolección de datos con el aplicativo ABAKAL IRI.*

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario	Monto
<b>Mano de obra</b>					
Operador del Smartphone	Día	1	1	50	50
Chofer	Día	1	1	50	50
<b>Equipos</b>					
Costo de Aplicación ABAKAL IRI	Día	1	1.0	0	0
Vehículo	Día	1.0	1.0	50	50
<b>Total</b>					<b>S/ 150</b>

*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

### 3.5.2 Diagrama de flujo procedimiento de cálculo de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI



NOTA. Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.3 Procedimiento para el ensayo del Rugosímetro de MERLIN

Para el Rugosímetro de MERLIN se determina en ambos carriles tramos de 400m, para la medición de 200 desviaciones en forma consecutiva en todo el tramo de estudio, mediante el cálculo de la rugosidad internacional (IRI), para el procesamiento de los datos y cálculos se utiliza la Hoja electrónica EXCEL.

Finalmente, con los datos tabulados podremos establecer cuadros comparativos de similitud para proponer una metodología de intervención.

Para tomar lo datos se siguieron los siguientes pasos:

- A) Para el ensayo con el Rugosímetro de MERLIN, el primer paso es la calibración del equipo, ubicándolo en una superficie horizontal para luego ajustar sus puntos de apoyo hasta que el puntero marque 25.
- B) Al dar inicio se procedemos a leer la primera lectura ( $L_i$ ), después la otra lectura con la pastilla de calibración colocada ( $L_f$ ), este proceso es para determinar el factor de corrección.

#### Figura 29

Calibración de Equipo.



- C) Para poder realizar el ensayo con el Rugosímetro de MERLIN, se necesita 4 personas, un operador el equipo, auxiliar que anote las lecturas y 2 que apoyan con la seguridad.

**Figura 30**

*Operando el equipo de rugosímetro de MERLIN.*



- D) El ensayo empieza con la manipulación del equipo, el operador toma el equipo por las manijas elevándolo y desplazándolo hasta que la rueda de una vuelta completa (2m), luego el equipo se apoya en sus 3 puntos fijos (la rueda, el apoyo fijo trasera y el brazo lateral estabilizador), para proceder a leer la posición que adopta el puntero (lectura entre 1 y 50), la que se anotará en el formato de campo. Así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas en forma consecutiva en todo el tramo de estudio.

**Figura 31**

*Toma de datos con el rugosímetro de MERLIN*



- E) El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha

**Figura 32**

*Formato de ensayo del rugosímetro de MERLIN*

EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE											
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN											
PROYECTO:		APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021									
SECTOR:		1+600 al 2+000			N° DE ENSAYO:		5				
CALZADA:		SUBIDA			FECHA:		16/01/2021				
<b>LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN</b>											
1	32	33	30	29	27	32	35	24	26	32	<b>TIPO DE PAVIMENTO:</b> AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/> TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/> CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
2	37	34	28	32	36	41	32	30	35	36	
3	31	33	32	28	34	32	30	28	17	20	
4	36	34	33	36	28	31	32	29	33	27	
5	30	22	31	36	27	28	27	36	32	31	
6	36	26	32	31	31	29	32	34	27	33	
7	28	34	33	31	26	31	30	34	30	31	
8	30	32	37	36	36	32	29	29	28	26	
9	31	31	39	33	35	29	33	34	32	33	
10	35	29	40	33	26	35	29	38	27	27	
11	35	24	32	24	34	35	28	29	29	33	
12	31	35	26	25	30	27	28	32	26	33	
13	24	30	25	36	30	28	31	29	29	32	
14	33	33	31	34	28	30	34	39	32	22	
15	30	34	31	29	33	31	29	38	26	30	
16	29	27	35	27	25	30	36	33	33	30	
17	26	33	33	31	45	27	29	33	30	25	
18	31	27	43	29	49	32	20	36	35	28	
19	33	30	29	25	41	31	31	23	26	42	
20	34	41	30	35	36	40	50	28	32	29	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

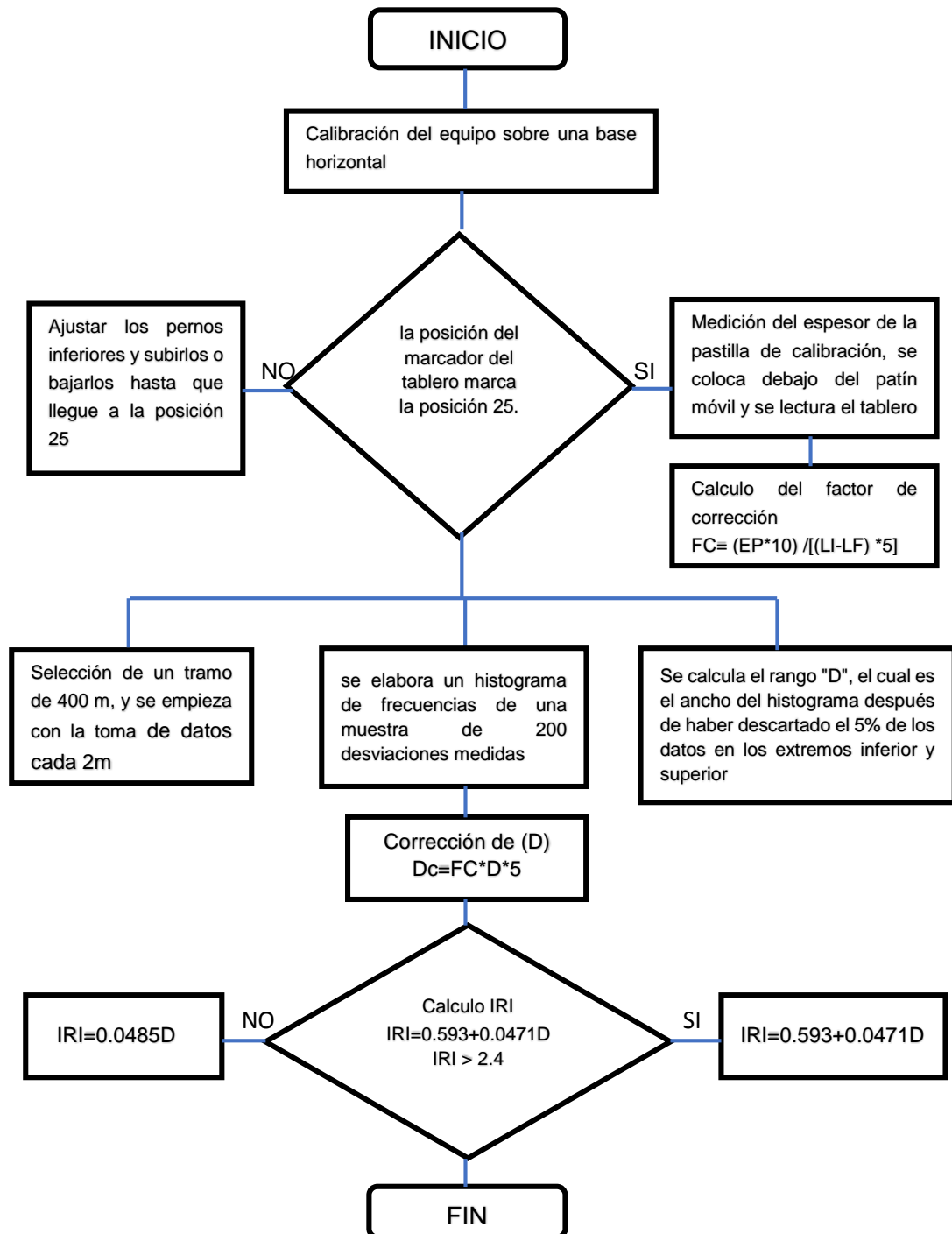
**Tabla 5**

*Cálculo del costo para la recolección de datos con el Rugosímetro de MERLIN.*

Descripción	Unidad	cuadrilla	N° de días	Costo Unitario	Monto
<b>Mano de obra</b>					
Operador	Día	1	1	50	50
Ayudante	Día	1	1	50	50
<b>Equipos</b>					
Alquiler del					
Rugosímetro	Día	1	1	80	80
Vehículo	Día	1	1	50	50
<b>Total</b>					<b>S/ 230</b>

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

## Diagrama de flujo cálculo de la rugosidad con el Rugosímetro de MERLIN



NOTA. Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

### 4.1 Cálculo de la rugosidad utilizando rugosímetro de MERLÍN

Los tramos de evaluación fueron considerados cada 400 m. Con una medición continua de 200 lecturas, cuyos resultados se procesan en una hoja electrónica de acuerdo a la metodología, para determinar 8 tramos de evaluación, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 6**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 01*

#### EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+000 al 0+400

**Nº DE ENSAYO:** 1

**CALZADA:** SUBIDA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:	
1	35	27	27	37	44	24	50	35	25	31	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	43	27	22	23	16	20	28	34	41	28	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	41	34	25	35	29	42	35	35	29	32	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	12	25	28	32	26	20	47	35	29	36	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	34	34	32	40	23	24	9	27	21	22	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	38	23	25	21	18	27	31	22	37	31	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	20	38	19	32	32	35	27	26	19	19	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	37	47	18	26	30	33	27	36	32	39	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	28	27	24	24	30	40	38	27	31	38	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	27	19	18	13	35	39	29	26	25	21		
11	25	38	31	25	30	36	37	22	24	32		
12	29	27	18	28	31	20	35	36	42	31		
13	37	10	40	20	33	36	40	15	29	30		
14	30	31	32	22	32	29	31	34	30	31		
15	33	27	30	33	36	36	12	33	32	27		
16	32	28	28	18	32	35	1	34	33	28		
17	30	32	32	24	36	28	1	26	37	43		
18	40	27	33	48	29	27	31	35	28	41		
19	33	24	25	27	17	21	30	31	31	33		
20	33	28	38	40	20	22	29	30	30	31		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 33.**

*Distribución de frecuencias, ensayo 01*





**Tabla 7**

*Resultados de la rugosidad con MERLIN, calzada derecha - ensayo 01*



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

<b>PROYECTO:</b>	APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021				
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	1	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+0.00 al Km 0+400.00
<b>LONGITUD:</b>	3500.00 m	<b>FECHA:</b>	16/01/2021	<b>OPERADOR:</b>	
				<b>CALZADA:</b>	SUBIDA
				<b>AUXILIAR:</b>	

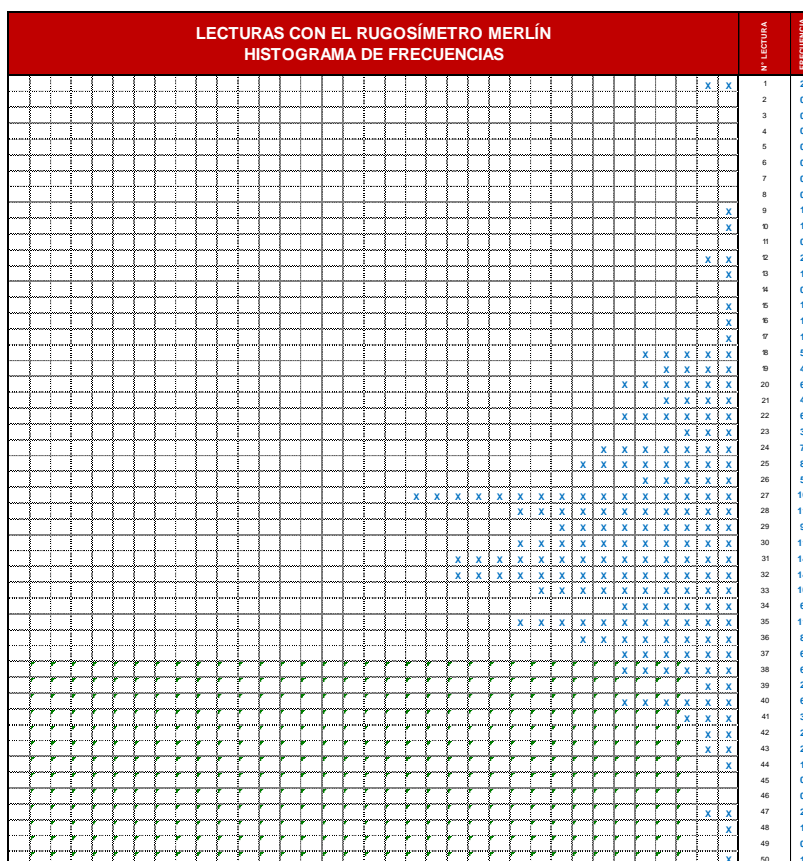
LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	35	27	27	37	44	24	50	35	25	31
2	43	27	22	23	16	20	28	34	41	28
3	41	34	25	35	29	42	35	35	29	32
4	12	25	28	32	26	20	47	35	29	36
5	34	34	32	40	23	24	9	27	21	22
6	38	23	25	21	18	27	31	22	37	31
7	20	38	19	32	32	35	27	26	19	19
8	37	47	18	26	30	33	27	36	32	39
9	28	27	24	24	30	40	38	27	31	38
10	27	19	18	13	35	39	29	26	25	21
11	25	38	31	25	30	36	37	22	24	32
12	29	27	18	28	31	20	35	36	42	31
13	37	10	40	20	33	36	40	15	29	30
14	30	31	32	22	32	29	31	34	30	31
15	33	27	30	33	36	36	12	33	32	27
16	32	28	28	18	32	35	1	34	33	28
17	30	32	32	24	36	28	1	26	37	43
18	40	27	33	48	29	27	31	35	28	41
19	33	24	25	27	17	21	30	31	31	33
20	33	28	38	40	20	22	29	30	30	31
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCIÓN F.C.= 0.73

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI=EXTREMO INFERIOR CE=CENTRO ES=EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 IRI = 0.593 + 0.0471D      IRI = 0.0485D

RESULTADOS	
Datos:	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECCIÓN:	0.73
Resultado del IRI:	
RANGO "D":	123.33 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	90.03 mm
RUGOSIDAD IRI:	4.63 m/km
Observaciones:	



NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 08**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 02*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+400 al 0+800

**Nº DE ENSAYO:** 2

**CALZADA:** SUBIDA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	27	34	28	30	40	32	39	34	27	36	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	33	33	30	26	24	29	37	28	38	32	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	24	28	26	29	50	37	34	33	21	29	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	17	28	37	32	27	26	32	31	43	26	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	33	32	30	28	38	32	17	32	20	26	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	37	30	34	25	38	29	22	27	25	36	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	40	31	30	45	34	32	34	30	31	26	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	28	26	33	33	38	34	27	36	45	44	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	31	34	23	28	37	27	25	27	37	30	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	27	33	33	32	21	34	21	31	13	14		
11	49	34	29	35	24	49	36	31	20	30		
12	33	31	37	22	21	32	25	36	37	12		
13	29	32	27	21	35	17	25	14	34	34		
14	32	28	31	30	36	28	33	35	36	37		
15	45	32	33	34	26	33	31	29	33	30		
16	35	27	23	44	25	29	34	28	37	28		
17	12	24	35	37	34	16	29	26	28	37		
18	24	31	26	34	27	41	30	25	30	29		
30	29	32	39	34	31	22	27	19	32	30		
20	24	32	28	21	24	35	35	38	25	31		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 34.**

*Distribución de frecuencias, ensayo 2*



**Tabla 9**

*Resultado de la rugosidad con MERLIN, calzada derecha - ensayo 02*



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

<b>PROYECTO:</b>	APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021				
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	2	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+400.00 al Km 0+800.00
<b>LONGITUD:</b>	3500.00 m	<b>FECHA:</b>	16/01/2021	<b>OPERADOR:</b>	
				<b>CALZADA:</b>	SUBIDA
				<b>AUXILIAR:</b>	

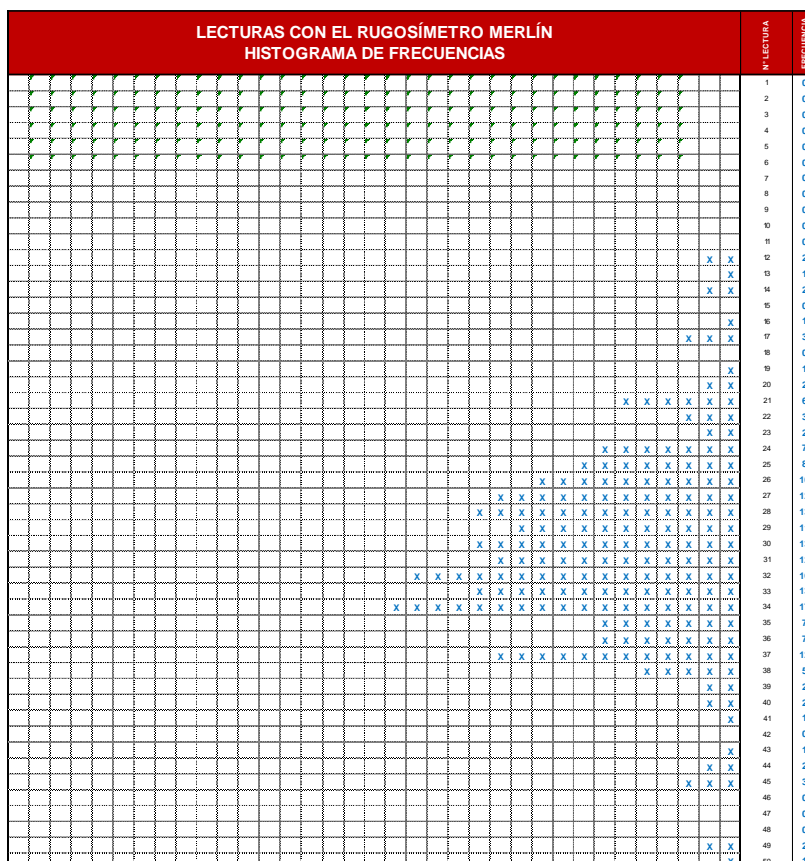
LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	27	34	28	30	40	32	39	34	27	36
2	33	33	30	26	24	29	37	28	38	32
3	24	28	26	29	50	37	34	33	21	29
4	17	28	37	32	27	26	32	31	43	26
5	33	32	30	28	38	32	17	32	20	26
6	37	30	34	25	38	29	22	27	25	36
7	40	31	30	45	34	32	34	30	31	26
8	28	26	33	33	38	34	27	36	45	44
9	31	34	23	28	37	27	25	27	37	30
10	27	33	33	32	21	34	21	31	13	14
11	49	34	29	35	24	49	36	31	20	30
12	33	31	37	22	21	32	25	36	37	12
13	29	32	27	21	35	17	25	14	34	34
14	32	28	31	30	36	28	33	35	36	37
15	45	32	33	34	26	33	31	29	33	30
16	35	27	23	44	25	29	34	28	37	28
17	12	24	35	37	34	16	29	26	28	37
18	24	31	26	34	27	41	30	25	30	29
19	29	32	39	34	31	22	27	19	32	30
20	24	32	28	21	24	35	35	38	25	31
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**FACTOR DE CORRECIÓN** F.C.= 0.73

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

RESULTADOS	
<b>Datos:</b>	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECIÓN:	0.73
<b>Resultado del IRI:</b>	
RANGO "D":	110.00 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	80.30 mm
<b>RUGOSIDAD IRI:</b>	<b>4.38 m/Km</b>
<b>Observaciones:</b>	



*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 10**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 03*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
 HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+800 al 0+1200                      **Nº DE ENSAYO:** 3

**CALZADA:** SUBIDA                                      **FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										<b>TIPO DE PAVIMENTO:</b>		
1	34	32	34	31	29	27	50	26	27	33	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	33	34	33	31	31	36	25	24	25	30	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	42	32	29	32	32	26	29	36	29	26	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	34	47	41	27	24	27	31	30	30	41	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	24	44	44	37	30	31	34	32	28	34	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	32	19	30	34	17	25	49	26	31	28	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	32	23	50	33	38	34	40	34	28	36	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	42	26	49	45	31	14	41	33	27	30	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	41	41	34	31	34	31	29	33	32	30	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	25	32	27	31	30	31	30	40	28	29		
11	32	36	28	23	34	28	31	28	30	29		
12	37	39	28	20	30	29	23	27	31	33		
13	28	34	25	42	33	28	31	27	40	32		
14	39	42	27	36	45	28	32	30	33	28		
15	25	22	29	26	38	44	28	33	26	39		
16	33	31	27	28	27	40	30	31	28	34		
17	37	37	34	30	29	41	31	40	14	33		
18	24	32	9	41	42	31	34	20	28	30		
19	29	28	32	29	23	36	33	34	34	26		
20	30	33	24	34	34	39	35	20	27	31		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 35.**  
*Distribución de frecuencias, ensayo*



Tabla 11

Resultados de la rugosidad con MERLIN, calzada derecha - ensayo 03



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b>	APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021				
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	3	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 0+800.00 al Km 1+200.00
<b>LONGITUD:</b>	3500.00 m	<b>FECHA:</b>	16/01/2021	<b>OPERADOR:</b>	
				<b>CALZADA:</b>	SUBIDA
				<b>AUXILIAR:</b>	

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN												
1	34	32	34	31	29	27	50	26	27	33		
2	33	34	33	31	31	36	25	24	25	30		
3	42	32	29	32	32	26	29	36	29	26		
4	34	47	41	27	24	27	31	30	30	41		
5	24	44	44	37	30	31	34	32	28	34		
6	32	19	30	34	17	25	49	26	31	28		
7	32	23	50	33	38	34	40	34	28	36		
8	42	26	49	45	31	14	41	33	27	30		
9	41	41	34	31	34	31	29	33	32	30		
10	25	32	27	31	30	31	30	40	28	29		
11	32	36	28	23	34	28	31	28	30	29		
12	37	39	28	20	30	29	23	27	31	33		
13	28	34	25	42	33	28	31	27	40	32		
14	39	42	27	36	45	28	32	30	33	28		
15	25	22	29	26	38	44	28	33	26	39		
16	33	31	27	28	27	40	30	31	28	34		
17	37	37	34	30	29	41	31	40	14	33		
18	24	32	9	41	42	31	34	20	28	30		
19	29	28	32	29	23	36	33	34	34	26		
20	30	33	24	34	34	39	35	20	27	31		

FACTOR DE CORRECIÓN F.C.= 0.73

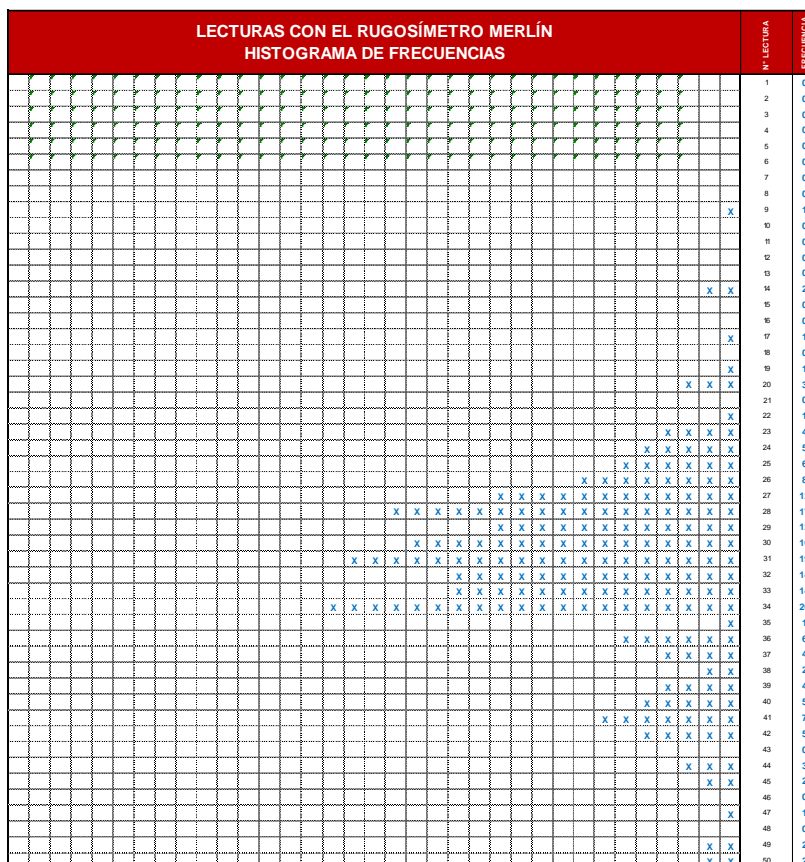
**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 IRI = 0.593 + 0.0471D      IRI = 0.0485D

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0.73

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 100.00 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 73.00 mm  
**RUGOSIDAD IRI: 4.03 m/Km**

Observaciones:



NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 04*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+1200 al 0+1600  
**CALZADA:** SUBIDA

**Nº DE ENSAYO:** 4  
**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:	
1	35	27	29	35	30	24	33	33	33	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	25	37	30	40	35	32	38	30	9	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	28	28	34	29	34	29	31	28	30	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	33	27	32	30	33	30	32	31	31	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	27	23	18	29	32	32	32	34	21	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	22	27	33	31	27	34	33	24	26	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	17	30	33	34	22	28	29	28	50	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	24	32	32	32	32	26	29	28	27	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	42	34	30	28	21	33	35	24	27	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	29	33	28	31	34	28	28	33	31		
11	25	29	30	30	34	37	36	29	22		
12	32	32	29	27	33	30	39	33	27		
13	25	40	41	31	28	27	33	28	31		
14	26	43	29	32	31	27	32	36	26		
15	33	33	29	30	27	32	25	34	38		
16	27	31	30	29	26	31	35	29	33		
17	26	30	25	34	31	42	30	33	26		
18	33	29	37	36	32	27	27	29	32		
19	30	28	20	37	40	31	24	30	27		
20	30	27	42	21	30	30	22	31	34		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 36.**

*Distribución de frecuencias, ensayo 4*



**Tabla 13**

*Resultados de la rugosidad con MERLIN, calzada derecha - ensayo 04*



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

<b>PROYECTO:</b>	APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021				
<b>TRAMO:</b>	I	<b>N° DE ENSAYO:</b>	4	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 1+200.00 al Km 1+600.00
<b>LONGITUD:</b>	3500.00 m	<b>FECHA:</b>	16/01/2021	<b>OPERADOR:</b>	
				<b>CALZADA:</b>	SUBIDA
				<b>AUXILIAR:</b>	

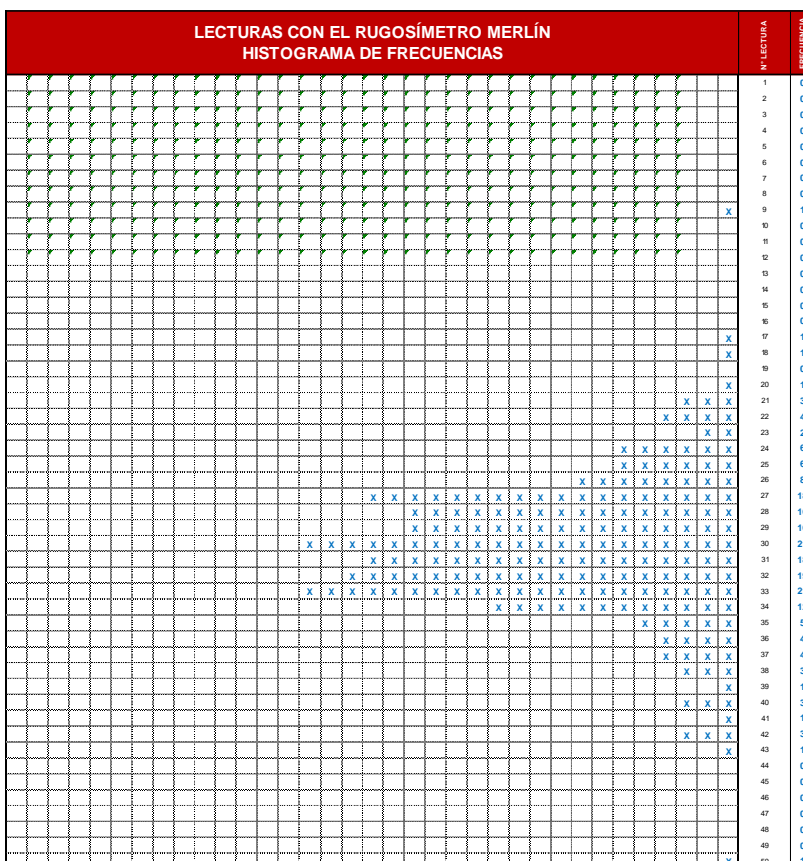
LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	35	27	29	35	30	24	33	33	33	33
2	25	37	30	40	35	32	38	30	9	28
3	28	28	34	29	34	29	31	28	30	31
4	33	27	32	30	33	30	32	31	31	32
5	27	23	18	29	32	32	32	34	21	28
6	22	27	33	31	27	34	33	24	26	32
7	17	30	33	34	22	28	29	28	50	28
8	24	32	32	32	26	29	28	27	25	
9	42	34	30	28	21	33	35	24	27	33
10	29	33	28	31	34	28	28	33	31	31
11	25	29	30	30	34	37	36	29	22	27
12	32	32	29	27	33	30	39	33	27	36
13	25	40	41	31	28	27	33	28	31	31
14	26	43	29	32	31	27	32	36	26	31
15	33	33	29	30	27	32	25	34	38	34
16	27	31	30	29	26	31	35	29	33	38
17	26	30	25	34	31	42	30	33	26	26
18	33	29	37	36	32	27	27	29	32	23
19	30	28	20	37	40	31	24	30	27	24
20	30	27	42	21	30	30	22	31	34	30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**FACTOR DE CORRECIÓN** F.C.= 0.73

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

RESULTADOS	
<b>Datos:</b>	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECIÓN:	0.73
<b>Resultado del IRI:</b>	
RANGO "D":	85.00 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	62.05 mm
<b>RUGOSIDAD IRI:</b>	<b>3.52 m/Km</b>
<b>Observaciones:</b>	



*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 14**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 05*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 1+600 al 2+000  
**CALZADA:** SUBIDA

**Nº DE ENSAYO:** 5  
**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	32	33	30	29	27	32	35	24	26	32	AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/> TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/> CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
2	37	34	28	32	36	41	32	30	35	36	
3	31	33	32	28	34	32	30	28	17	20	
4	36	34	33	36	28	31	32	29	33	27	
5	30	22	31	36	27	28	27	36	32	31	
6	36	26	32	31	31	29	32	34	27	33	
7	28	34	33	31	26	31	30	34	30	31	
8	30	32	37	36	36	32	29	29	28	26	
9	31	31	39	33	35	29	33	34	32	33	
10	35	29	40	33	26	35	29	38	27	27	
11	35	24	32	24	34	35	28	29	29	33	
12	31	35	26	25	30	27	28	32	26	33	
13	24	30	25	36	30	28	31	29	29	32	
14	33	33	31	34	28	30	34	39	32	22	
15	30	34	31	29	33	31	29	38	26	30	
16	29	27	35	27	25	30	36	33	33	30	
17	26	33	33	31	45	27	29	33	30	25	
18	31	27	43	29	49	32	20	36	35	28	
19	33	30	29	25	41	31	31	23	26	42	
20	34	41	30	35	36	40	50	28	32	29	

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 37.**

*Distribución de frecuencias, ensayo 5*





**Tabla 15**

*Resultados de la rugosidad con MERLIN, calzada derecha - ensayo 05*



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

<b>PROYECTO:</b> APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021	
<b>TRAMO:</b> I	<b>N° DE ENSAYO:</b> 5
<b>LONGITUD:</b> 3500.00 m	<b>FECHA:</b> 16/01/2021
<b>PROGRESIVA:</b> Km 1+600.00 al Km 2+000.00	<b>CALZADA:</b> SUBIDA
<b>OPERADOR:</b>	<b>AUXILIAR:</b>

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	32	33	30	29	27	32	35	24	26	32
2	37	34	28	32	36	41	32	30	35	36
3	31	33	32	28	34	32	30	28	17	20
4	36	34	33	36	28	31	32	29	33	27
5	30	22	31	36	27	28	27	36	32	31
6	36	26	32	31	31	29	32	34	27	33
7	28	34	33	31	26	31	30	34	30	31
8	30	32	37	36	36	32	29	29	28	26
9	31	31	39	33	35	29	33	34	32	33
10	35	29	40	33	26	35	29	38	27	27
11	35	24	32	24	34	35	28	29	29	33
12	31	35	26	25	30	27	28	32	26	33
13	24	30	25	36	30	28	31	29	29	32
14	33	33	31	34	28	30	34	39	32	22
15	30	34	31	29	33	31	29	38	26	30
16	29	27	35	27	25	30	36	33	33	30
17	26	33	33	31	45	27	29	33	30	25
18	31	27	43	29	49	32	20	36	35	28
19	33	30	29	25	41	31	31	23	26	42
20	34	41	30	35	36	40	50	28	32	29
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**FACTOR DE CORRECCIÓN** F.C.<sub>#</sub> = 0.73

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI=EXTREMO INFERIOR, CE=CENTRO ES=EXTREMO SUPERIOR

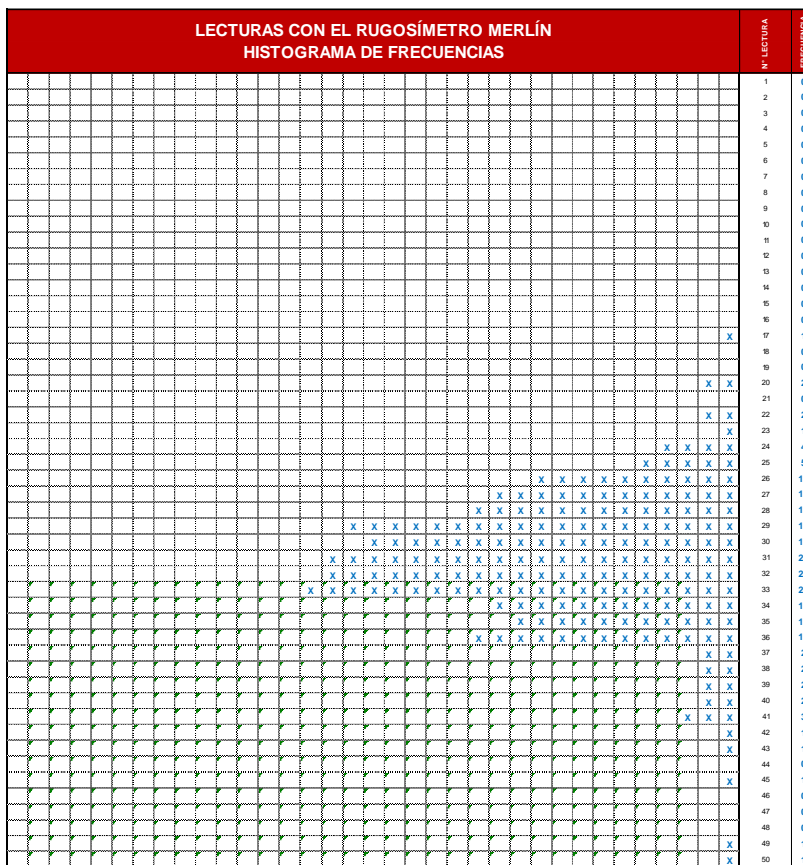
**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 IRI = 0.593 + 0.0471D      IRI = 0.0485D

**RESULTADOS**  
 Datos:  
 NÚMERO DE DATOS: 200.00  
 DATOS DESCARTADOS: 20.00  
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00  
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0.73

Resultado del IRI:  
 RANGO "D": 80.00 mm  
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 58.40 mm

**RUGOSIDAD IRI:** 3.34 m/Km

Observaciones:



*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 16**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 06*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 2+000 al 2+400  
**CALZADA:** SUBIDA

**Nº DE ENSAYO:** 6  
**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	33	38	33	32	28	30	31	27	34	29	AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/> TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/> CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
2	22	30	30	33	29	30	27	26	33	28	
3	50	29	8	31	33	38	29	30	27	29	
4	30	28	21	27	21	36	27	28	30	31	
5	29	29	29	32	28	25	30	25	30	28	
6	32	39	32	29	35	36	27	28	26	24	
7	38	26	31	27	15	36	32	42	27	31	
8	26	41	33	30	26	17	31	21	34	27	
9	31	30	25	27	31	50	32	36	37	24	
10	34	34	34	33	27	30	38	37	30	25	
11	34	35	31	30	21	36	40	40	26	39	
12	30	31	29	33	39	31	36	18	49	31	
13	32	29	23	27	31	29	27	20	36	37	
14	27	30	0	31	20	25	32	31	32	35	
15	30	34	21	31	37	30	34	38	50	28	
16	37	27	30	31	31	17	28	32	32	32	
17	34	27	39	33	30	33	34	31	32	30	
18	26	32	32	35	31	26	28	19	24	27	
30	28	32	24	30	27	28	30	28	31	41	
20	34	30	32	29	33	26	35	32	32	26	

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 38.**

*Distribución de frecuencias, ensayo*





**Tabla 18**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 07*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 2+400 al 2+800

**Nº DE ENSAYO:** 7

**CALZADA:** SUBIDA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:		
1	33	38	23	21	29	30	27	31	30	27	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	27	31	35	19	25	30	30	34	41	26	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	35	31	33	30	30	26	33	27	10	40	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	29	25	32	38	39	30	31	29	22	26	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	31	34	29	29	38	35	29	31	18	28	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	30	27	32	34	32	28	31	17	35	33	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	34	27	26	35	31	30	32	28	38	42	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	35	33	27	26	29	24	34	33	0	50	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	35	27	33	31	41	34	27	32	50	34	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	33	27	31	29	20	28	28	30	27	32		
11	33	28	31	32	36	38	34	31	31	30		
12	28	17	26	29	31	23	29	27	26	10		
13	30	16	30	34	32	30	33	30	31	36		
14	15	42	31	21	32	35	30	42	12	33		
15	33	33	40	31	28	32	24	50	19	33		
16	50	36	35	30	33	30	33	26	35	30		
17	45	26	31	29	30	31	30	37	30	30		
18	27	32	30	33	31	25	29	37	33	50		
19	34	27	44	28	29	29	28	38	50	30		
20	26	29	34	22	30	31	26	26	42	27		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 39**

*Distribución de frecuencias, ensayo 7*





**Tabla 20**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada derecha - ensayo 08*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 2+800 al 3+200

**Nº DE ENSAYO:** 8

**CALZADA** SUBIDA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	33	34	43	32	40	47	37	31	37	18	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	31	33	37	25	31	37	21	37	39	25	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	34	36	36	44	24	40	30	37	28	27	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	34	22	22	22	39	38	31	23	30	32	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	28	23	33	35	26	32	32	25	37	32	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	36	31	28	30	32	30	31	33	44	32	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	30	36	32	40	25	26	29	29	42	37	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	29	31	36	36	24	28	29	36	28	36	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	32	39	33	36	31	28	30	29	17	26	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	31	24	29	26	31	32	29	30	43	29		
11	31	30	33	39	28	28	30	33	29	29		
12	39	25	33	33	29	34	28	32	35	33		
13	29	45	36	15	21	18	27	26	26	36		
14	44	4	31	18	30	24	39	30	29	31		
15	32	28	20	29	34	33	27	33	31	34		
16	26	34	27	28	23	24	26	25	34	34		
17	32	30	32	26	27	27	36	29	36	27		
18	27	36	29	28	26	38	30	32	29	26		
30	36	27	36	24	22	34	43	30	22	29		
20	30	27	37	23	24	21	32	30	30	37		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 40**

*Distribución de frecuencias, ensayo 8*





**Tabla 22**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 01*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+000 al 0+400

**Nº DE ENSAYO:** 1

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:		
1	36	35	25	34	17	18	25	23	25	39	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	30	46	37	31	17	33	33	30	34	31	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	31	33	37	37	34	36	28	37	26	30	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	26	42	31	38	30	30	41	33	39	38	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	37	35	29	45	32	33	23	26	24	37	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	28	45	39	25	35	37	27	35	47	24	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	33	22	30	27	32	19	42	31	29	40	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	49	36	24	33	27	20	50	1	31	35	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	34	34	36	28	38	50	1	17	35	31	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	21	39	50	29	30	43	49	18	26	31		
11	28	39	30	28	41	21	32	36	48	19		
12	34	42	34	50	27	41	47	27	16	36		
13	24	30	31	19	44	42	34	27	38	22		
14	34	37	31	36	47	36	39	27	35	34		
15	22	32	42	35	21	25	15	44	33	50		
16	26	26	30	46	50	50	27	36	17	34		
17	35	30	34	32	22	24	37	37	34	27		
18	33	31	35	12	50	27	13	31	48	33		
19	35	24	33	28	24	35	42	37	27	42		
20	34	37	29	33	20	33	28	27	12	27		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 41.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 1*







**Tabla 24**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 02*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+400 al 0+800

**Nº DE ENSAYO:** 2

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																				
1	25	38	0	36	37	29	39	34	32	30	AFIRMADO <input type="checkbox"/>																		
2	33	29	6	34	31	30	29	30	22	31		BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>																	
3	20	50	35	27	34	26	30	30	35	33			BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>																
4	27	38	39	32	32	34	29	31	29	30				TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/>															
5	38	15	33	28	37	30	28	32	31	34					CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/>														
6	42	26	32	33	38	28	30	32	32	30						CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/>													
7	33	22	33	33	26	30	30	33	30	30							RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/>												
8	29	26	26	28	30	29	32	29	30	25								SELLO <input type="checkbox"/>											
9	37	37	35	26	29	32	32	30	31	31									OTROS <input type="checkbox"/>										
10	32	31	37	30	31	27	32	33	29	32																			
11	40	23	36	32	31	26	30	28	31	22																			
12	50	5	39	24	25	37	32	31	28	36																			
13	36	34	29	31	29	25	31	30	27	28																			
14	26	50	28	27	37	40	30	31	27	32																			
15	35	16	41	40	41	30	29	32	30	37																			
16	28	29	38	26	25	45	32	29	33	22																			
17	34	34	37	26	24	18	31	31	29	30																			
18	22	50	34	30	41	31	28	32	29	29																			
30	22	1	39	30	34	24	29	32	29	32																			
20	23	29	34	28	29	27	30	31	20	30																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																			

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 42.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 2*





**Tabla 26**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 03*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
 HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+800 al 0+1200      **Nº DE ENSAYO:** 3

**CALZADA:** BAJADA      **FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:	
1	33	30	35	29	27	32	34	32	24	28	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	27	39	33	31	30	39	32	33	30	35	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	33	39	30	32	30	27	32	32	27	29	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	31	24	31	40	29	33	31	38	29	29	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	31	30	33	30	29	38	36	43	25	38	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	40	28	31	31	33	29	30	30	28	28	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	33	28	34	30	26	31	23	32	31	27	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	37	31	30	32	34	34	37	29	43	37	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	30	28	31	32	35	27	37	37	40	30	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	37	30	36	32	33	23	35	1	34	26		
11	34	33	1	31	28	30	32	32	30	26		
12	30	35	18	31	31	34	20	30	31	25		
13	31	35	31	30	36	31	32	39	28	35		
14	30	29	39	36	36	31	34	35	26	26		
15	20	34	35	28	36	35	29	32	33	36		
16	26	33	35	32	32	32	36	31	28	30		
17	32	36	33	28	34	30	28	35	29	25		
18	32	28	32	20	29	31	35	30	31	21		
19	34	33	31	30	20	29	31	29	36	24		
20	30	33	34	31	30	21	39	40	35	44		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 43.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 3*





**Tabla 28**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 04*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+1200 al 0+1600

**Nº DE ENSAYO:** 4

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
1	18	36	25	28	37	50	29	14	34	29	AFIRMADO <input type="checkbox"/>									
2	41	32	24	39	26	32	29	31	32	30		BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>								
3	29	24	9	37	34	31	32	33	28	27			BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>							
4	37	32	13	28	30	31	35	34	32	36				TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/>						
5	39	38	34	25	38	27	31	28	33	32					CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/>					
6	40	28	31	23	39	39	36	28	43	29						CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/>				
7	30	37	31	40	25	22	33	30	33	27							RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/>			
8	34	30	27	36	11	29	27	30	25	32								SELLO <input type="checkbox"/>		
9	32	27	28	20	31	28	37	37	33	30									OTROS <input type="checkbox"/>	
10	30	35	31	50	24	24	38	25	16	27										
11	39	31	37	30	33	32	24	30	8	33										
12	36	30	32	27	32	13	30	36	23	34										
13	30	36	27	29	30	15	29	35	32	32										
14	28	27	23	34	30	37	35	29	30	49										
15	39	31	32	29	29	32	27	31	25	18										
16	24	34	29	33	33	38	29	33	28	22										
17	25	27	44	22	37	32	31	32	31	23										
18	23	27	27	29	28	35	28	34	28	32										
19	28	31	30	42	31	31	30	30	30	38										
20	37	33	36	25	29	30	32	28	27	38										

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 44.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 4*



Tabla 29

Resultados de la rugosidad con MERLIN, calzada izquierda - ensayo 04



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

PROYECTO:	APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021						
TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	4	PROGRESIVA:	Km 1+200.00 al Km 1+600.00	CALZADA:	BAJADA
LONGITUD:	3500.00 m	FECHA:	16/01/2021	OPERADOR:		AUXILIAR:	

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN		LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN		N° LECTURA	FRECUENCIA					
1	2	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS								
18	36	25	28	37	50	29	14	34	29	0
41	32	24	39	26	32	29	31	32	30	0
29	24	9	37	34	31	32	33	28	27	0
37	32	13	28	30	31	35	34	32	36	0
39	38	34	25	38	27	31	28	33	32	0
40	28	31	23	39	39	36	28	43	29	0
30	37	31	40	25	22	33	30	33	27	0
34	30	27	36	11	29	27	30	25	32	0
32	27	28	20	31	28	37	37	33	30	0
30	35	31	50	24	24	38	25	16	27	0
39	31	37	30	33	32	24	30	8	33	1
36	30	32	27	32	13	30	36	23	34	1
30	36	27	29	30	15	29	35	32	32	0
28	27	23	34	30	37	35	29	30	49	0
39	31	32	29	29	32	27	31	25	18	2
24	34	29	33	33	38	29	33	28	22	1
25	27	44	22	37	32	31	32	31	23	1
23	27	27	29	28	35	28	34	28	32	0
28	31	30	42	31	31	30	30	30	38	0
37	33	36	25	29	30	32	28	27	38	2

FACTOR DE CORRECIÓN	F.C.= 0.86
---------------------	------------

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"	
D = (Ei + CE + ES) x 5 mm	
Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.	
Ei = EXTREMO INFERIOR. CE = CENTRO. ES = EXTREMO SUPERIOR.	

CÁLCULO DEL "IRI"	
D > 40 mm	D < 40 mm
IRI = 0.593 + 0.0471D	IRI = 0.0485D

RESULTADOS	
Datos:	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECIÓN:	0.86
Resultado del IRI:	
RANGO "D":	99.17 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	85.28 mm
RUGOSIDAD IRI:	4.61 m/Km
Observaciones:	

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 30**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 05*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 1+600 al 2+000

**Nº DE ENSAYO:** 5

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										TIPO DE PAVIMENTO:		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	31	29	25	40	29	35	29	29	20	27	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	35	32	26	31	29	28	23	26	27	32	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	36	31	27	30	32	31	34	32	31	26	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	38	28	50	28	32	26	31	10	28	34	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	33	30	24	29	33	27	29	31	31	31	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	36	32	50	26	29	31	34	30	31	28	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	30	31	42	24	35	29	31	37	41	27	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	26	31	26	35	34	31	32	34	23	36	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	24	32	36	29	31	31	31	30	31	32	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	28	27	34	32	30	33	34	24	36	31		
11	36	27	31	29	29	29	36	35	29	34		
12	45	23	29	35	33	22	32	35	32	38		
13	22	22	28	25	8	33	31	26	33	30		
14	26	28	30	27	34	43	33	31	37	32		
15	30	25	35	32	41	31	26	29	30	33		
16	38	30	29	31	32	29	36	30	21	5		
17	33	32	34	32	42	37	21	39	1	46		
18	30	37	38	30	31	38	38	30	23	47		
19	33	32	31	33	41	15	34	32	36	45		
20	24	25	30	31	30	40	36	38	22	33		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 45.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 5*







**Tabla 32**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 06*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 2+000 al 2+400  
**CALZADA:** BAJADA

**Nº DE ENSAYO:** 6  
**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:	
1	29	21	33	34	34	45	32	33	28	26	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	23	28	28	29	44	24	29	23	35	31	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	12	17	29	36	35	34	33	22	37	31	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	23	44	33	32	31	25	33	30	39	21	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	32	29	28	38	34	33	27	28	28	37	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	31	32	29	32	36	32	36	33	28	42	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	28	27	14	33	33	27	34	38	41	26	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	31	36	26	33	35	33	34	26	12	42	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	33	37	23	35	30	30	29	35	27	28	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	29	28	29	24	34	38	31	30	29	42		
11	35	36	28	30	24	46	29	30	29	32		
12	32	23	36	33	27	34	21	31	43	25		
13	28	41	21	33	35	29	38	30	34	28		
14	33	31	32	16	36	27	28	27	24	38		
15	21	33	40	33	36	35	31	34	26	37		
16	32	37	35	36	25	33	24	26	34	24		
17	36	21	28	21	26	35	31	33	31	34		
18	35	31	27	26	31	29	37	26	32	29		
30	26	30	43	38	31	23	31	35	27	36		
20	29	29	27	29	32	44	32	36	21	38		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 46.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 6*





**Tabla 34**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 07*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 2+400 al 2+800

**Nº DE ENSAYO:** 7

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:	
1	21	30	29	36	27	27	28	27	35	31	AFIRMADO	<input type="checkbox"/>
2	36	27	35	25	30	27	29	29	30	33	BASE GRANULAR	<input type="checkbox"/>
3	45	40	28	32	38	29	29	42	37	16	BASE IMPRIMADA	<input type="checkbox"/>
4	28	28	36	26	29	30	33	33	32	25	TRAT. EN CAPA	<input type="checkbox"/>
5	35	0	38	28	13	26	26	29	50	31	CARPETA EN FRIO	<input checked="" type="checkbox"/>
6	36	0	31	31	41	30	28	34	24	28	CARPETA EN CALIENTE	<input type="checkbox"/>
7	50	32	34	24	32	31	30	33	25	29	RECAPEO ASFÁLTICO	<input type="checkbox"/>
8	17	50	46	32	30	31	25	32	33	34	SELLO	<input type="checkbox"/>
9	28	25	39	44	26	32	30	33	28	26	OTROS	<input type="checkbox"/>
10	22	37	29	34	38	30	31	37	24	21		
11	24	34	27	25	40	28	33	27	34	28		
12	30	45	28	28	28	33	33	27	30	29		
13	50	19	37	34	36	34	29	22	36	44		
14	22	32	35	32	43	23	26	22	33	25		
15	28	25	28	39	40	25	50	21	27	37		
16	27	25	44	30	30	30	31	32	26	46		
17	32	37	26	28	32	28	38	28	29	33		
18	40	28	30	26	30	37	25	30	23	32		
19	34	33	34	28	38	32	31	34	34	19		
20	37	23	50	28	37	39	26	27	22	41		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 47.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 7*





**Tabla 36**

*Datos de campo para medición de la rugosidad, calzada izquierda - ensayo 08*

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 2+800 al 3+200

**Nº DE ENSAYO:** 8

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN											TIPO DE PAVIMENTO:
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	35	23	19	31	13	34	36	38	31	37	AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/> TRAT. EN CAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input checked="" type="checkbox"/> CARPETA EN CALIENTE <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
2	24	12	28	31	16	46	33	40	28	34	
3	33	5	37	23	20	39	27	28	29	30	
4	31	31	39	32	25	29	26	36	34	31	
5	36	31	31	35	28	27	29	43	26	30	
6	38	31	30	39	31	28	23	40	21	20	
7	45	30	30	45	34	37	31	30	28	26	
8	37	33	50	42	16	35	17	32	29	32	
9	23	36	50	43	23	28	44	30	44	32	
10	32	33	46	46	35	27	29	38	25	34	
11	32	38	42	35	50	22	32	24	37	30	
12	33	40	44	37	31	22	27	30	46	36	
13	36	43	33	29	33	21	36	29	29	22	
14	39	48	33	30	36	32	37	35	37	34	
15	40	46	33	34	39	28	28	27	41	50	
16	45	32	38	20	33	30	36	29	25	34	
17	32	23	39	1	31	23	23	31	24	27	
18	31	35	33	1	31	25	41	28	41	33	
30	29	36	31	8	33	31	31	30	34	42	
20	27	30	31	10	29	29	30	32	29	30	

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 48.**

*Distribución de frecuencias, calzada izquierda; ensayo 8*



**Tabla 37**

*Resultados de la rugosidad con MERLIN, calzada izquierda - ensayo 08*



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

<b>PROYECTO:</b>	APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021				
<b>TRAMO:</b>	II	<b>N° DE ENSAYO:</b>	8	<b>PROGRESIVA:</b>	Km 2+800.00 al Km 3+200.00
<b>LONGITUD:</b>	3500.00 m	<b>FECHA:</b>	16/01/2021	<b>OPERADOR:</b>	
				<b>CALZADA:</b>	BAJADA
				<b>AUXILIAR:</b>	

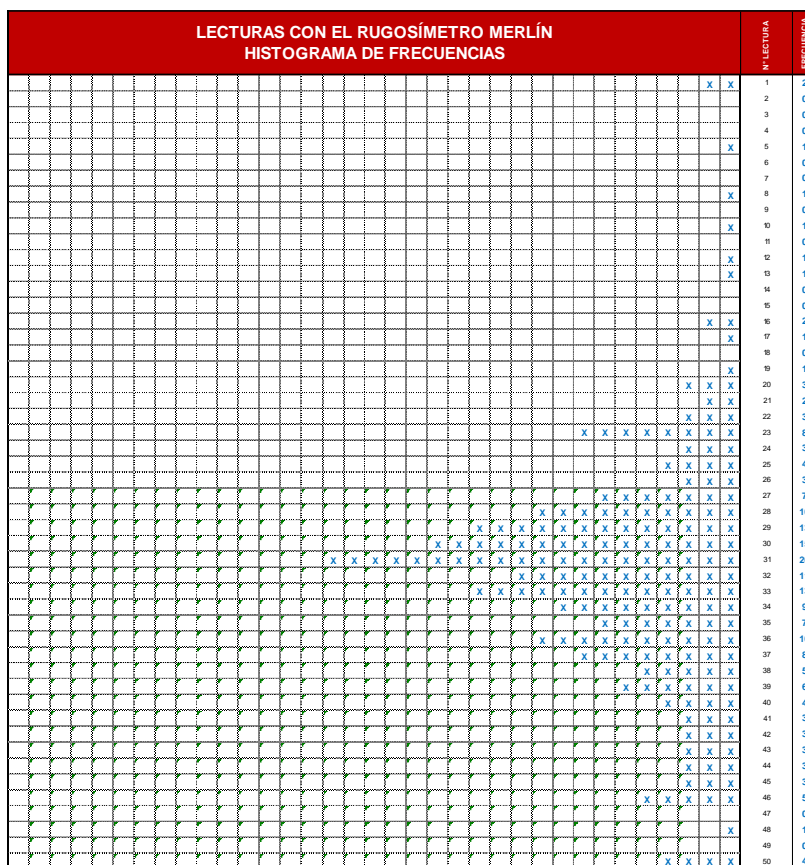
LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	35	23	19	31	13	34	36	38	31	37
2	24	12	28	31	16	46	33	40	28	34
3	33	5	37	23	20	39	27	28	29	30
4	31	31	39	32	25	29	26	36	34	31
5	36	31	31	35	28	27	29	43	26	30
6	38	31	30	39	31	28	23	40	21	20
7	45	30	30	45	34	37	31	30	28	26
8	37	33	50	42	16	35	17	32	29	32
9	23	36	50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

**FACTOR DE CORRECIÓN** F.C.= 0.86

**CÁLCULO DEL VALOR DE "D"**  
 $D = -(EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$   
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.  
 EI = EXTREMO INFERIOR CE = CENTRO ES = EXTREMO SUPERIOR

**CÁLCULO DEL "IRI"**  
 $D > 40 \text{ mm}$        $D < 40 \text{ mm}$   
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$        $IRI = 0.0485D$

RESULTADOS	
<b>Datos:</b>	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECIÓN:	0.86
<b>Resultado del IRI:</b>	
RANGO "D":	140.00 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	120.40 mm
<b>RUGOSIDAD IRI:</b>	<b>6.26 m/Km</b>
<b>Observaciones:</b>	



*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

## 4.2 Calculo de la rugosidad utilizando el aplicativo ABAKAL IRI.

### 4.2.1 Datos importados del aplicativo ABAKAL IRI

**Tabla 38**

*Datos IRI de la Av. Internacional utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, evaluados cada 100m. CALZADA DERECHA*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI
-17.993183	-70.250577	632.34	43.76	0	4.68
-17.992316	-70.25006	636.54	52.81	100	5.27
-17.99154	-70.249557	638.82	49.26	200	4.92
-17.990853	-70.248862	641.02	49.53	300	4.61
-17.990223	-70.248138	644.37	55.69	400	5.52
-17.98957	-70.247371	647.68	55.58	500	4.34
-17.988978	-70.246558	650.89	55.05	600	4.77
-17.988511	-70.245662	655.82	55.91	700	4.44
-17.988045	-70.244763	660.49	55.67	800	4.63
-17.987529	-70.243873	665.81	56.33	900	4.45
-17.986985	-70.243034	669.89	55.62	1,000.00	4.26
-17.986442	-70.242187	673.51	55.95	1,100.00	4.35
-17.985885	-70.241354	676.83	54.58	1,200.00	4.52
-17.985365	-70.24055	681.6	52.53	1,300.00	4.57
-17.984829	-70.239747	686.47	54.1	1,400.00	4.13
-17.984292	-70.238939	691.07	53.87	1,500.00	3.96
-17.983747	-70.23812	694.1	54.78	1,600.00	3.57
-17.98318	-70.237296	698.63	55.77	1,700.00	3.49
-17.982616	-70.236476	703.76	55.18	1,800.00	4.2
-17.982064	-70.235675	708.05	51.79	1,900.00	3.75
-17.981465	-70.234799	713.5	51.06	2,000.00	3.71
-17.980936	-70.234021	718.54	37	2,100.00	3.77
-17.980418	-70.233245	723.56	44.1	2,200.00	4.07
-17.979869	-70.232408	728.76	50.07	2,300.00	3.38
-17.979322	-70.231591	734	32.29	2,400.00	5.49
-17.978802	-70.230796	738.79	46.11	2,500.00	4.78
-17.978241	-70.229955	742.78	49.72	2,600.00	4.93
-17.977717	-70.229172	746.22	43.02	2,700.00	5.34
-17.977186	-70.228363	749.5	44.25	2,800.00	5.77
-17.976622	-70.227496	752.48	51.11	2,900.00	5.09
-17.976919	-70.227524	754.27	52.28	3,000.00	5.45
-17.977427	-70.228712	757.54	50.74	3,100.00	5.57
-17.976784	-70.227897	758.78	51.17	3,200.00	5.29

*Nota. Fuente: Aplicativo ABAKAL IRI*



**Tabla 39**

*Datos IRI de la Av. Internacional utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, evaluados cada 100m. CALZADA IZQUIERDA*

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI
-17.976779	-70.227892	754.39	38.47	0	3.38
-17.977291	-70.22868	750.95	39.59	100	4.3
-17.977819	-70.229466	747.6	40.93	200	4.82
-17.978354	-70.230291	744.14	44.21	300	4.41
-17.978875	-70.231085	739.71	46.74	400	4.42
-17.979443	-70.231964	735.08	42.9	500	4.54
-17.980032	-70.232814	729.52	47.68	600	4.62
-17.980587	-70.233647	724.81	48.52	700	4.56
-17.98117	-70.234514	719.58	46.53	800	4.58
-17.981725	-70.235324	714.32	49.58	900	4.52
-17.982284	-70.236153	709.5	46.55	1,000.00	4.16
-17.982837	-70.23698	705.28	49.56	1,100.00	4.23
-17.983403	-70.237844	700.18	50.16	1,200.00	3.58
-17.983986	-70.238717	695.43	51.13	1,300.00	3.68
-17.984548	-70.239536	691.82	45.68	1,400.00	4.54
-17.985086	-70.240342	686.95	47.61	1,500.00	3.78
-17.98563	-70.241164	683.1	41.2	1,600.00	4.57
-17.986178	-70.242003	678.96	51.6	1,700.00	3.89
-17.986762	-70.242891	674.33	51.43	1,800.00	4.22
-17.987276	-70.243686	669.44	52.96	1,900.00	4.75
-17.987786	-70.244518	664.2	54.67	2,000.00	3.93
-17.988266	-70.245438	658.61	49.53	2,100.00	4.77
-17.988721	-70.246343	653.74	32.26	2,200.00	4.56
-17.989248	-70.247113	650.02	41.64	2,300.00	3.86
-17.989862	-70.247855	646.59	48.88	2,400.00	5.38
-17.990541	-70.248625	642.51	49.55	2,500.00	4.88
-17.991161	-70.249336	639.09	40.68	2,600.00	4.98
-17.991965	-70.249913	636.13	44.6	2,700.00	4.69
-17.992842	-70.250447	632.42	44.66	2,800.00	4.27
-17.993621	-70.250922	628.81	45.78	2,900.00	4.42
-17.993714	-70.251224	629.12	47.27	3,000.00	4.46
-17.993421	-70.251922	631.84	51.32	3,100.00	4.74
-17.993272	-70.252127	634.27	52.84	3,200.00	4.57

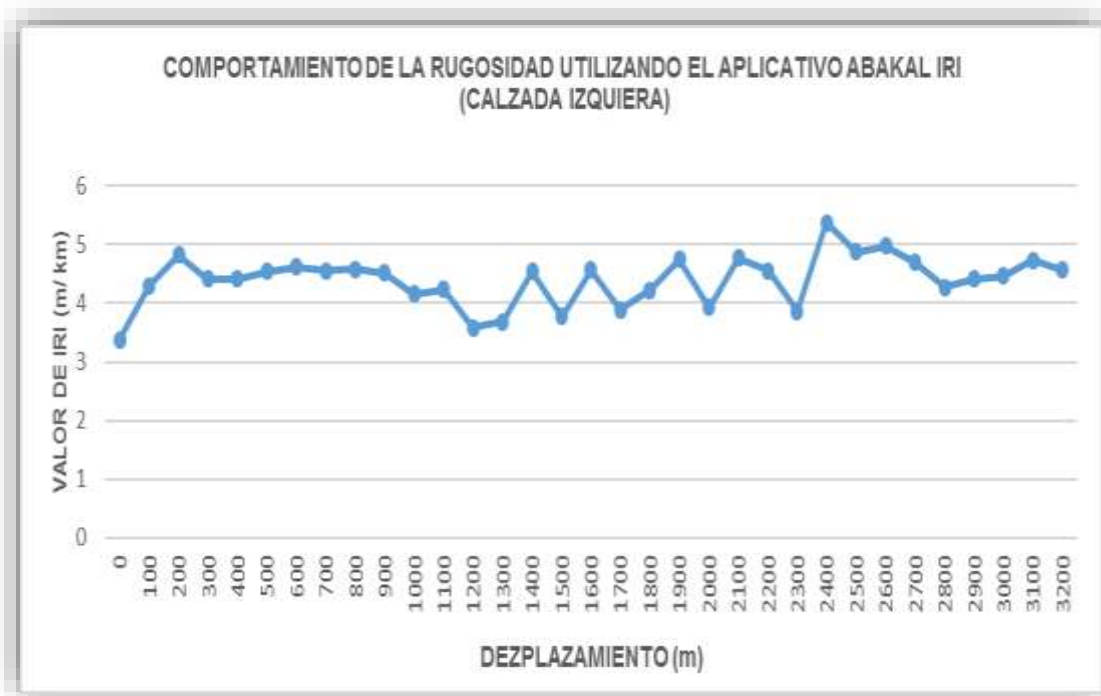
*Nota. Fuente: Aplicativo ABAKAL IRI*

**Figura 49.**

*Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. Calzada Derecha*

**Figura 50.**

*Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. Calzada Izquierda*

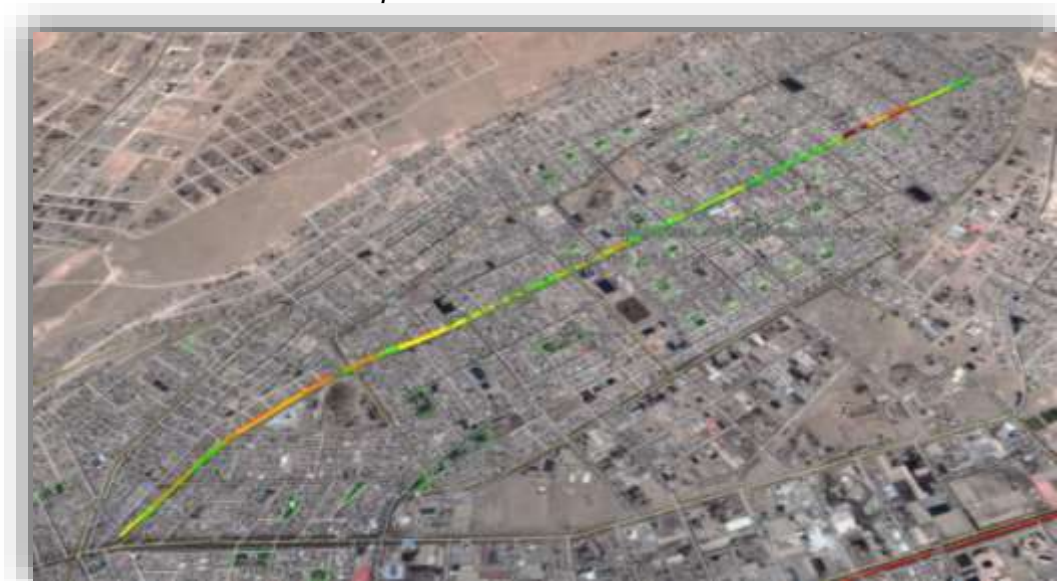


En los datos mostrados en los gráficos se ve que los valores del IRI tienen una tendencia variada, los cuales fueron evaluados a cada 100 m. obteniendo resultados aproximados, unos entre otros. Para la presente tesis los datos de campo fueron realizados a velocidades de entre 40 – 50 km/h, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, para finalmente realizar un comparativo entre los datos del Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI.

#### 4.2.2 IMAGEN IMPORTADA DEL APLICATIVO ABAKAL IRI

**Figura 51.**

*Evaluación cada 100 m. aplicativo ABAKAL IRI CALZADA DERECHA*



**Figura 52.**

*Evaluación cada 100 m. aplicativo ABAKAL IRI CALZADA IZQUIERDA*



## CAPITULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA RUGOSIDAD OBTENIDOS CON EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN

La evaluación realizada con el Rugosímetro de MERLIN en la Av. Internacional, obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 40**

*Cuadro resumen de la rugosidad obtenida con el Rugosímetro de MERLIN*

CALZADA DERECHA		CALZADA IZQUIERDA	
PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)
0+000 al 0+400	4.83	0+000 al 0+400	7.07
0+400 al 0+800	4.38	0+400 al 0+800	4.37
0+800 al 1+200	4.03	0+800 al 1+200	3.93
1+200 al 1+600	3.52	1+200 al 1+600	4.61
1+600 al 2+000	3.34	1+600 al 2+000	4.58
2+000 al 2+400	3.82	2+000 al 2+400	4.85
2+400 al 2+800	4.63	2+400 al 2+800	5.45
2+800 al 3+200	3.97	2+800 al 3+200	6.26
PROMEDIO	<b>4.07</b>	PROMEDIO	<b>5.14</b>

*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

Para la calificación del estado del pavimento en la avenida Internacional, se obtiene los valores promedio de la calzada de subida y bajada, los cuales fueron, Calzada derecha, IRI promedio igual a 4.07 m/km, calzada izquierda, IRI promedio igual a 5.14 m/km. Con los valores determinados en los ensayos realizados con el Rugosímetro de MERLIN, se obtiene un valor del IRI promedio de las calzadas derecha e izquierda, igual a 4.61 m/km; cuyo resultado nos permite calificar el estado del pavimento en toda la longitud de la avenida Internacional comprendida desde distrito Alto de la Alianza hasta el distrito Ciudad Nueva.

##### 5.1.1 Clasificación del estado del pavimento de acuerdo al valor de IRI obtenido con el rugosímetro de Merlín.

En algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional IRI para

definir el instante en el cual se debe implementar la intervención de conservación periódica. Para el Perú se han fijado los valores de IRI que se muestran en el Cuadro siguiente:

**Tabla 41:**

*Valores para determinar el estado vial en Perú*

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

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

De acuerdo al IRI promedio de 4.61 m/km, obtenido con la aplicación del Rugosímetro de MERLIN para toda la avenida internacional, se procedió a hacer la clasificación del estado del pavimento flexible, con la ayuda de la tabla 42, observamos que para dicho valor el estado del pavimento se ubica en el rango de MALO. Los valores de rugosidad por cada progresiva se muestran a continuación.

**Tabla 42:**

*Resultados del estado del pavimento utilizando el Rugosímetro de MERLIN*

CALZADA SUBIDA			CALZADA BAJADA		
PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	ESTADO DEL PAVIMENTO	PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	ESTADO DEL PAVIMENTO
0+000 al 0+400	4.83	Malo	0+000 al 0+400	7.07	Malo
0+400 al 0+800	4.38	Regular	0+400 al 0+800	4.37	Regular
0+800 al 1+200	4.03	Regular	0+800 al 1+200	3.93	Regular
1+200 al 1+600	3.52	Regular	1+200 al 1+600	4.61	Malo
1+600 al 2+000	3.34	Regular	1+600 al 2+000	4.58	Malo
2+000 al 2+400	3.82	Regular	2+000 al 2+400	4.85	Malo
2+400 al 2+800	4.63	Malo	2+400 al 2+800	5.45	Malo
2+800 al 3+200	3.97	Regular	2+800 al 3+200	6.26	Malo
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.07</b>	Regular	<b>PROMEDIO</b>	<b>5.14</b>	Malo

*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

## 5.2 comparación de la rugosidad obtenida con el rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI

Para realizar la comparación, agrupamos los valores de IR obtenidos con el aplicativo ABAKAL IRI en tramos de 400 metros, ya que los valores calculados con el Rugosímetro de MERLIN fueron a cada 400metros.

**Tabla 43:**

*Promedio de valores de IRI cada 400m, utilizando el aplicativo ABAKAL IRI*

CALZADA DERECHA (SUBIDA)				CALZADA IZQUIERDA (BAJADA)			
DISTANCIAS	VELOCIDAD (km/h)	IRI (m/km)	IRI PROMEDIO (m/km)	DISTANCIAS	VELOCIDAD (km/h)	IRI (m/km)	IRI PROMEDIO (m/km)
0	43.76	<b>4.68</b>		0	38.47	<b>3.38</b>	
100	52.81	<b>5.27</b>		100	39.59	<b>4.3</b>	
200	49.26	<b>4.92</b>	5.08	200	40.93	<b>4.82</b>	4.49
300	49.53	<b>4.61</b>		300	44.21	<b>4.41</b>	
400	55.69	<b>5.52</b>		400	46.74	<b>4.42</b>	
500	55.58	<b>4.34</b>		500	42.9	<b>4.54</b>	
600	55.05	<b>4.77</b>	4.55	600	47.68	<b>4.62</b>	4.58
700	55.91	<b>4.44</b>		700	48.52	<b>4.56</b>	
800	55.67	<b>4.63</b>		800	46.53	<b>4.58</b>	
900	56.33	<b>4.45</b>		900	49.58	<b>4.52</b>	
1000	55.62	<b>4.26</b>	4.40	1000	46.55	<b>4.16</b>	4.12
1100	55.95	<b>4.35</b>		1100	49.56	<b>4.23</b>	
1200	54.58	<b>4.52</b>		1200	50.16	<b>3.58</b>	
1300	52.53	<b>4.57</b>		1300	51.13	<b>3.68</b>	
1400	54.1	<b>4.13</b>	4.06	1400	45.68	<b>4.54</b>	4.14
1500	53.87	<b>3.96</b>		1500	47.61	<b>3.78</b>	
1600	54.78	<b>3.57</b>		1600	41.2	<b>4.57</b>	
1700	55.77	<b>3.49</b>		1700	51.6	<b>3.89</b>	
1800	55.18	<b>4.2</b>	3.79	1800	51.43	<b>4.22</b>	4.20
1900	51.79	<b>3.75</b>		1900	52.96	<b>4.75</b>	
2000	51.06	<b>3.71</b>		2000	54.67	<b>3.93</b>	
2100	37	<b>3.77</b>		2100	49.53	<b>4.77</b>	
2200	44.1	<b>4.07</b>	4.18	2200	32.26	<b>4.56</b>	4.64
2300	50.07	<b>3.38</b>		2300	41.64	<b>3.86</b>	
2400	32.29	<b>5.49</b>		2400	48.88	<b>5.38</b>	
2500	46.11	<b>4.78</b>		2500	49.55	<b>4.88</b>	
2600	49.72	<b>4.93</b>	5.21	2600	40.68	<b>4.98</b>	4.71
2700	43.02	<b>5.34</b>		2700	44.6	<b>4.69</b>	
2800	44.25	<b>5.77</b>		2800	44.66	<b>4.27</b>	
2900	49.14	<b>5.34</b>		2900	45.78	<b>4.42</b>	
3000	52.28	5.65	5.46	3000	47.27	4.74	4.60
3100	50.74	5.57		3100	51.32	4.87	
3200	51.17	5.29		3200	52.84	4.37	
<b>PROMEDIO</b>	<b>50.97</b>		<b>4.59</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>46.82</b>		<b>4.43</b>

NOTA. Fuente: Elaboración Propia

Luego calculamos el porcentaje de similitud entre ambas metodologías, las cuales se muestran a continuación.

**Tabla 44**

*Comparativo de porcentaje de similitudes IRI con ambas metodologías*

CALZADA DERECHA			CALZADA IZQUIERDA		
PROGRESIVA	IRI (m/km)		PROGRESIVA	IRI (m/km)	
	RUGOSÍMETRO DE MERLIN	APLICATIVO ABAKAL IRI		RUGOSÍMETRO DE MERLIN	APLICATIVO ABAKAL IRI
0+000 al 0+400	4.83	5.08	0+000 al 0+400	7.07	4.49
0+400 al 0+800	4.38	4.55	0+400 al 0+800	4.37	4.58
0+800 al 1+200	4.03	4.40	0+800 al 1+200	3.93	4.12
1+200 al 1+600	3.52	4.06	1+200 al 1+600	4.61	4.14
1+600 al 2+000	3.34	3.79	1+600 al 2+000	4.58	4.20
2+000 al 2+400	3.82	4.18	2+000 al 2+400	4.85	4.64
2+400 al 2+800	4.63	5.21	2+400 al 2+800	5.45	4.71
2+800 al 3+200	3.97	5.46	2+800 al 3+200	6.26	4.60
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.07</b>	<b>4.59</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>5.14</b>	<b>4.43</b>
<b>% DE SIMILITUD</b>	<b>88.67</b>		<b>% DE SIMILITUD</b>	<b>86.19</b>	

*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

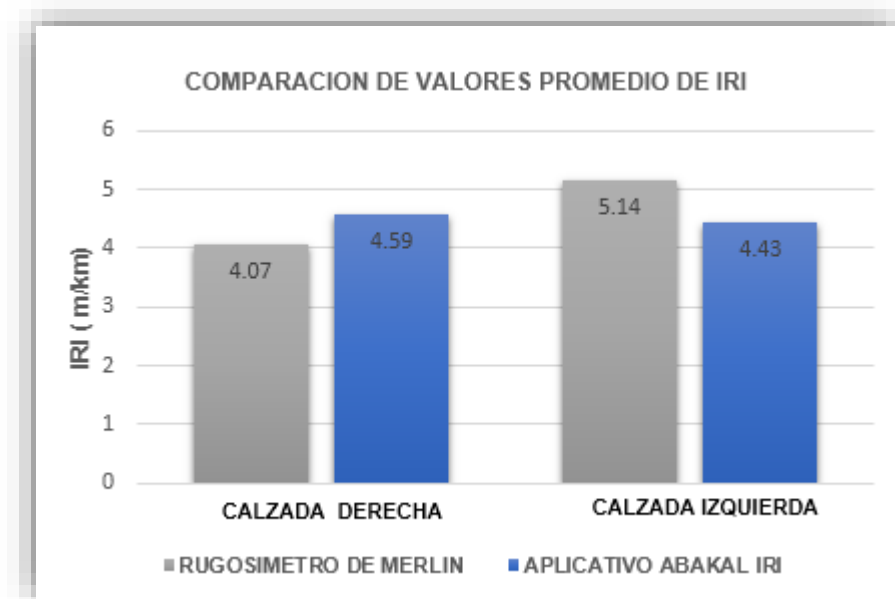
De la tabla 44; se puede apreciar la similitud promedio de los valores de rugosidad que existe entre ambas metodologías, el cual fue de 88.67% para la calzada derecha y 86.19% para la calzada izquierda.

Observamos que, si bien en la calzada derecha las similitudes entre los valores de IRI entre el Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI, se aproximan bastante, en la calzada izquierda tienden mínimamente a diferir.

Del mismo modo promediando ambos resultados de IRI, se determina una similitud del 87.43% de los valores de la aplicación ABAKAL IRI con respecto los obtenidos con el Rugosímetro de MERLIN, para toda la avenida internacional.

**Figura 53**

Comparativo de resultados IRI, R. DE MERLIN y ABAKAL IRI



### 5.3 Análisis de la serviciabilidad obtenida con el rugosímetro de Merlín y el aplicativo ABAKAL IRI.

Con el resultado del IRI promedio obtenido con el Rugosímetro de MERLIN y luego calificar el estado del pavimento flexible, procedemos a definir la serviciabilidad utilizando la fórmula de Williams Paterson.

$$PSI = \frac{5}{e^{5.5 \cdot IRI}}$$

Para la clasificación de la serviciabilidad del pavimento consideramos los siguientes valores de acuerdo al PSI

**Tabla 45**

*Calificación de la serviciabilidad*

Índice de Serviciabilidad(PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

NOTA. Fuente: Guía AASHTO



Debido a que se tienen los IRI tanto de la aplicación ABAKAL IRI y del Rugosímetro de MERLIN; entonces se determinó los PSI con ambos valores para observar su clasificación. La siguiente tabla muestra los valores del PSI calculados con el Rugosímetro de MERLIN, en función del IRI y la clasificación de su transitabilidad.

**Tabla 46**

*Resultados de serviciabilidad utilizando el Rugosímetro de MERLIN*

CALZADA DERECHA				CALZADA IZQUIERDA			
PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	PSI	CALIFICACION	PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	PSI	CALIFICACION
0+000 al 0+400	4.83	2.08	<b>Regular</b>	0+000 al 0+400	7.07	1.38	<b>mala</b>
0+400 al 0+800	4.38	2.25	<b>Regular</b>	0+400 al 0+800	4.37	2.26	<b>Regular</b>
0+800 al 1+200	4.03	2.40	<b>Regular</b>	0+800 al 1+200	3.93	2.45	<b>Regular</b>
1+200 al 1+600	3.52	2.64	<b>Regular</b>	1+200 al 1+600	4.61	2.16	<b>Regular</b>
1+600 al 2+000	3.34	2.72	<b>Regular</b>	1+600 al 2+000	4.58	2.17	<b>Regular</b>
2+000 al 2+400	3.82	2.50	<b>Regular</b>	2+000 al 2+400	4.85	2.07	<b>Regular</b>
2+400 al 2+800	4.63	2.15	<b>Regular</b>	2+400 al 2+800	5.45	1.86	<b>mala</b>
2+800 al 3+200	3.97	2.43	<b>Regular</b>	2+800 al 3+200	6.26	1.60	<b>mala</b>
<b>PROMEDIO</b>	4.07	<b>2.39</b>	<b>Regular</b>	<b>PROMEDIO</b>	5.14	<b>1.96</b>	<b>mala</b>

*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla 46, se observa que los valores de serviciabilidad del pavimento obtenidos con el Rugosímetro de MERLIN, para la calzada derecha nos da un promedio de PSI de 2.39 que indica una transitabilidad promedio de REGULAR.

Mientras que para la calzada izquierda se obtuvo un promedio de PSI de 1.96, que nos indica una transitabilidad promedio de MALA.

Promediando ambos resultados de PSI, calzada derecha e izquierda, nos da un valor de PSI promedio de 2.18, que denota que la serviciabilidad del pavimento obtenida con el Rugosímetro de MERLIN, para toda la avenida se encuentra dentro de la clasificación de REGULAR TRANSITABILIDAD.

**Tabla 47**

*Resultados de la serviciabilidad utilizando el aplicativo ABAKAL IRI.*

CALZADA DERECHA				CALZADA IZQUIERDA			
PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	PSI	CALIFICACION	PROGRESIVA	RUGOSIDAD (m/km)	PSI	CALIFICACION
0+000 al 0+400	5.08	1.99	<b>mala</b>	0+000 al 0+400	4.49	2.21	<b>Regular</b>
0+400 al 0+800	4.55	2.19	<b>Regular</b>	0+400 al 0+800	4.58	2.17	<b>Regular</b>
0+800 al 1+200	4.4	2.25	<b>Regular</b>	0+800 al 1+200	4.12	2.36	<b>Regular</b>
1+200 al 1+600	4.06	2.39	<b>Regular</b>	1+200 al 1+600	4.14	2.36	<b>Regular</b>
1+600 al 2+000	3.79	2.51	<b>Regular</b>	1+600 al 2+000	4.20	2.33	<b>Regular</b>
2+000 al 2+400	4.18	2.34	<b>Regular</b>	2+000 al 2+400	4.64	2.15	<b>Regular</b>
2+400 al 2+800	5.21	1.94	<b>mala</b>	2+400 al 2+800	4.71	2.12	<b>Regular</b>
2+800 al 3+200	5.46	1.85	<b>mala</b>	2+800 al 3+200	4.60	2.17	<b>Regular</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.59</b>	<b>2.17</b>	<b>Regular</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>4.43</b>	<b>2.23</b>	<b>Regular</b>

*NOTA. Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla 47, se muestran los valores de serviciabilidad del pavimento obtenidos con el aplicativo ABAKAL IRI, para la calzada derecha se obtuvo un promedio de PSI de 2.17, que indica una transitabilidad promedio de REGULAR.

Mientras que para la calzada izquierda se obtuvo un promedio de PSI de 2.23, que indica una transitabilidad promedio de REGULAR.

Promediando ambos resultados de PSI, calzada derecha e izquierda, nos da un valor de PSI promedio de 2.2, que denota que la serviciabilidad del pavimento obtenida con el aplicativo ABAKAL IRI, para toda la avenida se encuentra dentro de la clasificación de REGULAR TRANSITABILIDAD.

## 5.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

### **Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”**

EN LA SECCIÓN 418. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES, en la subsección 418.15 (c) (3), se señala que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable, si el promedio por km o fracción tienen un valor de IRI igual o inferior a 2,5 m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente.

DE LA MISMA MANERA; EN LA SECCIÓN 423. PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE, en la subsección 423.18 (g) (5), indica que la rugosidad, en términos IRI, tendrá un valor máximo de 2,0 m/km.

### **Manual de Mantenimiento o Conservación Vial.**

EN EL CAPITULO 400 – SECCIÓN 460: RECAPADOS ASFÁLTICOS Sub sección 460.1 Generalidades señala que El estado regular de un pavimento flexible se ha alcanzado cuando el Índice de Rugosidad Internacional IRI, tiene un valor entre 2.8m/km y 4.0m/km.

### **Comparación de los valores obtenidos en la presente investigación con las fuentes bibliográficas mencionadas.**

En nuestra investigación para el Rugosímetro de MERLIN, se tiene un IRI promedio para una longitud de 3.2 km evaluada en tramos de 400 m, de 4.61 m/km. Dato que supera a los parámetros requeridos por la normativa mencionada para una rugosidad aceptable, con lo que comprobamos que para estas normativas el valor de la rugosidad de la avenida internacional se clasifica como NO ACEPTABLE.

Para el aplicativo ABAKAL IRI se tiene calculo un IRI promedio de 4.51 m/km para una longitud de 3.2 km, en tramos de 100 m, comprobándose que el valor obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI, en comparación con los parámetros de la normativa mencionada también estaría en el rango de NO ACEPTABLE.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó el procedimiento de cálculo para medir la rugosidad del pavimento flexible en la avenida Internacional, comprendido desde el distrito Alto de la Alianza hasta el distrito de Ciudad Nueva, aplicando la metodología del Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo para Smartphone (teléfonos inteligentes) ABAKAL IRI. Obteniéndose para el Rugosímetro de MERLIN un valor promedio de IRI igual a 4.61 m/km. y de acuerdo a la clasificación del estado del pavimento flexible, utilizando la tabla para la clasificación de valores de IRI en el Perú del MTC, ubicamos el estado del pavimento en el rango de MALO. Concluyendo que para la clasificación del IRI obtenido con el Rugosímetro de MERLIN, el estado del pavimento de la avenida internacional sería de NO ACEPTABLE.
2. De la comparación de similitudes entre los valores de IRI, de ambas metodologías, se pudo observar que la similitud promedio de los valores de rugosidad para la calzada derecha entre el Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI, fue de 88.67% y para la calzada izquierda fue de 86.19%. Del mismo modo promediando ambos resultados de IRI, se determina una similitud entre ambas metodologías del 87.43%, para toda la avenida internacional. Concluyendo que, si bien en la calzada derecha las similitudes entre los valores de IRI entre el Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI, se aproximan bastante, en la calzada izquierda tienden mínimamente a diferir. Esta diferencia está asociada a la técnica de toma de datos de cada equipo.
3. Debido a que se tienen los valores de IRI, tanto del Rugosímetro de MERLIN como los de la aplicación ABAKAL IRI; entonces se determinó los PSI para ambos valores por separado y observar su clasificación. Cuyos valores fueron de un PSI promedio de toda la avenida Internacional de 2.18 utilizando el rugosímetro de MERLIN, que nos da una transitabilidad REGULAR y un PSI promedio de toda la avenida Internacional de 2.2 utilizando el aplicativo ABAKAL IRI que nos da una transitabilidad de REGULAR. Concluyendo que, si bien en algunos tramos la clasificación de la transitabilidad varía entre regular y malo, haciendo una clasificación general con los valores promedio ambas metodologías obtuvieron una transitabilidad de REGULAR.

## RECOMENDACIONES

1. Siendo la avenida Internacional, una avenida que corresponde a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Alto de la Alianza y a la Municipalidad Distrital de Ciudad Nueva, recomendamos un tratamiento superficial consistente en la colocación de emulsiones asfálticas, considerando los valores obtenidos de rugosidad superficial que califica un pavimento en estado de MALO, resultado de ambas metodologías.
2. Recomendamos el uso del aplicativo en teléfonos Smartphone, debido que el ABAKAL IRI posee muchas funciones que se están actualizando permanentemente, que ayudaran a obtener resultados confiables de menor costo con un alto rendimiento, lo que facilitará a futuras investigaciones el cálculo de la rugosidad, especialmente en carreteras donde puedan transitarse a velocidades constantes mayores a 80 km/h.
3. Se recomienda que el uso del Rugosímetro MERLIN se lleve a cabo siguiendo el procedimiento correcto, y poniendo mucha atención en la toma de datos, para así poder obtener resultados más precisos.
4. Recomendamos el uso del aplicativo ABAKAL IRI, en actividades de mantenimiento de pavimentos, considerando que la toma de datos se realiza a bajo costo y en menores tiempos.
5. Recomendamos realizar los ensayos de ambas metodologías en horas de madrugada o en horarios donde el tráfico sea mínimo para así poder obtener datos más precisos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAKAL. (2020). *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil*. España: ABAKAL ingenieros consultores, S.L.
- Almenara Cueto, C. (2015). *Aplicación de telefonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- 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.
- Armijos, C. (2009). *Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja. Tesis para optar por el título de ingeniería civil*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- ASTM, E.-0. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*.
- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC.
- Badilla, G. (2011). *Aspectos y consideraciones importantes en el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*. Revista Ingeniería, 20(1-2).
- 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.; 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.
- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala
- Del Aguila, P. (1999). *Manual del Usuario Merliner, Merlin Equipo para Rugosidad*. Merliner.
- Forslôf, L. (2013). *Roadroid - Continuous Road Condition Monitoring with Smartphone*. Ljusdal, Sweden.
- Hoffman.: Del Águila. (1885). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones*. s/e.
- Junai Uddio, M. (2015). *Pavement performance measures using Android based Smartphone application*. India: Universidad de Osmania.
- Laura, D. (2016). *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco - Urcos, usando teléfonos inteligentes y el Rugosímetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.

- Lloclla, A., 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.
- Medina, R.; Farro, D. (2018). *Evaluación superficial y de rugosidad del pavimento en la Av. Circunvalación Oeste, tramo. Óvalo Transportes - Óvalo Cuzco, distrito de Tacna, provincia de Tacna, Tacna-2017*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Montoya, J. (2013). *Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*. Piura-Perú: Universidad de Piura.
- Montejo, A. (2008). *Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- MTC. (2013). *Manual de "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013"*. Lima.
- MTC. (2013). *Manual de Mantenimiento o Conservación Vial*. Lima.
- Pari, P. (2010). *Estudio de la rugosidad en pavimentos asfálticos de la ciudad de Puno*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Pillpe, E. (2018). *Aplicación de un sistema de gestión de pavimentos urbano local a nivel de red mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como variable de condición en la red vial del distrito de Concepción-Junín*. Junín: Universidad Continental.
- 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.
- 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. & Karamidas, S. (1988). *The Little Book of Profiling*. Michigan USA.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la rugosidad de Pavimentos con uso del BUMP Integrator*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

**ANEXO 1.- HOJA DE REGISTRO DE CAMPO - MERLIN**

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
HOJA DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**

**PROYECTO:** APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSIMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021

**SECTOR:** 0+000 al 0+400

**Nº DE ENSAYO:** 1

**CALZADA:** BAJADA

**FECHA:** 16/01/2021

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

**TIPO DE PAVIMENTO:**

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRAT. EN CAPA

CARPETA EN FRIO

CARPETA EN CALIENTE

RECAPEO ASFÁLTICO

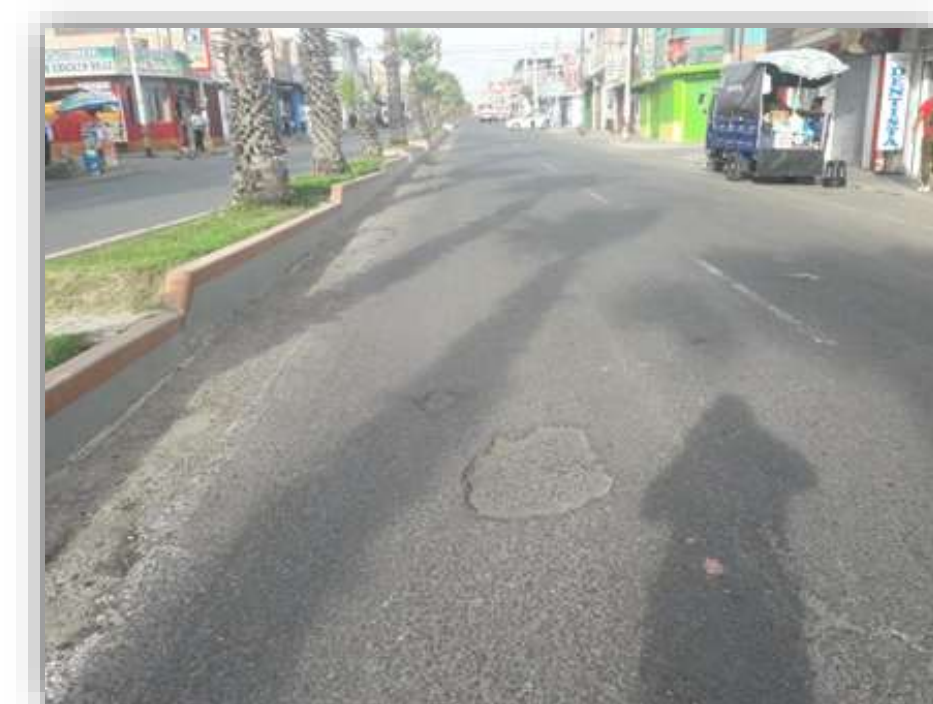
SELLO

OTROS



**ANEXO 2.- ZONA DE INVESTIGACION, AV. INTERNACIONAL**

*Zona de investigación, presencia de fisuras Av. Internacional*



*Zona de investigación, presencia de huecos y baches.*



*Zona de investigación, presencia de parches y huecos.*



*Zona de investigación, presencia de parches.*

**ANEXO 3.- PANEL FOTOGRAFICO USO DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN**



**CALZADA IZQUIERDA-BAJADA**



### EVALUACION UTILIZANDO EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN



## ANEXO 4.- MATRIZ DE CONSISTENCIA

## TITULO: "APLICACIÓN DEL SMARTPHONE Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. INTERNACIONAL, TACNA - 2021"

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</b></p> <p>¿De qué manera la aplicación del Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, permitirán el cálculo de la medición de la rugosidad del pavimento flexible, en la Av. Internacional, Tacna - 2021?</p> <p><b>2. INTERROGANTE ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) ¿Cuál es el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone, en la avenida Internacional?</p> <p>b) ¿Cuál es el valor de la rugosidad obtenido con el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional?</p> <p>c) ¿Existe similitud entre los valores determinados mediante el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone y Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional?</p>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar y comprar la rugosidad del pavimento flexible mediante el aplicativo para el Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional, Tacna - 2021.</p> <p><b>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>a) Determinar el valor de la rugosidad obtenido con el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone, en la avenida Internacional.</p> <p>b) Determinar el valor de la rugosidad obtenido con el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional.</p> <p>c) Comparar los valores determinados mediante el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN, en la avenida Internacional.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Con la aplicación del Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone, en el cálculo de la medición de la rugosidad, en la avenida internacional, se obtendrán valores óptimos del estado del pavimento flexible.</p> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) El valor obtenido de la rugosidad mediante el uso del Rugosímetro de MERLIN en la avenida Internacional, es aceptable.</p> <p>b) La comparación de los valores determinados mediante el aplicativo ABAKAL IRI para Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN en la avenida internacional, son similares.</p> <p>c) La serviciabilidad del pavimento en la avenida internacional, usando el Rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL IRI, presenta una transitabilidad regular.</p>	<p><b>Variable Independiente(X)</b></p> <p><b>X1. Aplicación del Smartphone y el Rugosímetro de MERLIN.</b></p>	<p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Valor del IRI (m/km)</li> <li>▪ Factor de corrección (m)</li> <li>▪ Rango D (mm)</li> <li>▪ Velocidad (km/h)</li> <li>▪ Desplazamiento ( m )</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación</b> Aplicada, cuantitativa</p> <p><b>Nivel de la Investigación</b> Descriptiva, exploratoria</p> <p><b>Ámbito de Estudio</b> - Avenida Internacional Vías que pasa distrito Alto de la Alianza - distrito de Ciudad Nueva, Tacna.</p> <p><b>Población</b> - Avenida Internacional vía que pasa distrito Alto de la Alianza - distrito de Ciudad Nueva, Tacna.</p> <p><b>Técnicas de Recolección de datos.</b> - Observación. - Formato de campo - Reporte del Rugosímetro de MERLIN - Reporte del aplicativo ABAKAL IRI</p> <p><b>Instrumentos</b> Odómetro manual Conos de seguridad Ficha o formulario de observación para aforos Guías de observación y formatos de campo Método del Rugosímetro de MERLIN. Smartphone. Aplicativo ABAKAL IRI. Hoja electrónica Excel.</p>
<p><b>Variable Dependiente(Y)</b></p> <p><b>Y1. Calculo de la medición de la rugosidad del pavimento flexible, en la Av. Internacional.</b></p>	<p><b>Indicadores:</b></p> <p><b>Estado del pavimento flexible</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bueno</li> <li>• Regular</li> <li>• Malo</li> <li>• Muy malo</li> </ul> <p><b>Transitabilidad del pavimento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Buena</li> <li>• Buena</li> <li>• Regular</li> <li>• Mala</li> <li>• Muy mala</li> </ul>				