

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**APLICACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES Y EL RUGOSÍMETRO DE
MERLIN PARA ANALIZAR EL IRI DEL PAVIMENTO EN LA AV. GRAL.
VARELA, TRAMO: TA-615 – PUENTE EL PELIGRO,
DISTRITO DE CALANA, TACNA - 2021**

TESIS

Presentada por:

Bach. OLGHER BLADIMIR CALDERÓN HUAYTA

Bach. PERCY JARED MARONA BARJA

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

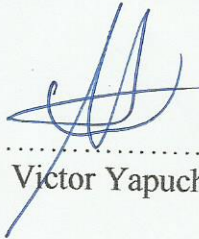
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“APLICACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN PARA ANALIZAR EL IRI DEL PAVIMENTO EN LA AV. GRAL. VARELA, TRAMO: TA-615 – PUENTE EL PELIGRO, DISTRITO DE CALANA, TACNA - 2021”

Tesis sustentada y aprobada el día 31 de enero de 2023 estando integrado el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE



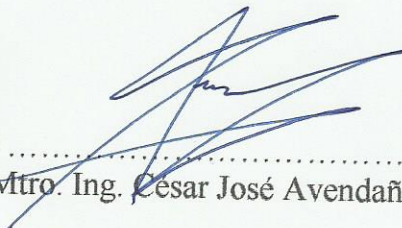
.....
Dr. Ing. Víctor Yapuchura Platero

SECRETARIO



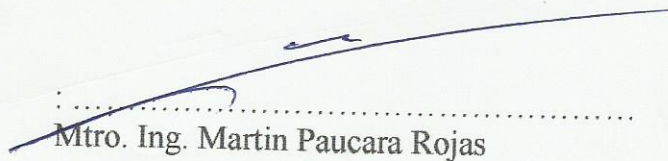
.....
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa

VOCAL



.....
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

ASESOR DE TESIS



.....
Mtro. Ing. Martín Paucara Rojas

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo MARTÍN PAUCARA ROJAS con DNI N°00451289 en mi condición de asesor de la tesis titulada: APLICACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN PARA ANALIZAR EL IRI DEL PAVIMENTO EN LA AV. GRAL. VARELA, TRAMO: TA-615 - PUENTE EL PELIGRO, DISTRITO DE CALANA, TACNA - 2021. Presentado por el Bach. OLGIER BLADIMIR CALDERÓN HUAYTA y el Bach. PERCY JARED MARONA BARJA para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis el cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional de Ingeniero Civil.



ING° MBA MARTIN PAUCARA ROJAS

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios, quien siempre guía nuestros pasos y es el pilar fundamental en la lucha por alcanzar nuestros objetivos.

A nuestros padres, por su gran ejemplo y aliento permanente en el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, nuestra alma mater, por darnos la oportunidad de pertenecer a esta prestigiosa universidad del Perú.

A nuestros profesores de la Escuela de Ingeniería Civil por compartir sus experiencias y conocimientos.

A nuestro asesor Martín Paucara Rojas por su asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Resumen | xii |
| Abstract..... | xiv |
| Introducción..... | 1 |
| Capítulo I: Planteamiento del problema | 3 |
| 1.1 Planteamiento del Problema | 3 |
| 1.2 Formulación del Problema..... | 8 |
| 1.2.1 Problema general..... | 8 |
| 1.2.2 Problemas específicos..... | 8 |
| 1.3 Justificación de la Investigación | 9 |
| 1.4 Objetivos..... | 11 |
| 1.4.1 Objetivo general | 11 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 1.5 Hipótesis general..... | 12 |
| 1.5.1 Hipótesis general | 12 |
| 1.5.2 Hipótesis específicas..... | 13 |
| Capítulo II: Marco teórico | 14 |
| 2.1 Antecedentes del problema | 14 |
| 2.2 Bases teóricas..... | 21 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.2.1 | Cálculo de la rugosidad en pavimento flexible..... | 21 |
| 2.2.2 | Rugosímetro de MERLIN | 21 |
| 2.2.3 | Aplicación en teléfono inteligente ABAKAL | 32 |
| 2.3 | Definición de conceptos..... | 39 |
| Capítulo III: Marco metodológico | | 40 |
| 3.1 | Tipo y diseño de investigación | 40 |
| 3.1.1 | Tipo de investigación | 40 |
| 3.1.2 | Nivel de la investigación | 40 |
| 3.2 | Población y/o muestra de estudio | 41 |
| 3.2.1 | Población | 41 |
| 3.2.2 | Muestra..... | 41 |
| 3.3 | Operacionalización de variables | 41 |
| 3.3.1 | Variable dependiente | 41 |
| 3.3.2 | Variable independiente..... | 42 |
| 3.4 | Técnicas e instrumentos para la recolección de datos | 43 |
| 3.4.1 | Técnicas..... | 44 |
| 3.4.2 | Evaluación de campo..... | 44 |
| 3.4.3 | Materiales | 44 |
| 3.4.4 | Instrumentos | 44 |
| 3.5 | Análisis de datos | 49 |
| Capítulo IV: Resultados | | 50 |
| 4.1 | Resultados del valor IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN | 50 |

| | |
|---|----|
| 4.2 Resultados del valor IRI utilizando el aplicativo ABAKAL | 75 |
| Capítulo V: Discusión de resultados | 79 |
| 5.1 Análisis de los valores IRI obtenidos con el rugosímetro de MERLIN | 79 |
| 5.2 Análisis de los valores IRI obtenidos con el aplicativo ABAKAL | 80 |
| 5.3 Análisis comparativo de los valores IRI y la transitabilidad determinados por el MERLIN y ABAKAL | 80 |
| Conclusiones..... | 84 |
| Recomendaciones | 86 |
| Referencias bibliográficas | 86 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1 Zona de estudio, Av. Gral Varela, distrito de Calana L=2,51 km. | 5 |
| Figura 2 Inicio avenida Gral Varela desde la carretera TA-615..... | 6 |
| Figura 3 Presencia de fallas, Av. Gral Varela | 6 |
| Figura 4 Desgaste a nivel de capade rodadura. | 7 |
| Figura 5 Desgaste en la capa de rodadura Puente El Peligro. | 7 |
| Figura 6 Escala estándar para calificar los caminos | 25 |
| Figura 7 Uso del rugosímetro de MERLIN. | 26 |
| Figura 8 Detalles del instrumento MERLIN | 27 |
| Figura 9 Partes del instrumento MERLIN..... | 27 |
| Figura 10 Medición de las desviaciones de la superficie | 28 |
| Figura 11 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones | 29 |
| Figura 12 Guía de campo para recolección de datos | 30 |
| Figura 13 Histograma de la distribución de frecuencias | 31 |
| Figura 14 Modelo de cuarto carro | 33 |
| Figura 15 Aplicativo ABAKAL | 34 |
| Figura 16 Ubicación del telefono en el parabrisas del vehiculo..... | 35 |
| Figura 17 Métodos de cálculo, estadísticos y máximos | 36 |
| Figura 18 Informe IRI.csv | 37 |

| | |
|---|----|
| Figura 19 Informe gráfica IRI.kml, del recorrido de evaluación..... | 38 |
| Figura 20 Evaluación de la rugosidad en la Av. Varela, carril de subida | 45 |
| Figura 21 Continúa la evaluación de la rugosidad en la Av. Varela | 45 |
| Figura 22 Inicio de evaluación desde Puente El Peligro, carril de bajada..... | 46 |
| Figura 23 Evaluación de la rugosidad Av. Varela, carril de bajada | 46 |
| Figura 24 Utilización del aplicativo ABAKAL en Samsung Galaxy Note 10..... | 47 |
| Figura 25 Evaluación de la rugosidad utilizando el aplicativo en carril de subida | 47 |
| Figura 26 Vehículo utilizado en la determinación de la rugosidad | 48 |
| Figura 27 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 1..... | 52 |
| Figura 28 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 2..... | 54 |
| Figura 29 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 3..... | 56 |
| Figura 30 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 4..... | 58 |
| Figura 31 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 5..... | 60 |
| Figura 32 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 6..... | 62 |
| Figura 33 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 1..... | 64 |
| Figura 34 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 2..... | 66 |
| Figura 35 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 3..... | 68 |
| Figura 36 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 4..... | 70 |
| Figura 37 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 5..... | 72 |
| Figura 38 Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 6..... | 74 |

| | |
|---|----|
| Figura 39 Comportamiento de la rugosidad cada 100 m. carril de bajada | 76 |
| Figura 40 Desplazamiento por el carril de bajada utilizando ABAKAL | 76 |
| Figura 41 Comportamiento de la rugosidad cada 100 m. carril de subida | 78 |
| Figura 42 Desplazamiento por el carril de subida, utilizando ABAKAL | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1 Escala del índice de transitabilidad | 22 |
| Tabla 2 Valores de IRI utilizados internacionalmente | 25 |
| Tabla 3 Valores IRI determinados mediante informe IRI2.csv | 38 |
| Tabla 4 Ficha de campo, tramo de ensayo 1..... | 51 |
| Tabla 5 Ficha de campo, tramo de ensayo 2..... | 53 |
| Tabla 6 Ficha de campo, tramo de ensayo 3..... | 55 |
| Tabla 7 Ficha de campo, tramo de ensayo 4..... | 57 |
| Tabla 8 Ficha de campo, tramo de ensayo 5..... | 59 |
| Tabla 9 Ficha de campo, tramo de ensayo 6..... | 61 |
| Tabla 10 Ficha de campo, tramo de ensayo 1, calzada de subida | 63 |
| Tabla 11 Ficha de campo, tramo de ensayo 2..... | 65 |
| Tabla 12 Ficha de campo, tramo de ensayo 3..... | 67 |
| Tabla 13 Ficha de campo, tramo de ensayo 4..... | 69 |
| Tabla 14 Ficha de campo, tramo de ensayo 5..... | 71 |
| Tabla 15 Ficha de campo, tramo de ensayo 6..... | 73 |
| Tabla 16 Valor IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL, carril de bajada..... | 75 |
| Tabla 17 Valor IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL, carril de bajada..... | 77 |
| Tabla 18 Resultados del valor IRI obtenidos con el rugosímetro de MERLIN | 79 |
| Tabla 19 Valor IRI ponderado, obtenido con el aplicativo ABAKAL..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Tabla 20 Calificación del estado del pavimento..... | 81 |
| Tabla 21 Calculo de la transitabilidad por tramos cada 400 m | 82 |

RESUMEN

El trabajo de investigación determina los valores IRI del pavimento flexible usando la aplicación ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, en la Av. Gral. Varela tramo: TA-615 – Puente El Peligro, del distrito de Calana, considerando una longitud de evaluación de 2 510 m., en calzada de 6.60 m.

El objetivo de la investigación fue determinar los valores IRI del pavimento flexible, en los tramos investigados mediante el uso del aplicativo ABAKAL en teléfonos inteligentes cada 100 m. y el rugosímetro de MERLIN cada 400 m. en toda la avenida Gral. Varela del distrito de Calana, tramo: TA-615 – Puente El Peligro. La investigación es Aplicada, porque es necesario generar conocimiento determinando los valores IRI, calificación del estado funcional del pavimentos el nivel de la transitabilidad usando el aplicativo ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, en un tramo de evaluación de 2 510 m. calzada de 6.60 m., obteniendo valor de IRI ponderado en la Av. Gral. Varela, utilizando la aplicación ABAKAL, IRI igual a 5.03 m/km y con el rugosímetro de MERLIN IRI igual a 5.56 m/km.

En la determinación del valor IRI en el pavimento flexible usando la aplicación ABAKAL en teléfonos inteligentes de gama alta (Samsung Galaxy Note 10) donde se

consideró una velocidad de evaluación entre 40 y 60 km/h, por encontrarse en zona urbana del distrito de Calana y la utilización del rugosímetro de MERLIN, evaluando el carril de subida y el carril de bajada, la calificación del estado funcional del pavimento, ambos métodos lo califican de MALA, por otro lado la calificación de la transitabilidad vehicular por ambos métodos también coinciden como REGULAR, en relación al valor ponderado del IRI, aplicación ABAKAL igual a 5.03 m/km, el rugosímetro de MERLIN igual a 5.56, finalmente indicar que el uso de la aplicación en teléfonos inteligentes obtiene resultados similares al del MERLIN, por lo tanto los valores del ABAKAL son totalmente fiables.

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

ABSTRACT

The research work determines the IRI values of the flexible pavement using the ABAKAL application and the MERLIN roughness meter, on Av. Gral. Varela section: TA-615 – Puente El Peligro, in the district of Calana, considering an evaluation length of 2 510 m., on a road of 6.60 m.

The objective of the research was to determine the IRI values of the flexible pavement, in the sections investigated by using the ABAKAL application on smartphones every 100 m. and the MERLIN roughness meter every 400 m. along the entire Gral. Varela avenue in the Calana district, section: TA-615 – Puente El Peligro. The research is Applied, because it is necessary to generate knowledge by determining the IRI values, qualification of the functional state of the pavement, the level of passability using the ABAKAL application and the MERLIN roughness meter, in an evaluation section of 2,510 m. roadway of 6.60 m., obtaining a weighted IRI value on Av. Gral. Varela, using the ABAKAL application, IRI equal to 5.03 m/km and with the MERLIN roughness meter IRI equal to 5.56 m/km.

In the determination of the IRI value in the flexible pavement using the ABAKAL application in high-end smartphones (Samsung Galaxy Note 10) where an evaluation

speed between 40 and 60 km/h was considered, due to being in the urban area of the Calana district. and the use of the MERLIN roughness meter, evaluating the uphill lane and the downhill lane, the qualification of the functional state of the pavement, both methods qualify it as BAD, on the other hand the qualification of vehicular passability by both methods also coincide as REGULAR , in relation to the weighted value of the IRI, the ABAKAL application equal to 5.03 m/km, the MERLIN roughness meter equal to 5.56, finally indicating that the use of the application on smartphones obtains results similar to those of the MERLIN, therefore the values of the ABAKAL are totally reliable.

Keywords: Walkability, ABAKAL, IRI, MERLIN roughness meter.

INTRODUCCIÓN

En Tacna se visualiza un crecimiento poblacional desordenado, en especial en el distrito de Calana se nota el crecimiento de infraestructura, dejando de lado, el ser zona agrícola que es lo preocupante, por otro lado el crecimiento urbanístico no está de acuerdo a la planificación urbana desarrollado por la entidad local distrital. La investigación considera importante la evaluación superficial del pavimento flexible, porque los resultados ayudan a planificar proyectos de inversión pública en materia de infraestructura vial utilizando metodologías de vanguardia y metodología tradicionales, como es la aplicación ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, la vía investigada comunica al distrito de Pachia con el distrito de Calana y con el distrito capital de Tacna, es una vía de una calzada con dos carriles uno por sentido y el tramo de evaluación tiene una longitud de 2 510 m.

Mediante la aplicación ABAKAL se obtiene los valores IRI los que ayudan a calificar el estado funcional del pavimento flexible, con datos confiables y a un costo mínimo, con altos rendimientos de H.H., por otro lado se utilizó el rugosímetro de MERLIN que obtiene valores IRI los que ayudan a calificar el estado funcional del pavimento flexible, ambos métodos califican al pavimento flexible como MALA y la transitabilidad como REGULAR.

La investigación está comprendido en 5 capítulos,

En el primer capítulo se desarrolla el planteamiento del problema, formulación del problema, los objetivos generales y específicos, finalmente la hipótesis general y específicos.

En el segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico, los antecedentes, las bases teóricas y la definición de conceptos.

En el tercer capítulo, se desarrolla el marco metodológico, tipo, diseño y nivel de investigación, población, muestra, variables dependientes e independientes, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y análisis de datos de la investigación.

En el cuarto capítulo, los resultados obtenidos con la aplicación ABAKAL para telefonos de alta gama y el rugosímetro de MERLIN.

En el capítulo quinto se desarrolla la discusión de los resultados, considerando los valores IRI obtenidos por el MERLIN y el aplicativo ABAKAL para realizar el comparativo entre las metodologías.

Finalizando con el desarrollo de las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

La problemática regional, incluyendo a las municipalidades provinciales y distritales, no cuentan con un control del estado funcional de las capas de rodadura en las vías de su jurisdicción, la falta de atención con el mantenimiento rutinario hace que se desarrollen fallas y patologías a nivel de la carpeta asfáltica, lo que conlleva a la afectación del sector agrario reduciendo la comercialización de sus productos agrícolas.

En la actualidad la vía de investigación es utilizada por el transporte de interurbano de personas y carga, las vías van presentando daños, si estas vías no son intervenidas con un mantenimiento rutinario o periódico, donde la presencia de fallas en el pavimento puede alcanzar niveles altos, que al final requerirán su reconstrucción en periodos cortos con relación a la su vida útil. La determinación de los valores IRI en la avenida Gral. Varela del distrito de Calana, constituye un objetivo principal dentro de los planes de la investigación, porque los resultados obtenidos pueden servir para plantear un mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de la avenida Gral. Varela, asimismo esta vía contribuye a la

integración de la población de los distritos de Calana y Pachia e incentiva el desarrollo de estas poblaciones.

Existe la necesidad de conocer exactamente el nivel de la transitabilidad, la calificación del pavimento flexible a nivel de la capa de rodadura, conociendo la existencia de zonas agrícolas en la zona de Calana y Pachia, la producción de la mejor verdura de la ciudad, uva de mesa, durazno, palta, producción de vino, piscos y otros productos de exportación, son los atributos que tienen estos distritos, por lo que sus calles y carreteras deben estar en las mejores condiciones funcionales de transitabilidad. Donde la presencia de fallas y alta rugosidad genera mayor consumo de combustible, mayor tiempo de viaje, altos costos de mantenimiento vehicular, que repercute en la economía de los agricultores.

En la avenida Gral. Varela del distrito de Calana se analizara la determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN, para conocer su adecuada transitabilidad, es una vía auxiliar longitudinal de una calzada, dos carriles uno por sentido, ancho de la calzada de 6.60 m. y tramo de evaluación de 2.51Km. actualmente la avenida Varela tiene una alta demanda de transporte público, vehículos recreativos, privado y vehículos de transporte de mercancías, la Av. Gral. Varela viene a ser una vía primordial utilizada por los agricultores para la comercialización de sus productos hacia los

mercados de la ciudad de Tacna y también existe los vehículos recreativos que desarrollan el turismo vivencial por las zonas agrícolas de Calana y Pachia, los baños termales y los puentes colgantes de Miculla, finalmente interconectarse con la vía nacional PE-40, Tacna-Collpa-La Paz.

Se identifica en la visita preliminar que la capa de rodadura de la avenida Gral. Varela, presenta varios tipos de fallas en determinados tramos, por lo que calcular los valores IRI y la transitabilidad será uno de los objetivos de la presente investigación.

Figura 1

Zona de estudio, Av. Gral. Varela, distrito de Calana. L= 2.51 Km.



Nota. En la figura se muestra la zona de investigación, tomado de Google Earth

Figura 2

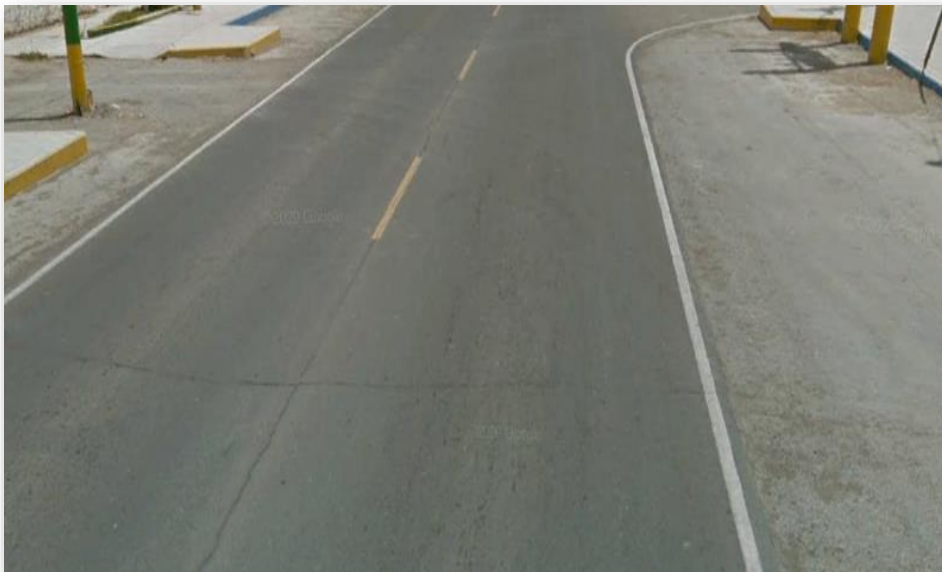
Inicio de la avenida Gral. Varela desde la carretera TA-615



Nota. En la figura se muestra la Av. Varela inicio de TA-615

Figura 3

Presencia de fallas, avenida Gral. Varela.



Nota. En la figura se nota la presencia de fallas y desgaste en la rasante

Figura 4
Desgaste a nivel de capa de rodadura.



Nota. Elaboración propia

Figura 5
Zona de investigación, desgaste en la capa de rodadura puente El Peligro.



Nota. Elaboración propia

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera la aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN permitirá analizar el IRI del pavimento en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿Cuál es el valor del IRI obtenido con el aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021?

b) ¿Cuál es el valor del IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021?

c) ¿Existe similitud entre los valores determinados mediante el aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL y rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021?

1.3 Justificación de la Investigación

En la investigación se busca determinar el índice de rugosidad internacional (IRI) donde utilizó dos metodologías, el aplicativo ABAKAL en teléfonos inteligentes de gama alta y el rugosímetro de MERLIN, son de importancia para la ingeniería civil donde nos permite conocer los valores IRI como resultado obtenidos por ambas metodologías para conocer la situación funcional del pavimento flexible y ello conlleva a determinar la planificación de los proyectos de infraestructura vial, ya sea mantenimiento o rehabilitación. Además, es una metodología que debe ser conocida y manejada por todos los ingenieros carreteros, porque su desconocimiento puede generar el deterioro del pavimento flexible, considerando entonces una opción más eficiente para la determinación del IRI, el uso del aplicativo ABAKAL. Es un método que para su aplicación no necesita de herramientas especiales, solo un teléfono de gama alta, por otro lado, el uso del rugosímetro de MERLIN, es también de fácil aplicación el cual es autorizado por el Banco Mundial por su efectividad en sus resultados. Donde sus resultados ayudan a calificar el estado funcional del pavimento flexible y el nivel de la transitabilidad.

1.3.1 Justificación teórica

Se busca mediante la teoría del conocimiento y los conceptos básicos de los

aplicativos en teléfonos inteligentes como el ABAKAL, el método del rugosímetro de MERLIN, ayudan a determinar la rugosidad de la vía y como ellos generan la incomodidad al momento de transitar por la vía investigada, afectando al usuario conductor y peatón.

1.3.2 Justificación práctica

La metodología de la determinación de la rugosidad (IRI), es un parámetro que debe ser conocido y manejado por los ingenieros civiles especialistas en carreteras, la metodología ABAKAL y MERLIN cuyos resultados ayudan en la programación de proyectos viales que consisten en la ejecución de una reconstrucción. La presencia de fallas de alta severidad afecta a los usuarios conductores, generando desgaste o averías en sus unidades que transitan por la vía, los cuales generan mayor consumo de combustibles.

1.3.3 Justificación metodológica

La aplicación de la normativa peruana vigente, en materia de conservación y mantenimiento vial, los manuales de suelos, geología, geotecnia y pavimentos, el EG-2013, Norma CE-010-Pavimentos Urbanos es necesario su aplicación para lograr los objetivos de la presente investigación. La aplicación de la metodología del

ABAKAL y MERLIN ayuda a conocer el estado funcional de un pavimento flexible, mucho más fácil, rápido y económico, cuyos valores IRI determinados en la investigación trascienden en su importancia por que contribuyen a solucionar los problemas mediante mejoras futuras.

1.3.4 Justificación social

Los resultados beneficiarán a los estudiantes de ingeniería civil, tendrán a disposición todo el material de la investigación como material de consulta para próximas ideas. También llega a la sociedad, porque permitirá conocer el estado de la carretera, la calificación del estado funcional y la transitabilidad del pavimento para plantear alternativas de solución para mejorar las medidas de confort y seguridad.

Actualmente no se conoce de alguna intervención, evaluación de la rugosidad, mantenimiento en la avenida Gral. Varela del distrito de Calana, los valores IRI determinados en esta investigación sirvan como base para planificar una alternativa de solución para mejorar las condiciones del conductor y los peatones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el IRI del pavimento mediante la aplicación de teléfonos

inteligentes y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Calcular el valor del IRI obtenido con el aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021.
- b) Calcular el valor del IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021.
- c) Comparar los valores determinados mediante el aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021.

1.5 Hipótesis general

1.5.1 Hipótesis general

La determinación del IRI mediante la aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El

Peligro, distrito de Calana, Tacna – 2021, influyen negativamente.

1.5.2 Hipótesis específicas

- a) El cálculo del IRI obtenido con el aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021, son válidos.
- b) El cálculo del IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021, son válidos.
- c) La comparación de los valores obtenidos mediante el aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela, tramo: TA-615 - Puente El Peligro, distrito de Calana, Tacna - 2021, son similares.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Según, (Gonzalo, J. y Beingolea, H., 2021), “Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021”, desarrollado por Judith Yovana Gonzalo López y Héctor Jesús Beingolea Villarreal en el año 2021. Tesis desarrollada para optar el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Privada de Tacna, donde indica que determinar el valor IRI del pavimento asfáltico utilizando el aplicativo ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN en la Av. Internacional, es el objetivo de la investigación, se considera la investigación Aplicada de diseño descriptivo exploratorio. Se determinó los valores IRI en la calzada de subida 4.07 m/km y en la calzada de bajada 5.14 m/km, para la calificación del pavimento se utilizó el valor promedio igual a 4.60 m/km, resultando como MALO. Mediante el aplicativo ABAKAL, resultó valores IRI calzada de ingreso 4.38 m/km, y calzada de salida 4.49 m/km, por lo que, los valores obtenidos con el aplicativo ABAKAL y los valores del rugosímetro de MERLIN, son similares.

Según, (Reyes, 2020), “Determinación del índice de rugosidad internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN”, desarrollado por Bryan A. Reyes Pionce, 2020. Investigación que evalúa los resultados del IRI similares obtenidos en la Avenida La Prensa del Cantón Jipijapa; utilizando aplicativos para teléfonos inteligentes y un software de evaluación Vial ProVAL con respecto a la metodología tradicional el Rugosímetro de MERLIN. Todas las metodologías indicadas determinan la rugosidad de la superficie del pavimento asfáltico, y son herramientas innovadoras y prácticas que existen en el mercado para evaluar las vías y calcular el IRI respectivamente, y como metodología tradicional el MERLIN muy conocido y usado, por sus resultados precisos en la determinación de la rugosidad superficial del pavimento asfáltico en la Avenida La Prensa desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+945 utilizando los aplicativos TotalPave IRI, Abakal IRI, el software ProVal y el rugosímetro de MERLIN. Los valores IRI determinados en la Avenida la Prensa varía desde los 2 m/km. La correlación del IRI con el PSI nos proporcionó un valor de transitabilidad de 3,31 y con ello se califica la Transitabilidad como Bueno.

Según, (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”, investigación que determinó el

comparativo de valores IRI obtenidos en la Av. La cultura de la ciudad del Cusco, utilizando metodologías del aplicativo ROADROID, Rugosímetro de Merlín, Rugosímetro electrónico Bump Integrator B1100A, así mismo se calculó el nivel de la serviciabilidad presente en función al valor IRI. La investigación es de tipo básico con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, método hipotético deductivo y diseño no experimental.

Se determinó los valores IRI en el carril de bajada igual a 7.31m/km, 6.75 m/km y 6.79 m/km valores obtenidos con el rugosímetro de MERLÍN, rugosímetro electrónico Bump Integrator y el aplicativo ROADROID y en el carril de subida valores IRI igual a 3.88 m/km , 3.98 m/km y 3.04 m/km, comprobándose que el carril de bajada se encuentra más deteriorado que el de subida.

Según, (Camacho, 2018) “ Evaluación y análisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN”, la evaluación de la rugosidad en pavimentos de las vías más transitadas de la ciudad de Puno la Av. Floral, es el objetivo principal de esta investigación,. Para lo cual se hizo un análisis comparativo de los valores obtenidos con el rugosímetro de MERLIN y un método innovador el aplicativo ROADROID. Investigación que concluyó que el aplicativo ROADROID proporciona valores IRI similares al obtenido por el rugosímetro de MERLIN.

Según, (Ramirez, 2017) “Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey – Casma de la carretera Panamericana Norte”, investigación que se enfoca en comparar los resultados de los valores IRI obtenido por un perfilómetro láser y el aplicativo ROADROID. Se efectuó la evaluación de la rugosidad en el tramo de la Red Vial 4 utilizando el aplicativo Roadroid y con los valores obtenidos por la empresa concesionaria se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos por ambas metodologías.

Los resultados obtenidos con el aplicativo ROADROID fueron de 1.2 m/km y 1.3 m/km, en cada calzada, los cuales son similares a los obtenidos con el perfilómetro láser, valor IRI igual a 1.11 m/km y 1.16 m/km respectivamente. Se comprobó que la velocidad de evaluación al utilizar el ROADROID debe estar en el rango de 75 a 90 km/h donde los valores del IRI estimado e IRI calculado se correlacionan mejor.

Según, (Montoya-Goicochea, 2013), “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú”, investigación que analizó el IRI en un proyecto, para determinar las tolerancias en el control del IRI establecida para los contratos de concesión vial.

Como objetivo de la investigación, se planteó relacionar el valor 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 las exigencias técnicas en los términos de referencia de futuras concesiones viales y expedientes técnicos para caminos nuevos pavimentados.

Según, (Laura, 2016), “Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco – Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN - 2016”, investigación que desarrolla sobre el porcentaje de similitud entre los resultados del valor IRI de la carretera Cusco – Urcos; utilizando el aplicativo Roadroid con respecto al uso del Rugosímetro MERLIN. La conclusión de la investigación determina que los valores IRI obtenidos con el aplicativo Roadroid tiene una similitud del 89% con respecto al Rugosímetro de MERLIN. Finalmente se indicó que el aplicativo Roadroid es una herramienta que puede ser usada para determinar el valor IRI en pavimentos flexibles, por que sus datos obtenidos son fiables.

Según, (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, investigación que sostiene que la evaluación del IRI con el aplicativo Roadroid, determina que sus resultados obtenidos son totalmente confiables por su versatilidad

y economía comparado con las metodologías más utilizados en el mercado para la evaluación de las carreteras. Roadroid es un aplicativo para teléfonos inteligentes que determina la rugosidad del pavimento asfáltico de manera clara, didáctica y efectiva. Utilizando el aplicativo se efectuaron ensayos en la determinación de la rugosidad en la vía expresa de la ciudad de Lima, obteniendo valores del IRI estimado e IRI calculado. La investigación concluye que en la vía Expresa el IRI determinado cumple con la norma peruana CE.010 al obtener un IRI menor que el límite de 2.5 m/km, se determinó en la comparación de los distritos por donde pasa la vía Expresa, los mayores daños se encuentran en los distritos de San Isidro y Miraflores a comparación del Cercado de Lima y Lince, otra conclusión por la variabilidad de la velocidad en el momento de la evaluación fueron notorios los resultados mostrando un índice de correlación entre tramos menor a 0.17.

Según, (Pari, 2010), “Estudio de la rugosidad en pavimentos asfálticos de la ciudad de Puno”, desarrollado por Pari Luque en el año 2010, investigación que focalizó en el estudio de la rugosidad en la capa superficial asociado con los cambios en la serviciabilidad de los pavimentos, utilizando las metodologías del rugosímetro de MERLÍN, donde se efectúa la evaluación en las principales vías de la ciudad de Puno conformado por: Av. circunvalación, Av. El Ejército, Av. El Sol, Av. Floral, salida a desaguadero y salida a Juliaca las cuales presentan superficies de pavimento rígido.

Al realizar la evaluación de la rugosidad con el rugosímetro de MERLIN, determina los valores IRI para las vías evaluadas en la ciudad de Puno integrado por la Av Circunvalación, la Av. El Ejército, la Av. El Sol, la Av. Floral, salida a desaguadero y salida a Juliaca, luego con los resultados determinados de la rugosidad son correlacionados con la Serviciabilidad para determinar la transitabilidad actual en las principales vías de la ciudad de Puno.

Según, (Pomasonco de la Cadena, 2010), “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, investigación que sostiene, que es básico la determinación de la rugosidad (IRI), resultado que permite calificar la condición funcional de la vía (transitabilidad). El problema de la investigación es determinar la transitabilidad representativa, mejorando las condiciones de confort para el usuario de la vía en estudio. Se plantea el uso del valor de la rugosidad como un indicador de mejora con el confort y la transitabilidad como una mejora de la capacidad vial.

Finalmente, los resultados del valor IRI utilizando el rugosímetro de MERLIN nos ayuda a plantear la forma de intervención que necesita la vía

investigada y al mismo tiempo saber qué metodologías se adaptan mejor con sus resultados a nuestras condiciones y realidades de nuestras carreteras en el país.

Según (Onofre, J., Sánchez, J, y Viana, W., 2008) en su investigación determinó los valores IRI de pavimentos, usando el perfilómetro ROMDAS Z-250, realizando el estudio de la rugosidad en el pavimento flexible, específicamente los de concreto asfáltico; además se profundiza en la nivelación, calibración y puesta en marcha del equipo ROMDAS Z-250, para la recolección de datos que se usarán en la obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual se determinó con la ayuda de programas de análisis de perfiles de rodadura.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cálculo de la rugosidad en pavimento flexible

Según, (ASTM, 2012) “es una desviación de la superficie con respecto a una superficie horizontal, que afectan el tránsito cómodo del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje”

La rugosidad viene a ser una acumulación del movimiento vertical que se siente en la suspensión de una rueda de acuerdo a un confort de rodadura sentido por el usuario conductor, recorriendo a una velocidad de 80 km/h. (Caro, F. y Peña, G.,

2012)

El IRI (International Roughness Index), fue desarrollado por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad, como parámetro de referencia en la evaluación de la rugosidad a nivel de la capa de rodadura en pavimentos asfálticos de una carretera.

2.2.1.1 Transitabilidad

El concepto de "transitabilidad" en el Perú define una situación de "disponibilidad de uso".

Para determinar la transitabilidad del pavimento asfáltico, se utiliza el cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual establece el estado funcional o estructural actual del pavimento. La determinación del PSI se evalúa mediante una escala que va de 0 a 5, desde muy mala hasta muy buena. (Pomasonco de la Cadena, 2010)

Tabla 1

Escala de índice de transitabilidad.

| Índice de Transitabilidad | Calidad |
|------------------------------|-----------|
| 5 | Muy buena |
| 4 | Muy buena |
| 3 | Buena |
| 2 | Regular |
| 1 | Mala |
| 0 | Pésima |

Nota. Guía AASHTO

2.2.1.2 Cálculo de la transitabilidad en función del valor IRI

De acuerdo a las metodologías existentes para la determinación de los valores IRI por tamos de estudios, ya sean cada 100 m. o 400 m. en campo luego ser procesados los valores IRI por calzada o por carril, se determina el valor IRI ponderado, para determinar la transitabilidad, utilizando la ecuación de Williams Paterson. (Sologorre, 2005)

2.2.1.3 Rugosidad

Viene a ser las imperfecciones en la superficie del pavimento, la cual tiene un efecto directo en el deterioro de las calles y carreteras y en los usuarios, además afecta adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costo de operación del vehículo.

El Banco Mundial propuso una medida de la rugosidad denominada el índice de rugosidad internacional (IRI), cuyo rango va de 0 hasta 12 normalmente. Este parámetro, ampliamente usado, permite medir la rugosidad superficial del pavimento flexible en los desplazamientos verticales en el tramo de evaluación.

2.2.1.4 Causas que afectan la rugosidad en la capa de rodadura

Se consideran muchos factores que afectan la rugosidad superficial del pavimento, los más conocidos son:

- Vida útil del pavimento.

- Alto tráfico vehicular.
- Reducido diseño de espesores.
- Mal cálculo del número estructural.
- Contenido del asfalto y presencia de vacíos.
- Las características del medio ambiente.
- Propiedades de la base granular.
- Propiedades de la sub rasante.
- Alta severidad de las fallas.

2.2.1.5 Índice de rugosidad internacional (IRI)

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E-867 define la rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos. La 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, R. y Kohn, S., 2002).

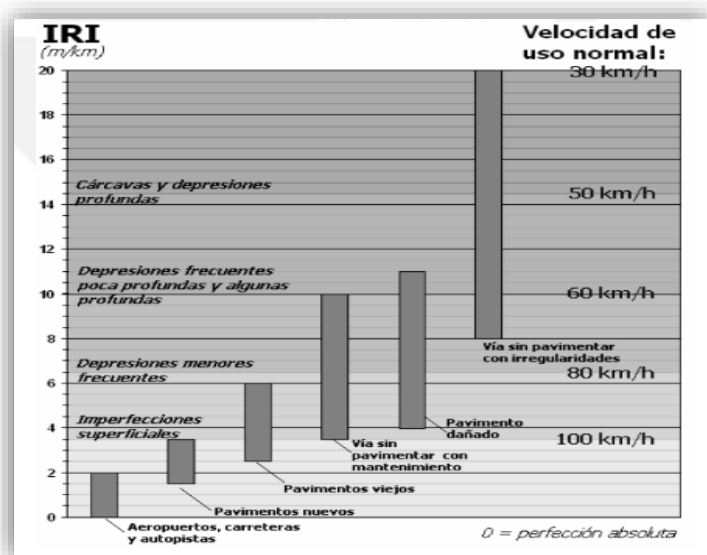
El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en metros por kilómetros. (Sayers, M. ; Karamihas, S., 1998).

2.2.1.6 Escalas y características del IRI

El IRI tiene unidades de m/km, varía de 0 a 20 m/km, cuando el IRI es 0 m/km es una vía excelente y cuando el IRI es 20m/km totalmente malo para transitar.

Figura 6

Escala estándar para calificar los caminos en función del valor IRI



Nota. En la figura se muestra las escalas de valores IRI utilizados por el Banco Mundial

Tabla 2

Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente

| País | Bueno | Regular | Malo | Rechazo | Recepción |
|----------|---------|-----------|-------|---------|-----------|
| EE.UU | < 2.4 | 2.4 - 4.7 | > 4.7 | | |
| España | 0 - 2.5 | 2.5 - 4.0 | > 5.0 | 2.85 | 1.85 |
| Chile | 0 - 3.0 | 3.0 - 3.6 | > 4.0 | 2.50 | 2.5 |
| Honduras | < 3.5 | 3.5 - 6.0 | > 6.0 | | |
| Uruguay | < 3.9 | 4.0 - 6.0 | > 4.6 | | |

Nota. (Alvarenga, 2002)

2.2.2 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.

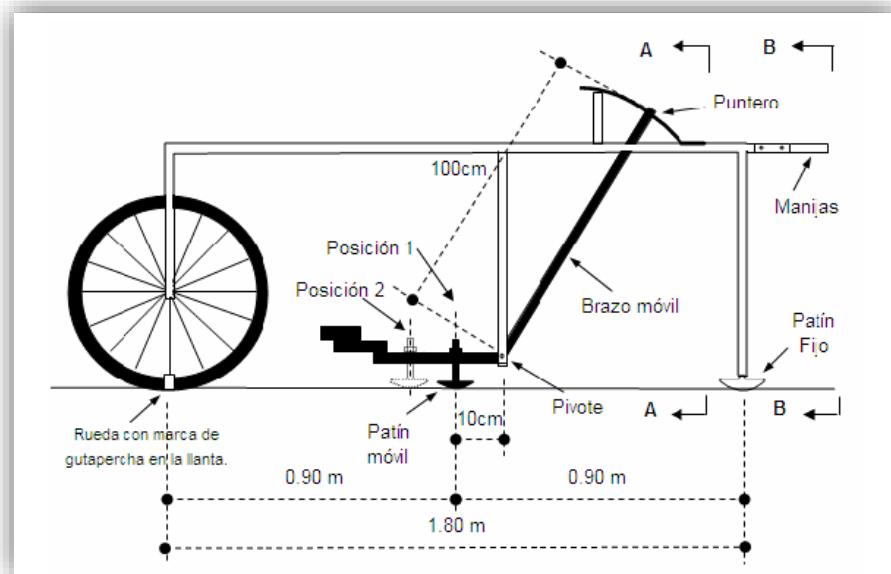
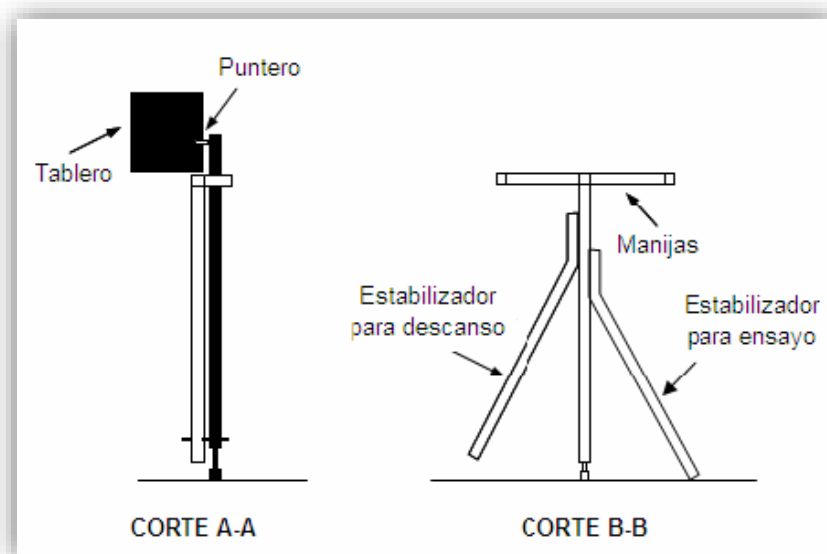
La metodología que utiliza el MERLIN, lo califica como un método Clase 2 por haber sido diseñado como una variación de un perfilómetro estático y por los resultados obtenidos con gran exactitud. Por su gran exactitud, sólo es superado por el método topográfico, y el rugosímetro de MERLIN es recomendado para la calibración de los equipos tipo respuesta como el Bump Integrator, y Mays Meter.

Figura 7

Uso del Rugosímetro Merlín



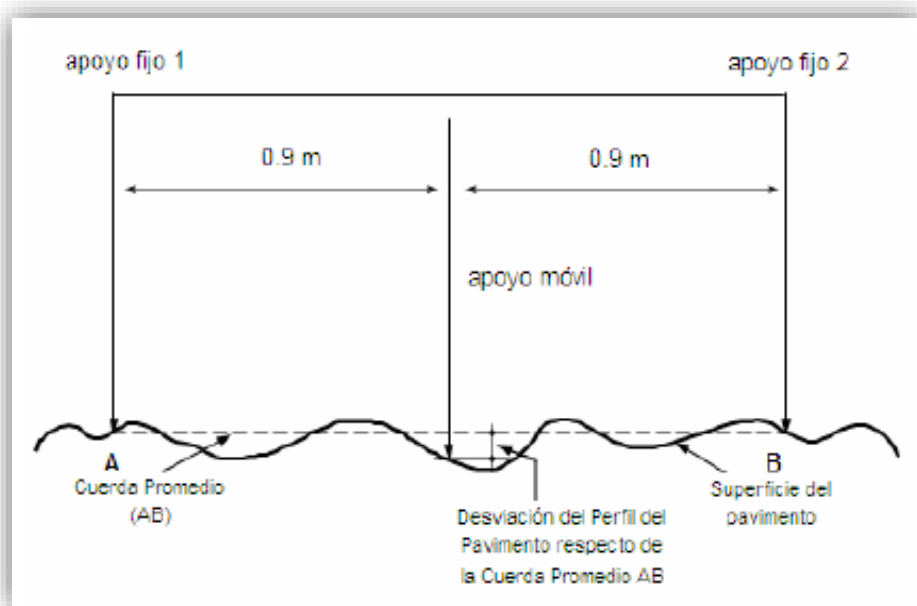
Nota. En la figura se muestra la forma de uso del MERLIN en la evaluación

Figura 8*Detalles del instrumento MERLIN**Nota.* (Del Aguila, 1999)**Figura 9***Partes del instrumento MERLIN**Nota.* (Del Aguila, 1999)

El MERLÍN mide el desplazamiento vertical de la desviación con respecto a la cuerda promedio como el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. Consta de 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 vía. Tiene un patín móvil y un patín fijo el cual se coloca en el pavimento entre los dos pies, de esta manera se mide la distancia vertical “y” entre la superficie de la carretera. El resultado se registra en un formato de campo tomando 200 repeticiones en 400 m., cuyos datos registrados generan un histograma, para calcular el rango D en la escala de MERLÍN. (Del Aguila, 1999).

Figura 10

Medición de las desviaciones de la superficie.



Nota. (Del Aguila, 1999)

Figura 11

Escala para determinar la dispersión de las desviaciones.



Nota. (Del Aguila, 1999)

2.2.2.1 Modo de uso

En la obtención de los datos de campo utilizando el rugosímetro se necesita de dos personas, un operador del instrumento que toma las lecturas y un acompañante que anota en la hoja de registro de campo. La evaluación se realiza en tramos de 400m, obteniendo 200 registros cada 2 m., sobre la calzada o carril derecho o izquierdo, donde las mediciones se realizan sobre la huella exterior de la calzada o carril.

Para calcular el rango D de las frecuencias se realizan 200 lecturas de las irregularidades presentes en el pavimento asfáltico, datos que son detectados por el patín móvil del rugosímetro de MERLÍN, los cuales mediante el puntero se posiciona

sobre el tablero graduado valores cada 5 mm., generándose de esa manera cada lectura de las irregularidades, eso se repite iterativamente cada 2 m de distancia, de acuerdo a la experiencia la forma de ejecutar la toma de lecturas es utilizando una marca en la circunferencia en la rueda del MERLIN, prácticamente se toma la lectura al realizar una vuelta de la rueda. (Del Aguila, 1999)

Figura 12
Guía de campo para recolección de datos

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

Nota. (Del Aguila, 1999)

2.2.2.2 Cálculo de la rugosidad

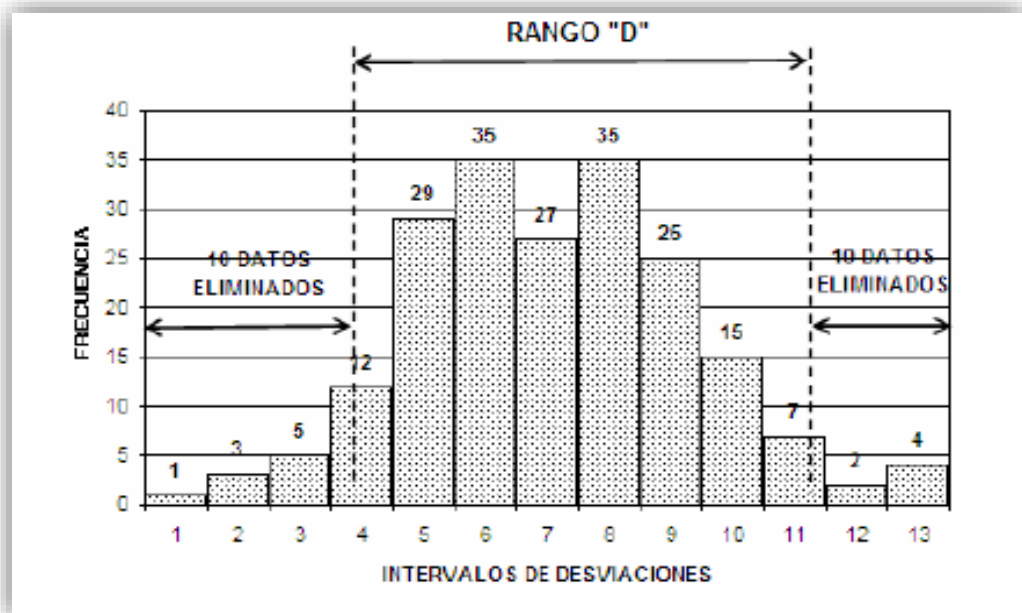
Para la determinación del valor de la rugosidad en tramos de evaluación

cada 400 m. donde se generaron 200 lecturas de acuerdo a las posiciones que adopta el brazo móvil sobre el tablero graduado con valores de 1 al 50.

Las lecturas obtenidas por cada tramo de evaluación en un total de 200 utilizando el rugosímetro de MERLIN, y con los datos obtenidos se grafica la distribución de frecuencias de las 200 lecturas en el rango de valores de 1 al 50 en forma de histograma, ver figura 13. Luego se descarta el 10% de datos poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 10 datos del lado izquierdo y datos del lado derecho. (Del Aguila, 1999)

Figura 13

Histograma de la distribución de frecuencias.



Nota. (Del Aguila, 1999)

Una vez realizado eliminado los datos de la izquierda y la derecha, se procede a calcular ancho del histograma en unidades MERLIN, y como consecuencia de la eliminación resultan fracciones para cada lado.

El Rango D se determina sumando los valores del histograma lado izquierdo y el lado derecho, más los valores de la zona central expresado en milímetros, finalmente multiplicar el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros.

$$\text{Rango D} = \text{suma de los valores} \times 5\text{mm} = \text{total rango D mm.}$$

Cálculo de IRI

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.047D$$

Donde:

IRI = rugosidad

D = rango D

2.2.3 Uso del aplicativo ABAKAL en teléfonos inteligentes de gama alta

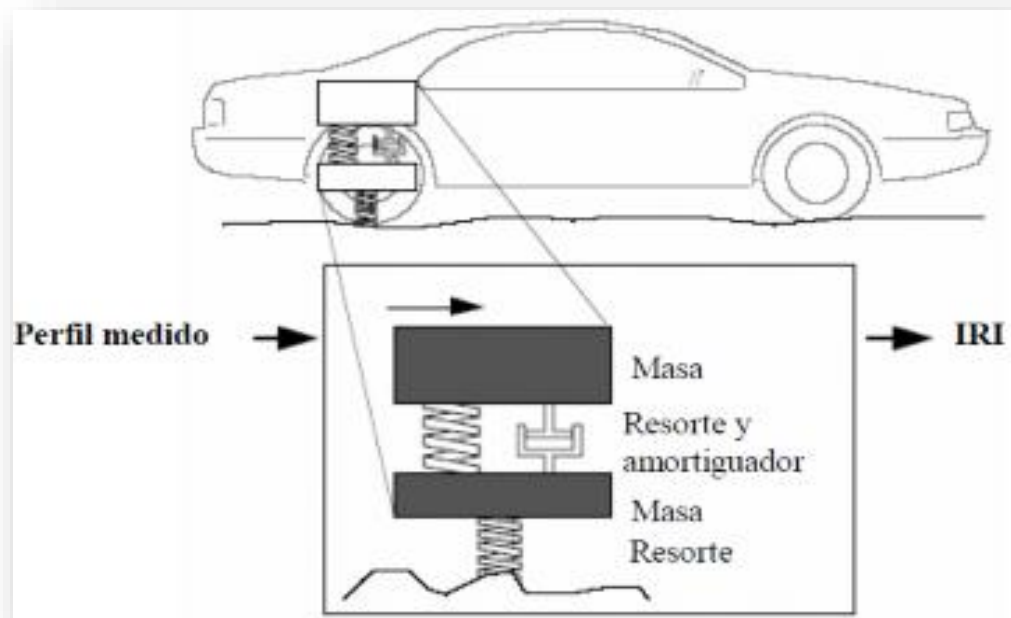
Para la determinación de la rugosidad los teléfonos inteligentes de gama alta utilizan sus sensores de vibración y el GPS de Android que se encuentran en los teléfonos inteligentes, el aplicativo realiza gráficas en el google earth y presenta

resultados del valor IRI cada 100 m., la metodología que utilizan los Smartphone es el modelo de cuarto de coche.

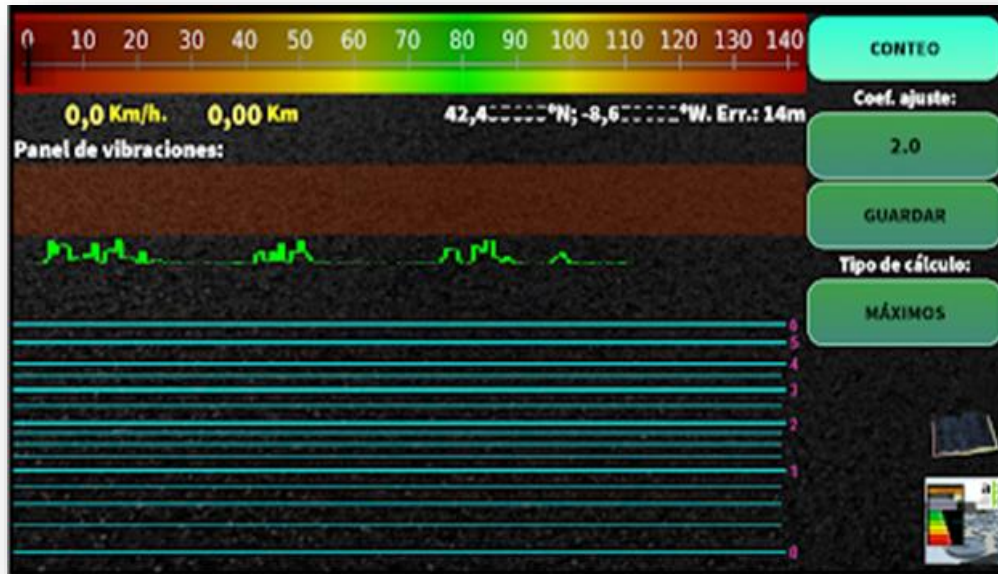
El modelo del cuarto de coche, es una representación de una rueda posterior de un coche, mediante la masa, el resorte, el amortiguador y la flexibilidad de la llanta. En el modelo de cuarto de coche establece la medición de los movimientos verticales atribuibles a las irregularidades en el perfil longitudinal.

Figura 14

Modelo de cuarto de coche



Nota. (ABAKAL, 2020).

Figura 15*Aplicativo ABAKAL*

Nota. (ABAKAL, 2020)

2.2.3.1 Velocidad de evaluación

Para los ensayos en la evaluación de la rugosidad del pavimento flexible se deben desarrollar velocidades constantes aproximadamente de 80 km/h, en carreteras, pero en zonas urbanas se pueden realizar las pruebas con velocidades constantes de 40 a 60 km/h por la alta concentración de flujos vehiculares en la zona urbana.

2.2.3.2 Ubicación del equipo en el vehículo

La colocación del portacelular debe estar apoyado en el parabrisas, porque facilita en la operación y ajustes en el celular, para la calibración de la utilización de

los métodos estadísticos o los máximos.

Figura 16

Ubicación del teléfono en el parabrisas del vehículo.



Nota. (ABAKAL, 2020)

2.2.3.3 Tipos de cálculo con el ABAKAL

Para el cálculo de la rugosidad el aplicativo ABAKAL, considera los métodos estadísticos y el método de los máximos.

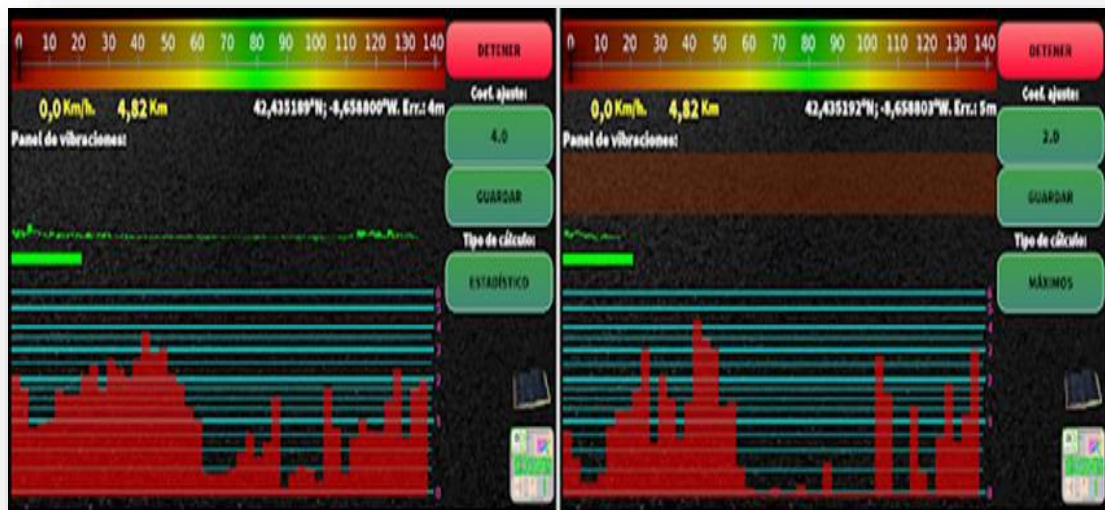
El método estadístico deriva de la ponderación relativa de primer y segundo orden de la vibración transmitida por el vehículo al dispositivo. El coeficiente de ajuste eleva (o reduce) dicha ponderación.

Para determinar cuál de los métodos es el más óptimo, o cuales se adaptan mejor al sistema vehículo - Smartphone, se tiene que realizar comparaciones con

otros métodos que calculan la rugosidad, para la elección del mejor en cada caso. Se pueden utilizar cualquier tipo de vehículo en las pruebas, pero si se cambia de vehículo o el teléfono inteligente se tiene que repetir las pruebas.

Figura 17

Métodos de cálculo, estadísticos y máximos



Nota. (ABAKAL, 2020)

2.2.3.4 Generación de informe por el aplicativo

El aplicativo ABAKAL determina tres tipos de resultados, considerando tres tipos de archivos, que son guardados en una carpeta “/storage/0/Abakal/IRI”

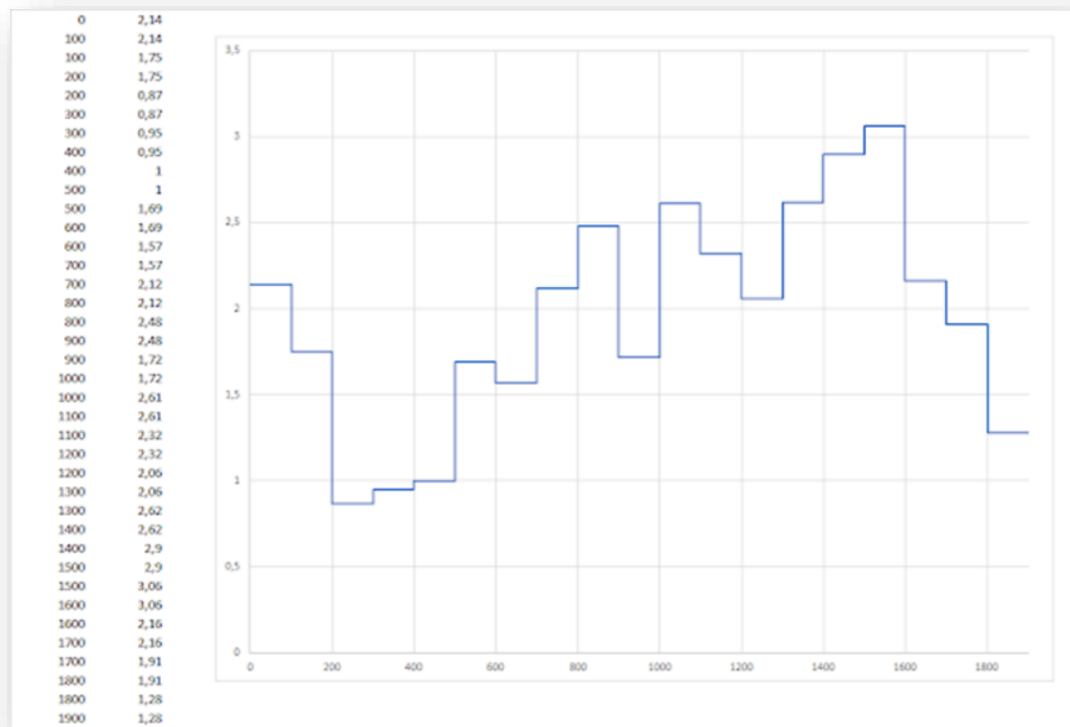
- El archivo informe IRI.csv, archivo en Excel que nos ayuda a realizar las gráficas de las evaluaciones por carril o calzada.
- El archivo informe IRI2.csv, archivo en Excel que sirve como una tabla de

control.

- El archivo informe IRI.kml, donde presenta el recorrido de la evaluación de la calzada de ingreso y salida en Google Earth.

Figura 18

Informe IRI.csv



Nota. En la figura se muestra la forma de graficos se generan con los datos obtenidos cada 100 m. (ABAKAL, 2020)

Tabla 3

Valores IRI determinados mediante el Informe IRI2.csv

| 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. En la figura muestra la presentacion del resultado de (ABAKAL, 2020)

Figura 19

Informe grafica IRI.kml, del recorrido de evaluación



Nota. En la figura muestra el recorrido de la evaluación, tomado de (ABAKAL, 2020)

2.3 Definición de conceptos

- **TRANSITABILIDAD**

Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura el estado funcional adecuado del pavimento.

- **ABAKAL.**

Aplicativo español desarrollado por la Empresa Abakal Ingenieros Consultores, que calcula el IRI mediante el uso de los sensores de vibración y el GPS del Android de los teléfonos inteligentes, el cual entrega sus resultados con graficas e informe cada 100 m. Por otro lado, el modelo que utiliza es el modelo de cuarto de coche.

- **ROADROID.**

Aplicativo creado para teléfonos inteligentes, esta aplicación busca utilizar las herramientas preinstaladas que hay en los teléfonos inteligentes, de tal manera que pueda ser capaz de medir la rugosidad en pavimentos.

- **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 MERLIN.**

Instrumento diseñado por el Banco Mundial, específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento que significa Machine for Evaluating Roughness using Low cost Instrumentation.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo Aplicada, porque está centrada en encontrar una alternativa al uso de nuevas metodologías en la evaluación funcional de pavimentos, como el uso de aplicativos en teléfonos inteligentes y métodos convencionales como el MERLIN. (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014)

3.1.2 Nivel de la investigación

Se considera la investigación como nivel 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. (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014)

3.2 Población y/o muestra de estudio

3.2.1 Población

La población para el estudio son las calles y avenidas del distrito de Calana (carretera TA-615, carretera PE-040) vías de comunicación importante entre Tacna, Calana, Pachia, Palca y Tacna-Collpa-La Paz, los pobladores agrarios del distrito de Calana y Pachia usan con mucha frecuencia la avenida Varela que viene a ser parte de la carretera TA615, por ser una vía libre de flujo vehicular, que luego interconecta con la población de Tacna, para la comercialización de sus productos agrícolas en el mercado regional.

3.2.2 Muestra

La muestra de estudio es la avenida Gral. Varela, desde TA-616 hasta el puente El Peligro en el distrito de Calana – toda la zona urbana del pueblo tradicional de Calana; donde presentan fallas en la capa de rodadura del pavimento.

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable dependiente

Analizar el IRI del pavimento

- Definición conceptual:

La aplicación de ABAKAL y MERLIN son métodos que determinan el IRI, índice de rugosidad internacional cuyos resultados nos permiten determinar la condición de la vía, para ejecutar conservación y mantenimiento de vía.

- Definición operacional:

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

Indicadores

- Aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL.
- Índice ABAKAL (IRI)
- Rugosímetro de MERLIN.
- Esquema del rugosímetro
- Cálculo del rango D
- Transitabilidad en función del valor IRI

3.3.2 Variable independiente

Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN

- Definición conceptual:

La rugosidad medida por el rugosímetro de MERLIN y el aplicativo ABAKAL que determina la transitabilidad en función del IRI del pavimento.

- Definición operacional:

IRI, Índice de rugosidad internacional, cuyo rango va de 0 (un pavimento ideal, sin ninguna imperfección) hasta 12 (una carretera completamente intransitable) normalmente.

Indicadores

- Rugosidad de los pavimentos
- Índice internacional de rugosidad
- Escala y características del IRI
- Cálculo del índice de rugosidad
- Índice de transitabilidad en función del IRI

3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La metodología desarrollada es el uso de un teléfono inteligente de alta gama (Samsung Galaxy Note 10), mediante el uso del aplicativo ABAKAL y el uso del Rugosímetro de MERLIN, para el cálculo de la rugosidad o regularidad internacional, y en base a los datos determinados por ambas metodologías, realizar un comparativo en la calificación del estado del pavimento y el nivel de la transitabilidad en la avenida Gral. Varela tramo: TA-615 - Puente El Peligro.

Para la recolección de datos utilizando el Rugosímetro de MERLIN, consiste en obtener datos en ambos carriles en tramos de 400 m., se mide 200 desviaciones cada dos metros en forma consecutiva en toda la vía, obteniendo un valor del IRI en m/km.

3.4.1 Técnicas

Se procesarán los datos de acuerdo a los ensayos efectuados en campo, de acuerdo a la metodología utilizada, la aplicación del ABAKAL en teléfonos inteligentes y la utilización del rugosímetro de MERLIN. Finalmente, se efectuará un comparativo entre los resultados de la calificación del estado del pavimento y el nivel de transitabilidad, en función del valor IRI obtenidos por ambas metodologías.

3.4.2 Evaluación de campo

Para la recolección de datos mediante la utilización del aplicativo ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, desarrollado por un equipo de trabajo en campo conformados por:

- Tesista Bach. Olger Bladimir Calderón Huayta
- Tesista Bach. Percy Jared Marona Barja
- Asistente técnico

Figura 20

Evaluación de la rugosidad en la Av. Varela, carril de subida



Figura 21

Continúa la evaluación de la rugosidad en la Av. Varela, carril de subida



Figura 22

Inicio de evaluación desde Puente El Peligro-Calana, carril de bajada

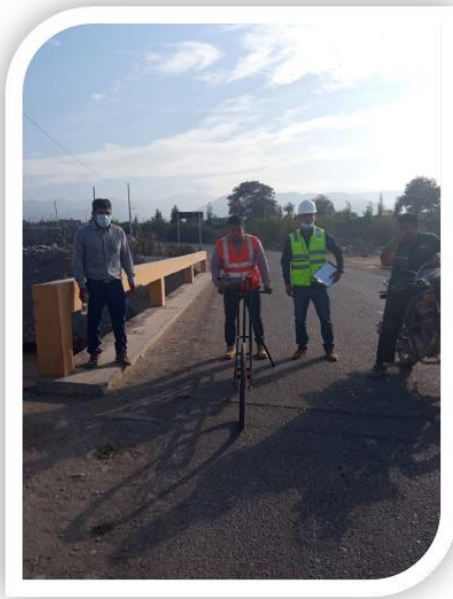


Figura 23

Evaluación de la rugosidad Av. Gral. Varela, carril de bajada

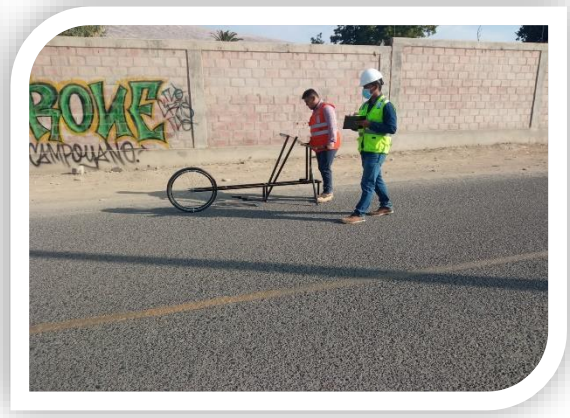


Figura 24

Utilización del aplicativo ABAKAL en Samsung Galaxy Note 10

**Figura 25**

Evaluación de la rugosidad utilizando el aplicativo ABAKAL, Av. Gral. Varela, carril de subida



Figura 26

Vehículo utilizado en la determinación de la rugosidad utilizando el aplicativo ABAKAL, Av. Gral. Varela

**3.4.3 Materiales**

- PC, impresora
- Reportes de Campo
- Odómetro manual
- Regla
- Conos de seguridad
- Plano de distribución.
- Fichas de Observación.

3.4.4 Instrumentos

- Rugosímetro de MERLIN.
- Teléfono inteligente Smartphone, con aplicativo ABAKAL
- Guías de observación y formatos de campo
- Cámara fotográfica.

3.5 Análisis de datos

En base a la información obtenida de los reportes del Aplicativo ABAKAL referidos al IRI, se procesan los datos adicionales al aplicativo utilizando la hoja electrónica EXCEL.

En el uso del Rugosímetro de MERLIN en la avenida Varela, determinado en ambos carriles en tramos de 400 m. se determinó el valor IRI por tramo y para el procesamiento de los datos y cálculos se utiliza la hoja electrónica Excel

Finalmente, con la información de los reportes de ambas metodologías se pudieron establecer cuadros comparativos de similitud para proponer una metodología de intervención.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultado del valor IRI obtenido con el rugosímetro de MERLIN

En campo se evalúan tramos de 400 m., ejecutando las lecturas cada 2 m. obteniendo como resultado del tramo evaluado 200 lecturas, para nuestra investigación, para determinar el valor IRI se efectuaron 6 tramos de ensayo en el carril de bajada y 6 tramos de ensayo en el carril de subida de la Avenida Gral. Varela en el distrito de Calana, provincia de Tacna

4.1.1 Lecturas de campo obtenidas con el rugosímetro de MERLIN

Consiste en obtener las lecturas en ambos carriles en tramos de 400 m., obteniendo como resultado 200 desviaciones cada 2 m. en forma consecutiva en todo el tramo que corresponden al carril de subida y bajada, los cuales presentamos a continuación:

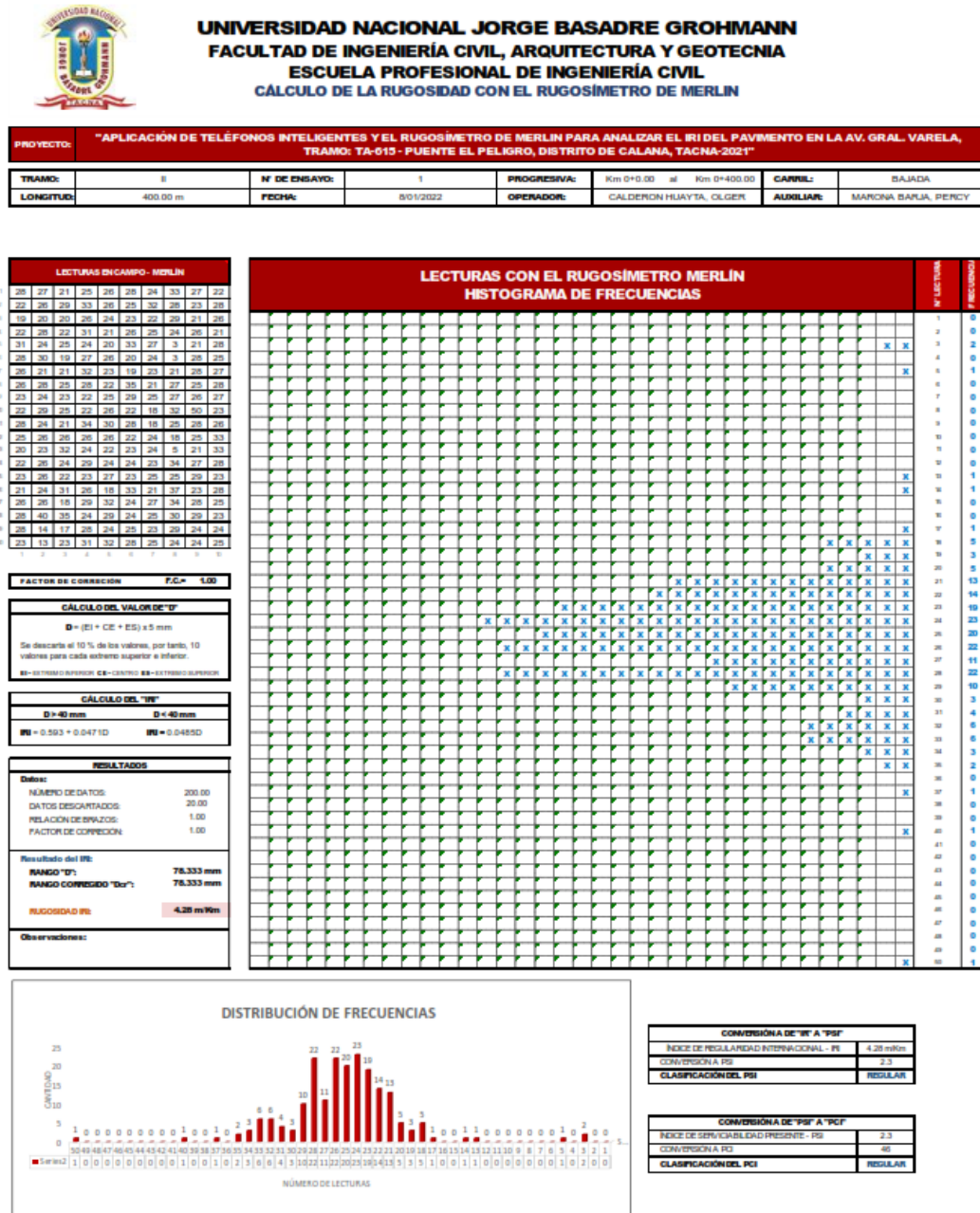
CARRIL DE BAJADA**Tabla 4***Ficha de campo, tramo de ensayo 1 en la progresiva 0+000 – 0+400*

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 28 | 27 | 21 | 25 | 26 | 28 | 24 | 33 | 27 | 22 |
| 2 | 22 | 26 | 29 | 33 | 26 | 25 | 32 | 28 | 23 | 28 |
| 3 | 19 | 20 | 20 | 26 | 24 | 23 | 22 | 29 | 21 | 26 |
| 4 | 22 | 28 | 22 | 31 | 21 | 26 | 25 | 24 | 26 | 21 |
| 5 | 31 | 24 | 25 | 24 | 20 | 33 | 27 | 3 | 21 | 28 |
| 6 | 28 | 30 | 19 | 27 | 26 | 20 | 24 | 3 | 28 | 25 |
| 7 | 26 | 21 | 21 | 32 | 23 | 19 | 23 | 21 | 28 | 27 |
| 8 | 26 | 28 | 25 | 28 | 22 | 35 | 21 | 27 | 25 | 28 |
| 9 | 23 | 24 | 23 | 22 | 25 | 29 | 25 | 27 | 26 | 27 |
| 10 | 22 | 29 | 25 | 22 | 26 | 22 | 18 | 32 | 50 | 23 |
| 11 | 28 | 24 | 21 | 34 | 30 | 28 | 18 | 25 | 28 | 26 |
| 12 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 22 | 24 | 18 | 25 | 33 |
| 13 | 20 | 23 | 32 | 24 | 22 | 23 | 24 | 5 | 21 | 33 |
| 14 | 22 | 26 | 24 | 29 | 24 | 24 | 23 | 34 | 27 | 28 |
| 15 | 23 | 26 | 22 | 23 | 27 | 23 | 25 | 25 | 29 | 23 |
| 16 | 21 | 24 | 31 | 26 | 18 | 33 | 21 | 37 | 23 | 28 |
| 17 | 26 | 26 | 18 | 29 | 32 | 24 | 27 | 34 | 28 | 25 |
| 18 | 28 | 40 | 35 | 24 | 29 | 24 | 25 | 30 | 29 | 23 |
| 19 | 28 | 14 | 17 | 28 | 24 | 25 | 23 | 29 | 24 | 24 |
| 20 | 23 | 13 | 23 | 31 | 32 | 28 | 25 | 24 | 24 | 25 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 1 en el carril de bajada

Figura 27

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 1



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 4.28 m/km y PSI = 2.3

Tabla 5*Ficha de campo, tramo de ensayo 2 en la progresiva 0+400 – 0+800*

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 24 | 25 | 27 | 29 | 25 | 23 | 29 | 31 | 22 | 19 |
| 2 | 31 | 17 | 28 | 27 | 27 | 24 | 23 | 27 | 21 | 26 |
| 3 | 31 | 31 | 25 | 26 | 20 | 13 | 27 | 25 | 23 | 27 |
| 4 | 26 | 23 | 18 | 22 | 27 | 25 | 28 | 16 | 25 | 26 |
| 5 | 14 | 22 | 27 | 26 | 26 | 20 | 28 | 24 | 26 | 24 |
| 6 | 41 | 23 | 27 | 26 | 23 | 24 | 29 | 29 | 22 | 25 |
| 7 | 21 | 21 | 26 | 25 | 21 | 26 | 25 | 25 | 22 | 27 |
| 8 | 9 | 20 | 22 | 27 | 19 | 27 | 30 | 24 | 24 | 23 |
| 9 | 21 | 24 | 32 | 7 | 25 | 18 | 22 | 29 | 27 | 22 |
| 10 | 28 | 28 | 23 | 22 | 20 | 25 | 26 | 23 | 23 | 22 |
| 11 | 31 | 30 | 27 | 27 | 29 | 27 | 25 | 25 | 24 | 20 |
| 12 | 21 | 22 | 23 | 28 | 22 | 28 | 28 | 19 | 23 | 24 |
| 13 | 27 | 24 | 34 | 25 | 26 | 22 | 29 | 23 | 20 | 28 |
| 14 | 27 | 28 | 39 | 26 | 21 | 45 | 26 | 22 | 28 | 26 |
| 15 | 25 | 29 | 31 | 26 | 19 | 28 | 25 | 21 | 24 | 25 |
| 16 | 21 | 28 | 17 | 27 | 24 | 28 | 28 | 26 | 26 | 24 |
| 17 | 30 | 24 | 32 | 26 | 22 | 30 | 29 | 19 | 19 | 32 |
| 18 | 28 | 31 | 23 | 25 | 20 | 25 | 32 | 23 | 27 | 24 |
| 30 | 40 | 26 | 21 | 27 | 27 | 24 | 25 | 24 | 24 | 30 |
| 20 | 21 | 26 | 21 | 26 | 23 | 20 | 30 | 15 | 26 | 22 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 2 en el carril de bajada

Tabla 6

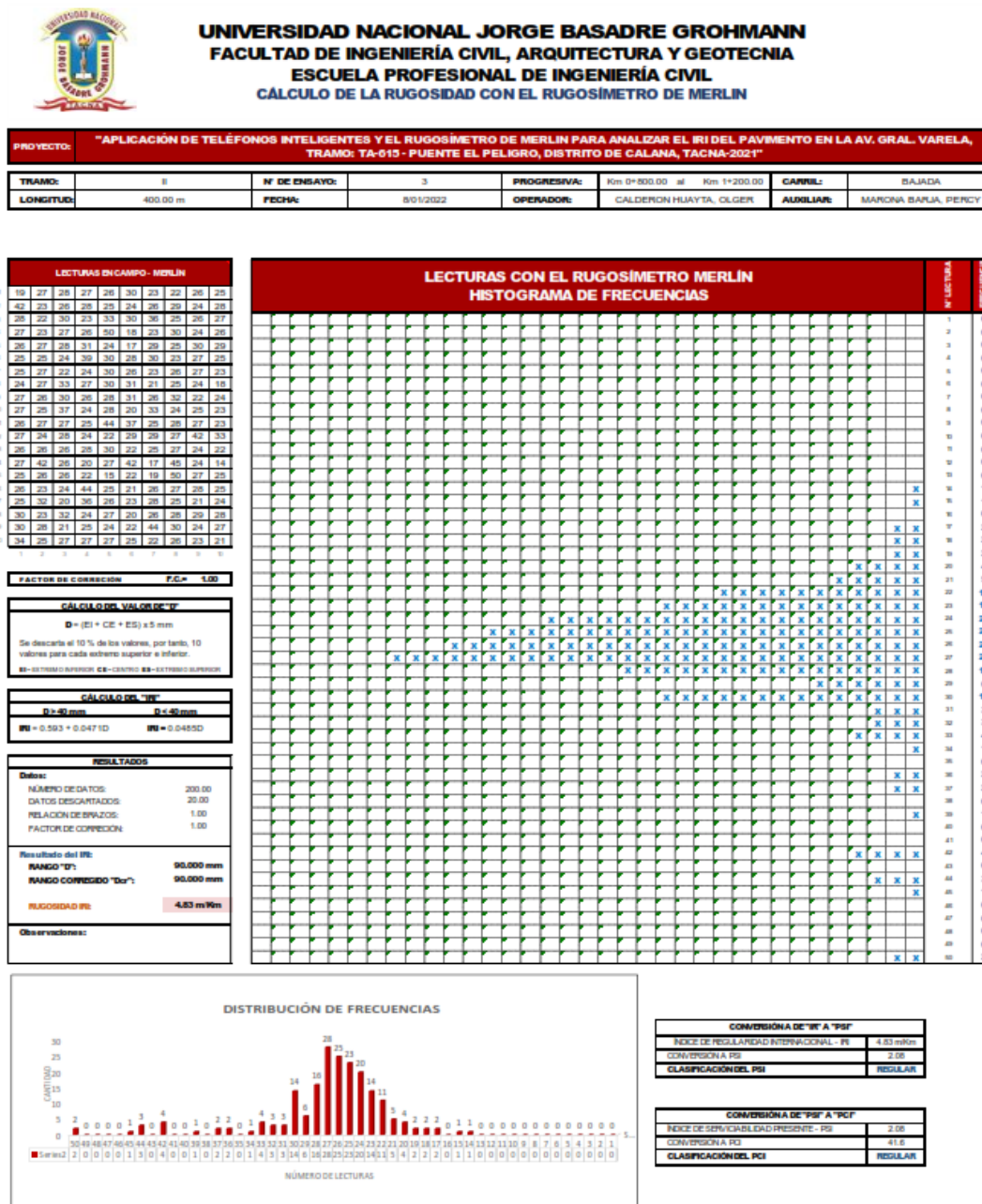
Ficha de campo, tramo de ensayo 3 en la progresiva 0+800 – 1+200

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 19 | 27 | 28 | 27 | 26 | 30 | 23 | 22 | 26 | 25 |
| 2 | 42 | 23 | 26 | 28 | 25 | 24 | 26 | 29 | 24 | 28 |
| 3 | 28 | 22 | 30 | 23 | 33 | 30 | 36 | 25 | 26 | 27 |
| 4 | 27 | 23 | 27 | 26 | 50 | 18 | 23 | 30 | 24 | 26 |
| 5 | 26 | 27 | 28 | 31 | 24 | 17 | 29 | 25 | 30 | 29 |
| 6 | 25 | 25 | 24 | 39 | 30 | 28 | 30 | 23 | 27 | 25 |
| 7 | 25 | 27 | 22 | 24 | 30 | 26 | 23 | 26 | 27 | 23 |
| 8 | 24 | 27 | 33 | 27 | 30 | 31 | 21 | 25 | 24 | 18 |
| 9 | 27 | 26 | 30 | 26 | 28 | 31 | 26 | 32 | 22 | 24 |
| 10 | 27 | 25 | 37 | 24 | 28 | 20 | 33 | 24 | 25 | 23 |
| 11 | 26 | 27 | 27 | 25 | 44 | 37 | 25 | 28 | 27 | 23 |
| 12 | 27 | 24 | 28 | 24 | 22 | 29 | 29 | 27 | 42 | 33 |
| 13 | 26 | 26 | 26 | 28 | 30 | 22 | 25 | 27 | 24 | 22 |
| 14 | 27 | 42 | 26 | 20 | 27 | 42 | 17 | 45 | 24 | 14 |
| 15 | 25 | 26 | 26 | 22 | 15 | 22 | 19 | 50 | 27 | 25 |
| 16 | 26 | 23 | 24 | 44 | 25 | 21 | 26 | 27 | 28 | 25 |
| 17 | 25 | 32 | 20 | 36 | 26 | 23 | 28 | 25 | 21 | 24 |
| 18 | 30 | 23 | 32 | 24 | 27 | 20 | 26 | 28 | 29 | 28 |
| 30 | 30 | 28 | 21 | 25 | 24 | 22 | 44 | 30 | 24 | 27 |
| 20 | 34 | 25 | 27 | 27 | 27 | 25 | 22 | 26 | 23 | 21 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 3 en el carril de bajada

Figura 29

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 3



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 4.83 m/km y PSI = 2.08

Tabla 7

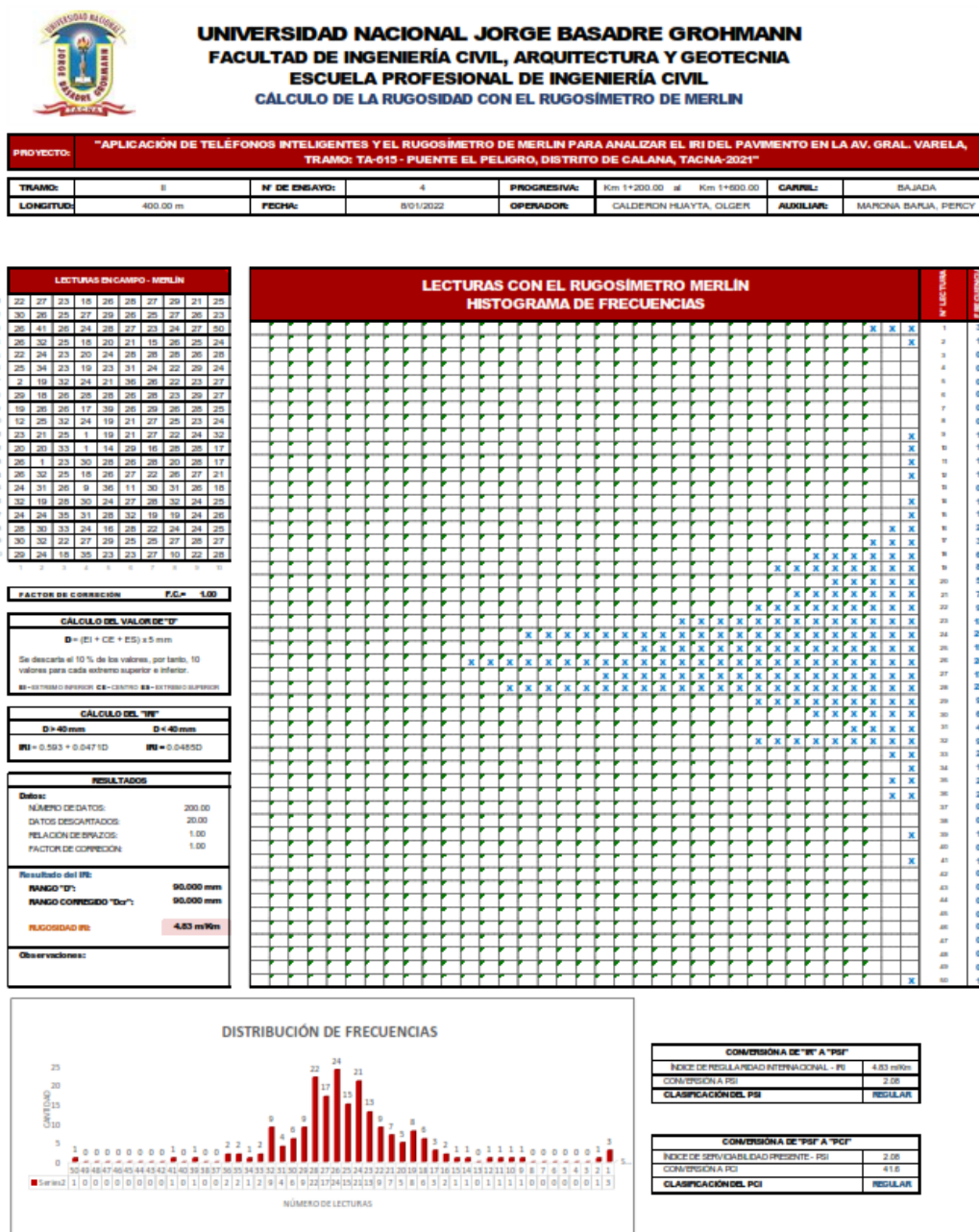
Ficha de campo, tramo de ensayo 4 en la progresiva 1+200 – 1+600

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 22 | 27 | 23 | 18 | 26 | 28 | 27 | 29 | 21 | 25 |
| 2 | 30 | 26 | 25 | 27 | 29 | 26 | 25 | 27 | 26 | 23 |
| 3 | 26 | 41 | 26 | 24 | 28 | 27 | 23 | 24 | 27 | 50 |
| 4 | 26 | 32 | 25 | 18 | 20 | 21 | 15 | 26 | 25 | 24 |
| 5 | 22 | 24 | 23 | 20 | 24 | 28 | 28 | 28 | 26 | 28 |
| 6 | 25 | 34 | 23 | 19 | 23 | 31 | 24 | 22 | 29 | 24 |
| 7 | 2 | 19 | 32 | 24 | 21 | 36 | 26 | 22 | 23 | 27 |
| 8 | 29 | 18 | 26 | 28 | 28 | 26 | 28 | 23 | 29 | 27 |
| 9 | 19 | 26 | 26 | 17 | 39 | 26 | 29 | 26 | 28 | 25 |
| 10 | 12 | 25 | 32 | 24 | 19 | 21 | 27 | 25 | 23 | 24 |
| 11 | 23 | 21 | 25 | 1 | 19 | 21 | 27 | 22 | 24 | 32 |
| 12 | 20 | 20 | 33 | 1 | 14 | 29 | 16 | 28 | 28 | 17 |
| 13 | 26 | 1 | 23 | 30 | 28 | 26 | 28 | 20 | 28 | 17 |
| 14 | 26 | 32 | 25 | 18 | 26 | 27 | 22 | 26 | 27 | 21 |
| 15 | 24 | 31 | 26 | 9 | 36 | 11 | 30 | 31 | 26 | 18 |
| 16 | 32 | 19 | 28 | 30 | 24 | 27 | 28 | 32 | 24 | 25 |
| 17 | 24 | 24 | 35 | 31 | 28 | 32 | 19 | 19 | 24 | 26 |
| 18 | 28 | 30 | 33 | 24 | 16 | 28 | 22 | 24 | 24 | 25 |
| 30 | 30 | 32 | 22 | 27 | 29 | 25 | 25 | 27 | 28 | 27 |
| 20 | 29 | 24 | 18 | 35 | 23 | 23 | 27 | 10 | 22 | 28 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 4 en el carril de bajada

Figura 30

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 4



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 4.83 m/km y PSI = 2.08

Tabla 8

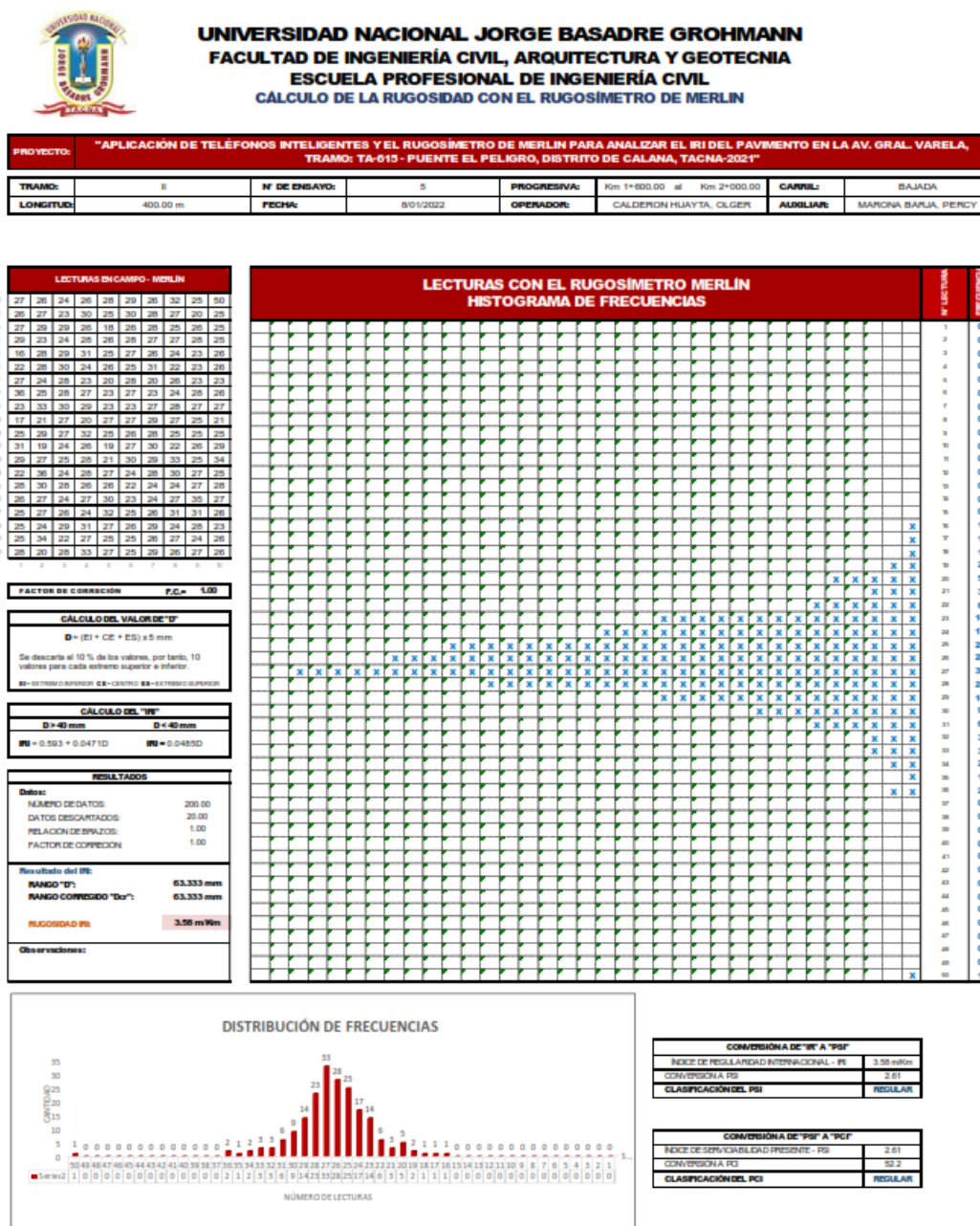
Ficha de campo, tramo de ensayo 5 en la progresiva 1+600 – 2+000

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 27 | 26 | 24 | 26 | 28 | 29 | 26 | 32 | 25 | 50 |
| 2 | 26 | 27 | 23 | 30 | 25 | 30 | 28 | 27 | 20 | 25 |
| 3 | 27 | 29 | 29 | 26 | 18 | 26 | 28 | 25 | 26 | 25 |
| 4 | 29 | 23 | 24 | 28 | 26 | 28 | 27 | 27 | 28 | 25 |
| 5 | 16 | 28 | 29 | 31 | 25 | 27 | 26 | 24 | 23 | 26 |
| 6 | 22 | 28 | 30 | 24 | 26 | 25 | 31 | 22 | 23 | 26 |
| 7 | 27 | 24 | 28 | 23 | 20 | 28 | 20 | 26 | 23 | 23 |
| 8 | 36 | 25 | 28 | 27 | 23 | 27 | 23 | 24 | 28 | 26 |
| 9 | 23 | 33 | 30 | 29 | 23 | 23 | 27 | 28 | 27 | 27 |
| 10 | 17 | 21 | 27 | 20 | 27 | 27 | 29 | 27 | 25 | 21 |
| 11 | 25 | 29 | 27 | 32 | 25 | 26 | 28 | 25 | 25 | 25 |
| 12 | 31 | 19 | 24 | 26 | 19 | 27 | 30 | 22 | 26 | 29 |
| 13 | 29 | 27 | 25 | 28 | 21 | 30 | 29 | 33 | 25 | 34 |
| 14 | 22 | 36 | 24 | 28 | 27 | 24 | 28 | 30 | 27 | 25 |
| 15 | 28 | 30 | 28 | 26 | 26 | 22 | 24 | 24 | 27 | 28 |
| 16 | 26 | 27 | 24 | 27 | 30 | 23 | 24 | 27 | 35 | 27 |
| 17 | 25 | 27 | 26 | 24 | 32 | 25 | 26 | 31 | 31 | 26 |
| 18 | 25 | 24 | 29 | 31 | 27 | 26 | 29 | 24 | 28 | 23 |
| 30 | 25 | 34 | 22 | 27 | 25 | 25 | 26 | 27 | 24 | 26 |
| 20 | 28 | 20 | 28 | 33 | 27 | 25 | 29 | 26 | 27 | 26 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 5 en el carril de bajada

Figura 31

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 5



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 3.58 m/km y PSI = 2.61

Tabla 9

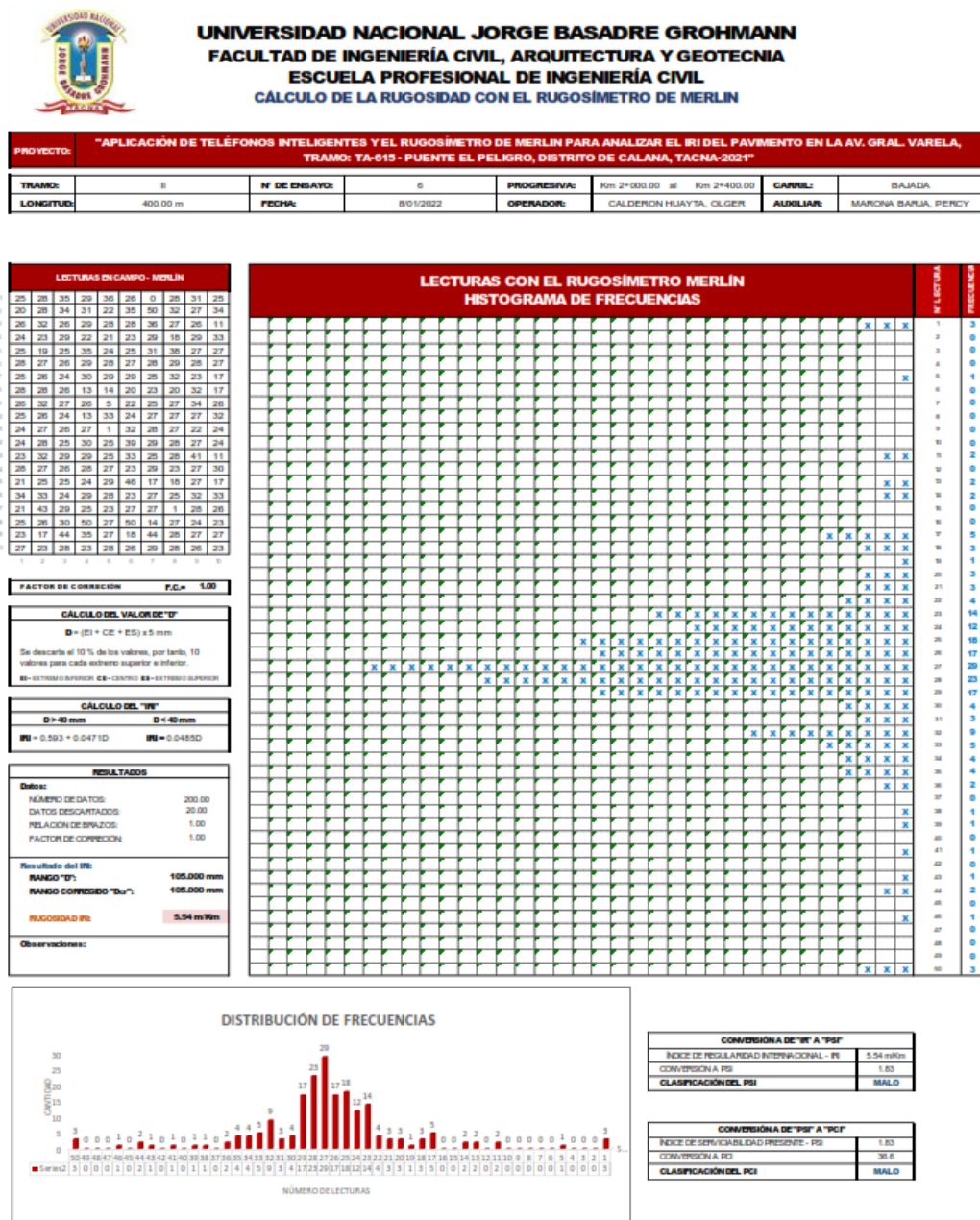
Ficha de campo, tramo de ensayo 6 en la progresiva 2+000 – 2+400

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 25 | 28 | 35 | 29 | 36 | 26 | 0 | 28 | 31 | 25 |
| 2 | 20 | 28 | 34 | 31 | 22 | 35 | 50 | 32 | 27 | 34 |
| 3 | 26 | 32 | 26 | 29 | 28 | 28 | 36 | 27 | 26 | 11 |
| 4 | 24 | 23 | 29 | 22 | 21 | 23 | 29 | 18 | 29 | 33 |
| 5 | 25 | 19 | 25 | 35 | 24 | 25 | 31 | 38 | 27 | 27 |
| 6 | 28 | 27 | 26 | 29 | 28 | 27 | 28 | 29 | 28 | 27 |
| 7 | 25 | 26 | 24 | 30 | 29 | 29 | 25 | 32 | 23 | 17 |
| 8 | 28 | 28 | 26 | 13 | 14 | 20 | 23 | 20 | 32 | 17 |
| 9 | 26 | 32 | 27 | 26 | 5 | 22 | 25 | 27 | 34 | 26 |
| 10 | 25 | 26 | 24 | 13 | 33 | 24 | 27 | 27 | 27 | 32 |
| 11 | 24 | 27 | 26 | 27 | 1 | 32 | 28 | 27 | 22 | 24 |
| 12 | 24 | 28 | 25 | 30 | 25 | 39 | 29 | 28 | 27 | 24 |
| 13 | 23 | 32 | 29 | 29 | 25 | 33 | 25 | 28 | 41 | 11 |
| 14 | 28 | 27 | 26 | 28 | 27 | 23 | 29 | 23 | 27 | 30 |
| 15 | 21 | 25 | 25 | 24 | 29 | 46 | 17 | 18 | 27 | 17 |
| 16 | 34 | 33 | 24 | 29 | 28 | 23 | 27 | 25 | 32 | 33 |
| 17 | 21 | 43 | 29 | 25 | 23 | 27 | 27 | 1 | 28 | 26 |
| 18 | 25 | 26 | 30 | 50 | 27 | 50 | 14 | 27 | 24 | 23 |
| 30 | 23 | 17 | 44 | 35 | 27 | 18 | 44 | 28 | 27 | 27 |
| 20 | 27 | 23 | 28 | 23 | 28 | 26 | 29 | 28 | 26 | 23 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 6 en el carril de bajada

Figura 32

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 1, ensayo 6



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 5.54 m/km y PSI = 1.83

CARRIL DE SUBIDA

Tabla 10

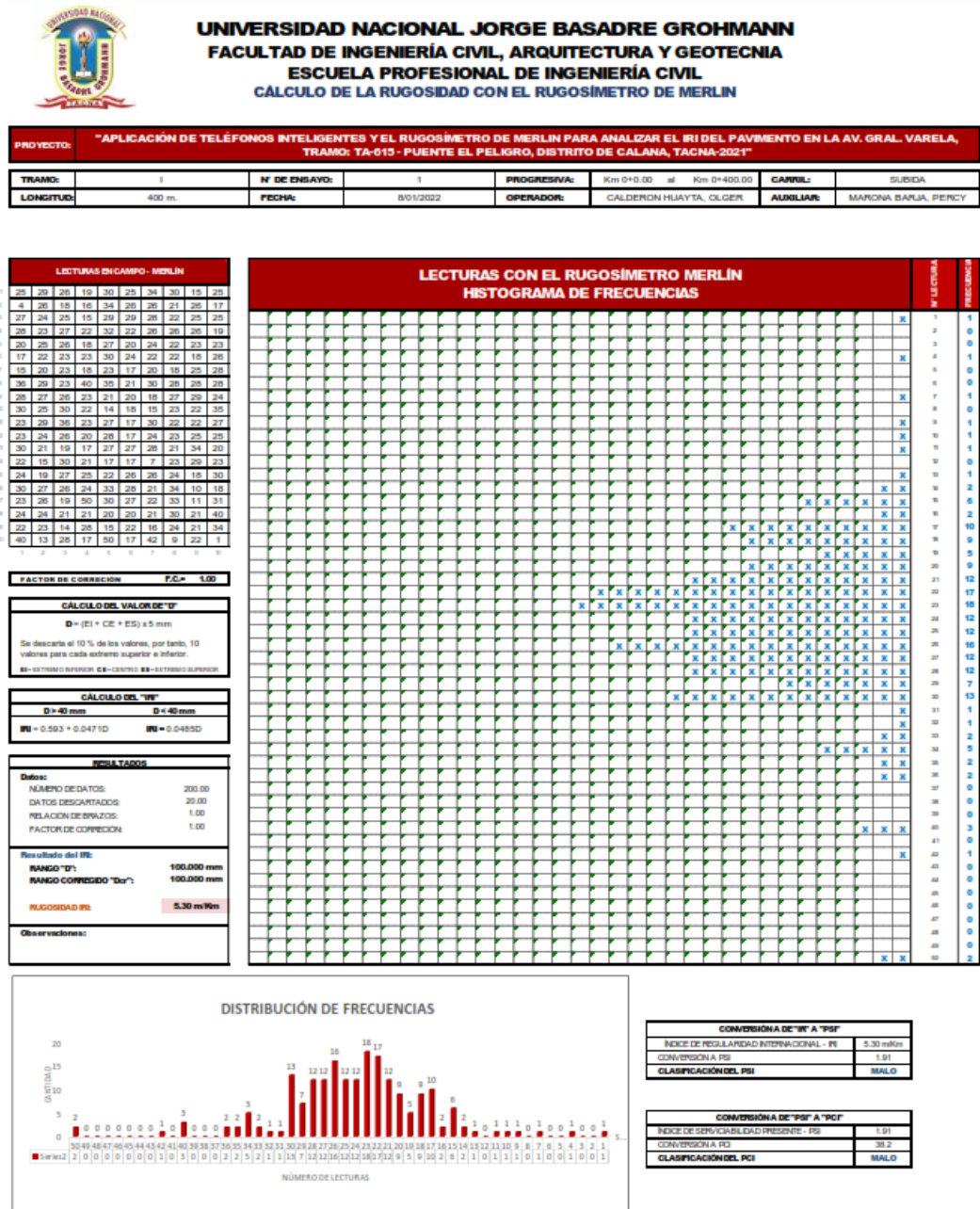
Ficha de campo, tramo de ensayo 1 en la progresiva 0+000 – 0+400

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 25 | 29 | 26 | 19 | 30 | 25 | 34 | 30 | 15 | 25 |
| 2 | 4 | 26 | 18 | 16 | 34 | 26 | 26 | 21 | 26 | 17 |
| 3 | 27 | 24 | 25 | 15 | 29 | 29 | 28 | 22 | 25 | 25 |
| 4 | 28 | 23 | 27 | 22 | 32 | 22 | 26 | 26 | 26 | 19 |
| 5 | 20 | 25 | 26 | 18 | 27 | 20 | 24 | 22 | 23 | 23 |
| 6 | 17 | 22 | 23 | 23 | 30 | 24 | 22 | 22 | 18 | 26 |
| 7 | 15 | 20 | 23 | 18 | 23 | 17 | 20 | 18 | 25 | 28 |
| 8 | 36 | 29 | 23 | 40 | 35 | 21 | 30 | 28 | 28 | 28 |
| 9 | 28 | 27 | 26 | 23 | 21 | 20 | 18 | 27 | 29 | 24 |
| 10 | 30 | 25 | 30 | 22 | 14 | 18 | 15 | 23 | 22 | 35 |
| 11 | 23 | 29 | 36 | 23 | 27 | 17 | 30 | 22 | 22 | 27 |
| 12 | 23 | 24 | 26 | 20 | 28 | 17 | 24 | 23 | 25 | 25 |
| 13 | 30 | 21 | 19 | 17 | 27 | 27 | 28 | 21 | 34 | 20 |
| 14 | 22 | 15 | 30 | 21 | 17 | 17 | 7 | 23 | 29 | 23 |
| 15 | 24 | 19 | 27 | 25 | 22 | 26 | 26 | 24 | 18 | 30 |
| 16 | 30 | 27 | 26 | 24 | 33 | 28 | 21 | 34 | 10 | 18 |
| 17 | 23 | 26 | 19 | 50 | 30 | 27 | 22 | 33 | 11 | 31 |
| 18 | 24 | 24 | 21 | 21 | 20 | 20 | 21 | 30 | 21 | 40 |
| 19 | 22 | 23 | 14 | 28 | 15 | 22 | 16 | 24 | 21 | 34 |
| 20 | 40 | 13 | 28 | 17 | 50 | 17 | 42 | 9 | 22 | 1 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 1 en el carril de subida

Figura 33

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 1



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 5.30 m/km y PSI = 1.91

Tabla 11

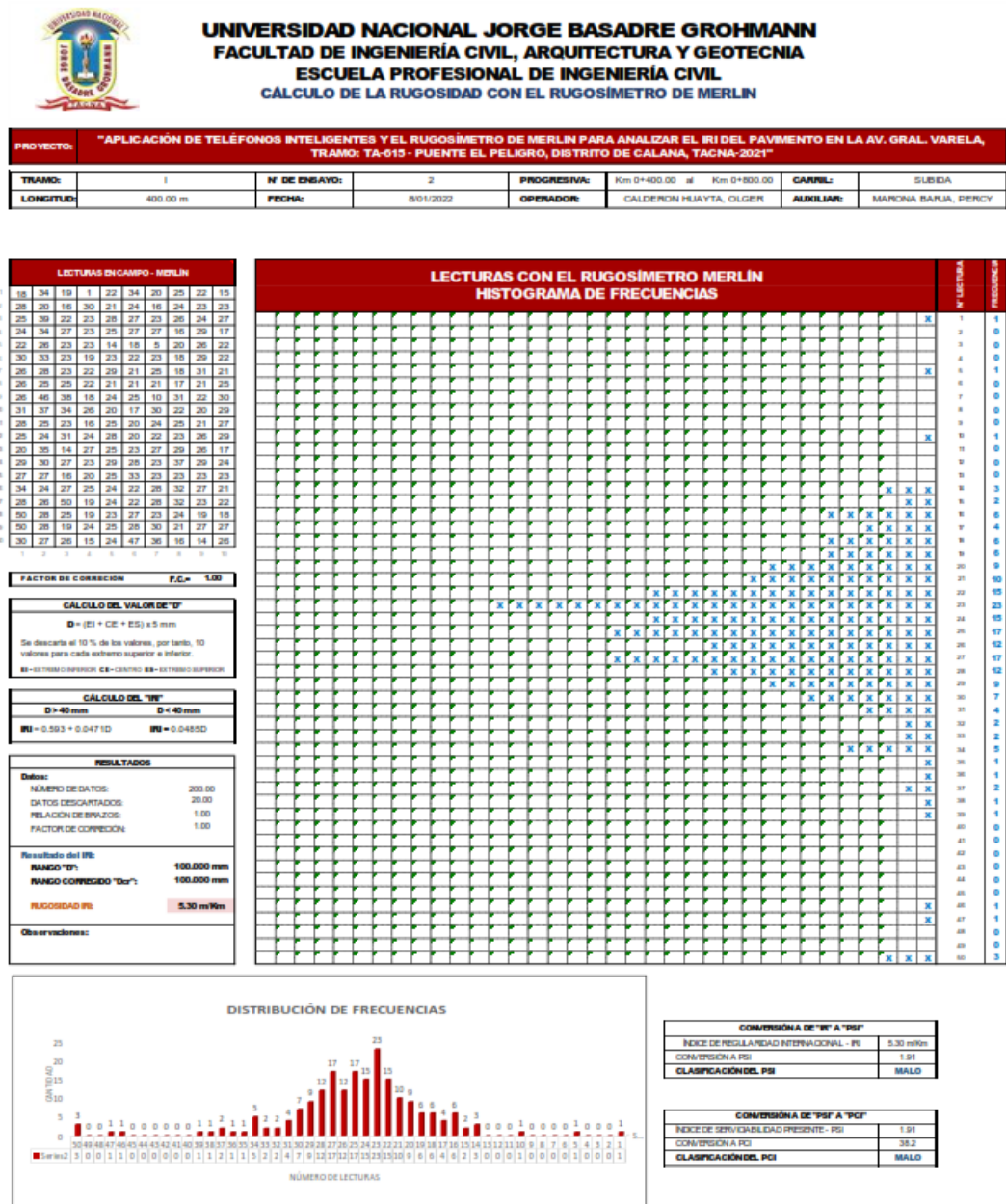
Ficha de campo, tramo de ensayo 2 en la progresiva 0+400 – 0+800

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 18 | 34 | 19 | 1 | 22 | 34 | 20 | 25 | 22 | 15 |
| 2 | 28 | 20 | 16 | 30 | 21 | 24 | 16 | 24 | 23 | 23 |
| 3 | 25 | 39 | 22 | 23 | 28 | 27 | 23 | 26 | 24 | 27 |
| 4 | 24 | 34 | 27 | 23 | 25 | 27 | 27 | 16 | 29 | 17 |
| 5 | 22 | 26 | 23 | 23 | 14 | 18 | 5 | 20 | 26 | 22 |
| 6 | 30 | 33 | 23 | 19 | 23 | 22 | 23 | 18 | 29 | 22 |
| 7 | 26 | 28 | 23 | 22 | 29 | 21 | 25 | 18 | 31 | 21 |
| 8 | 26 | 25 | 25 | 22 | 21 | 21 | 21 | 17 | 21 | 25 |
| 9 | 26 | 46 | 38 | 18 | 24 | 25 | 10 | 31 | 22 | 30 |
| 10 | 31 | 37 | 34 | 26 | 20 | 17 | 30 | 22 | 20 | 29 |
| 11 | 28 | 25 | 23 | 16 | 25 | 20 | 24 | 25 | 21 | 27 |
| 12 | 25 | 24 | 31 | 24 | 28 | 20 | 22 | 23 | 26 | 29 |
| 13 | 20 | 35 | 14 | 27 | 25 | 23 | 27 | 29 | 26 | 17 |
| 14 | 29 | 30 | 27 | 23 | 29 | 28 | 23 | 37 | 29 | 24 |
| 15 | 27 | 27 | 16 | 20 | 25 | 33 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 16 | 34 | 24 | 27 | 25 | 24 | 22 | 28 | 32 | 27 | 21 |
| 17 | 28 | 26 | 50 | 19 | 24 | 22 | 28 | 32 | 23 | 22 |
| 18 | 50 | 28 | 25 | 19 | 23 | 27 | 23 | 24 | 19 | 18 |
| 19 | 50 | 28 | 19 | 24 | 25 | 28 | 30 | 21 | 27 | 27 |
| 20 | 30 | 27 | 26 | 15 | 24 | 47 | 36 | 16 | 14 | 26 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 2 en el carril de subida

Figura 34

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 2



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 5.30 m/km y PSI = 1.91

Tabla 12

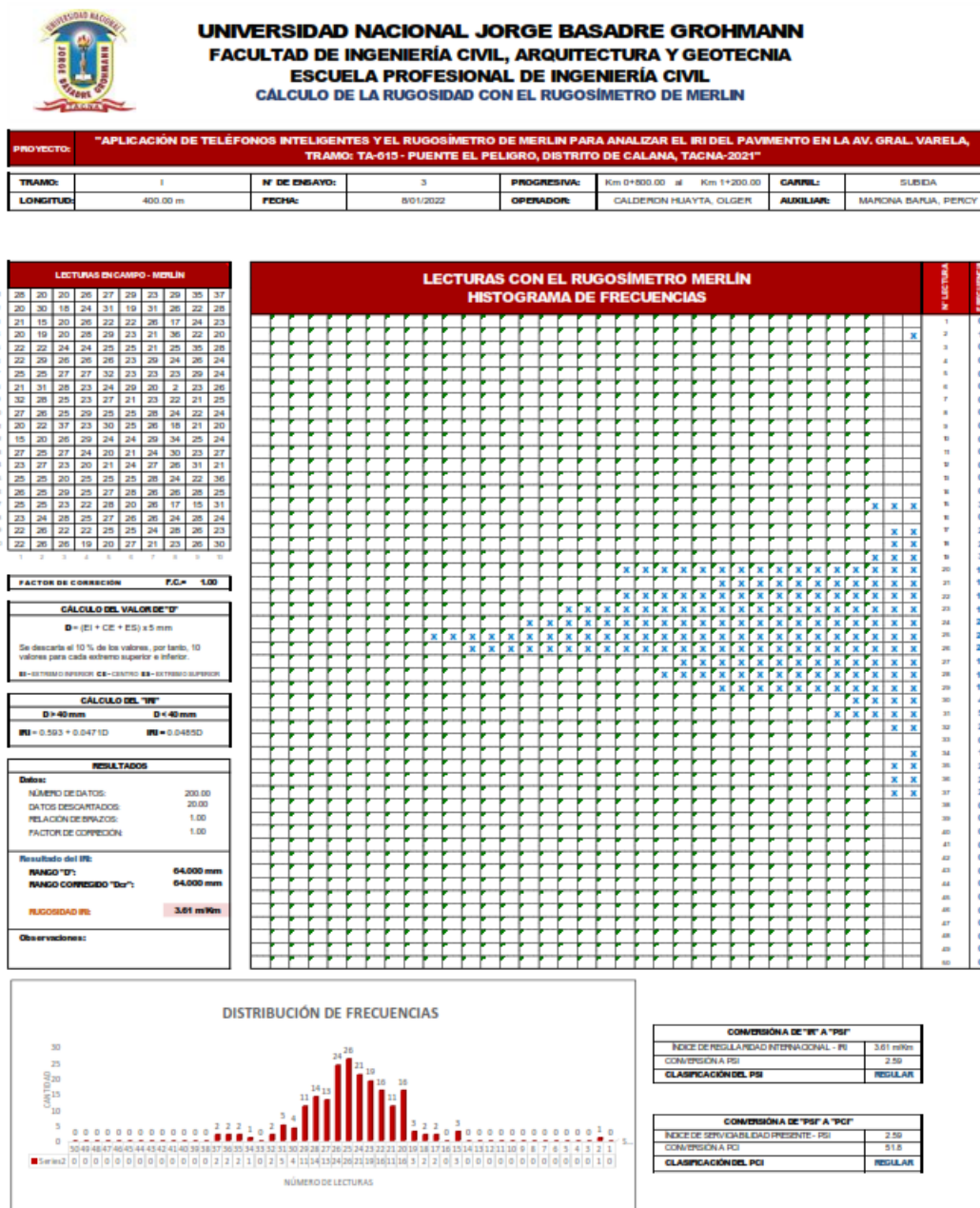
Ficha de campo, tramo de ensayo 3 en la progresiva 0+800 – 1+200

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 28 | 20 | 20 | 26 | 27 | 29 | 23 | 29 | 35 | 37 |
| 2 | 20 | 30 | 18 | 24 | 31 | 19 | 31 | 26 | 22 | 28 |
| 3 | 21 | 15 | 20 | 26 | 22 | 22 | 26 | 17 | 24 | 23 |
| 4 | 20 | 19 | 20 | 28 | 29 | 23 | 21 | 36 | 22 | 20 |
| 5 | 22 | 22 | 24 | 24 | 25 | 25 | 21 | 25 | 35 | 28 |
| 6 | 22 | 29 | 26 | 26 | 26 | 23 | 29 | 24 | 26 | 24 |
| 7 | 25 | 25 | 27 | 27 | 32 | 23 | 23 | 23 | 29 | 24 |
| 8 | 21 | 31 | 28 | 23 | 24 | 29 | 20 | 2 | 23 | 26 |
| 9 | 32 | 28 | 25 | 23 | 27 | 21 | 23 | 22 | 21 | 25 |
| 10 | 27 | 26 | 25 | 29 | 25 | 25 | 28 | 24 | 22 | 24 |
| 11 | 20 | 22 | 37 | 23 | 30 | 25 | 26 | 18 | 21 | 20 |
| 12 | 15 | 20 | 26 | 29 | 24 | 24 | 29 | 34 | 25 | 24 |
| 13 | 27 | 25 | 27 | 24 | 20 | 21 | 24 | 30 | 23 | 27 |
| 14 | 23 | 27 | 23 | 20 | 21 | 24 | 27 | 26 | 31 | 21 |
| 15 | 25 | 25 | 20 | 25 | 25 | 25 | 28 | 24 | 22 | 36 |
| 16 | 26 | 25 | 29 | 25 | 27 | 28 | 26 | 26 | 28 | 25 |
| 17 | 25 | 25 | 23 | 22 | 28 | 20 | 26 | 17 | 15 | 31 |
| 18 | 23 | 24 | 28 | 25 | 27 | 26 | 26 | 24 | 28 | 24 |
| 19 | 22 | 26 | 22 | 22 | 25 | 25 | 24 | 28 | 26 | 23 |
| 20 | 22 | 26 | 26 | 19 | 20 | 27 | 21 | 23 | 26 | 30 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 3 en el carril de subida

Figura 35

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 3



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 3.61 m/km y PSI = 2.59

Tabla 13

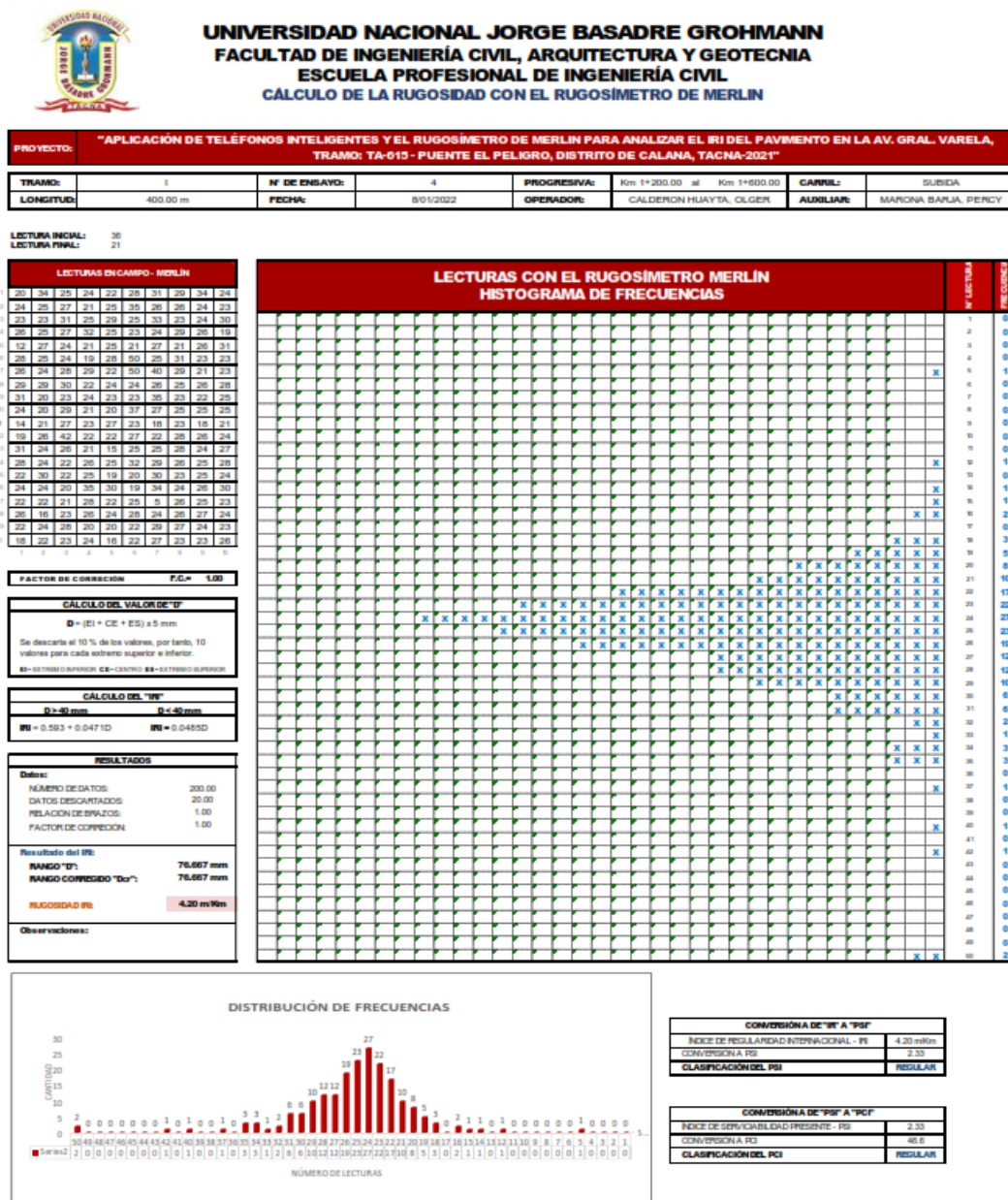
Ficha de campo, tramo de ensayo 4 en la progresiva 1+200 – 1+600

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 20 | 34 | 25 | 24 | 22 | 28 | 31 | 29 | 34 | 24 |
| 2 | 24 | 25 | 27 | 21 | 25 | 35 | 26 | 26 | 24 | 23 |
| 3 | 23 | 23 | 31 | 25 | 29 | 25 | 33 | 23 | 24 | 30 |
| 4 | 26 | 25 | 27 | 32 | 25 | 23 | 24 | 29 | 26 | 19 |
| 5 | 12 | 27 | 24 | 21 | 25 | 21 | 27 | 21 | 26 | 31 |
| 6 | 28 | 25 | 24 | 19 | 28 | 50 | 25 | 31 | 23 | 23 |
| 7 | 26 | 24 | 28 | 29 | 22 | 50 | 40 | 29 | 21 | 23 |
| 8 | 29 | 29 | 30 | 22 | 24 | 24 | 26 | 25 | 26 | 28 |
| 9 | 31 | 20 | 23 | 24 | 23 | 23 | 35 | 23 | 22 | 25 |
| 10 | 24 | 20 | 29 | 21 | 20 | 37 | 27 | 25 | 25 | 25 |
| 11 | 14 | 21 | 27 | 23 | 27 | 23 | 18 | 23 | 18 | 21 |
| 12 | 19 | 26 | 42 | 22 | 22 | 27 | 22 | 28 | 26 | 24 |
| 13 | 31 | 24 | 26 | 21 | 15 | 25 | 25 | 28 | 24 | 27 |
| 14 | 28 | 24 | 22 | 26 | 25 | 32 | 29 | 26 | 25 | 28 |
| 15 | 22 | 30 | 22 | 25 | 19 | 20 | 30 | 23 | 25 | 24 |
| 16 | 24 | 24 | 20 | 35 | 30 | 19 | 34 | 24 | 26 | 30 |
| 17 | 22 | 22 | 21 | 28 | 22 | 25 | 5 | 26 | 25 | 23 |
| 18 | 26 | 16 | 23 | 26 | 24 | 28 | 24 | 26 | 27 | 24 |
| 19 | 22 | 24 | 28 | 20 | 20 | 22 | 29 | 27 | 24 | 23 |
| 20 | 18 | 22 | 23 | 24 | 16 | 22 | 27 | 23 | 23 | 26 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 4 en el carril de subida

Figura 36

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 4



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 4.20 m/km y PSI = 2.33

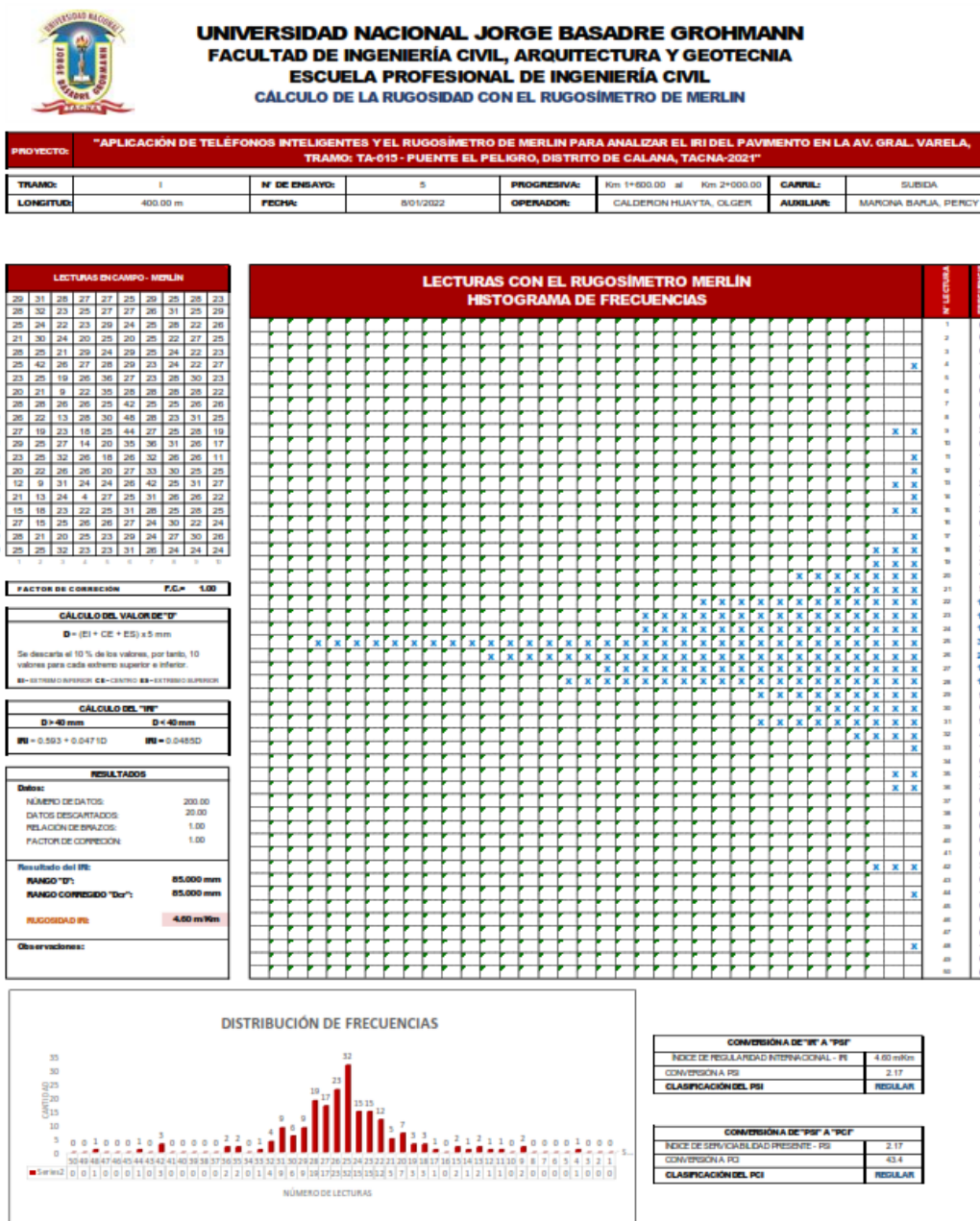
Tabla 14*Ficha de campo, tramo de ensayo 5 en la progresiva 1+600 – 2+000*

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 29 | 31 | 28 | 27 | 27 | 25 | 29 | 25 | 28 | 23 |
| 2 | 28 | 32 | 23 | 25 | 27 | 27 | 26 | 31 | 25 | 29 |
| 3 | 25 | 24 | 22 | 23 | 29 | 24 | 25 | 28 | 22 | 26 |
| 4 | 21 | 30 | 24 | 20 | 25 | 20 | 25 | 22 | 27 | 25 |
| 5 | 28 | 25 | 21 | 29 | 24 | 29 | 25 | 24 | 22 | 23 |
| 6 | 25 | 42 | 26 | 27 | 28 | 29 | 23 | 24 | 22 | 27 |
| 7 | 23 | 25 | 19 | 26 | 36 | 27 | 23 | 28 | 30 | 23 |
| 8 | 20 | 21 | 9 | 22 | 35 | 28 | 28 | 28 | 28 | 22 |
| 9 | 28 | 28 | 26 | 26 | 25 | 42 | 25 | 25 | 26 | 26 |
| 10 | 26 | 22 | 13 | 28 | 30 | 48 | 28 | 23 | 31 | 25 |
| 11 | 27 | 19 | 23 | 18 | 25 | 44 | 27 | 25 | 28 | 19 |
| 12 | 29 | 25 | 27 | 14 | 20 | 35 | 36 | 31 | 26 | 17 |
| 13 | 23 | 25 | 32 | 26 | 18 | 26 | 32 | 26 | 26 | 11 |
| 14 | 20 | 22 | 26 | 26 | 20 | 27 | 33 | 30 | 25 | 25 |
| 15 | 12 | 9 | 31 | 24 | 24 | 26 | 42 | 25 | 31 | 27 |
| 16 | 21 | 13 | 24 | 4 | 27 | 25 | 31 | 26 | 26 | 22 |
| 17 | 15 | 18 | 23 | 22 | 25 | 31 | 28 | 25 | 28 | 25 |
| 18 | 27 | 15 | 25 | 26 | 26 | 27 | 24 | 30 | 22 | 24 |
| 19 | 28 | 21 | 20 | 25 | 23 | 29 | 24 | 27 | 30 | 26 |
| 20 | 25 | 25 | 32 | 23 | 23 | 31 | 26 | 24 | 24 | 24 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 5 en el carril de subida

Figura 37

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 5



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 4.60 m/km y PSI = 2.17

Tabla 15

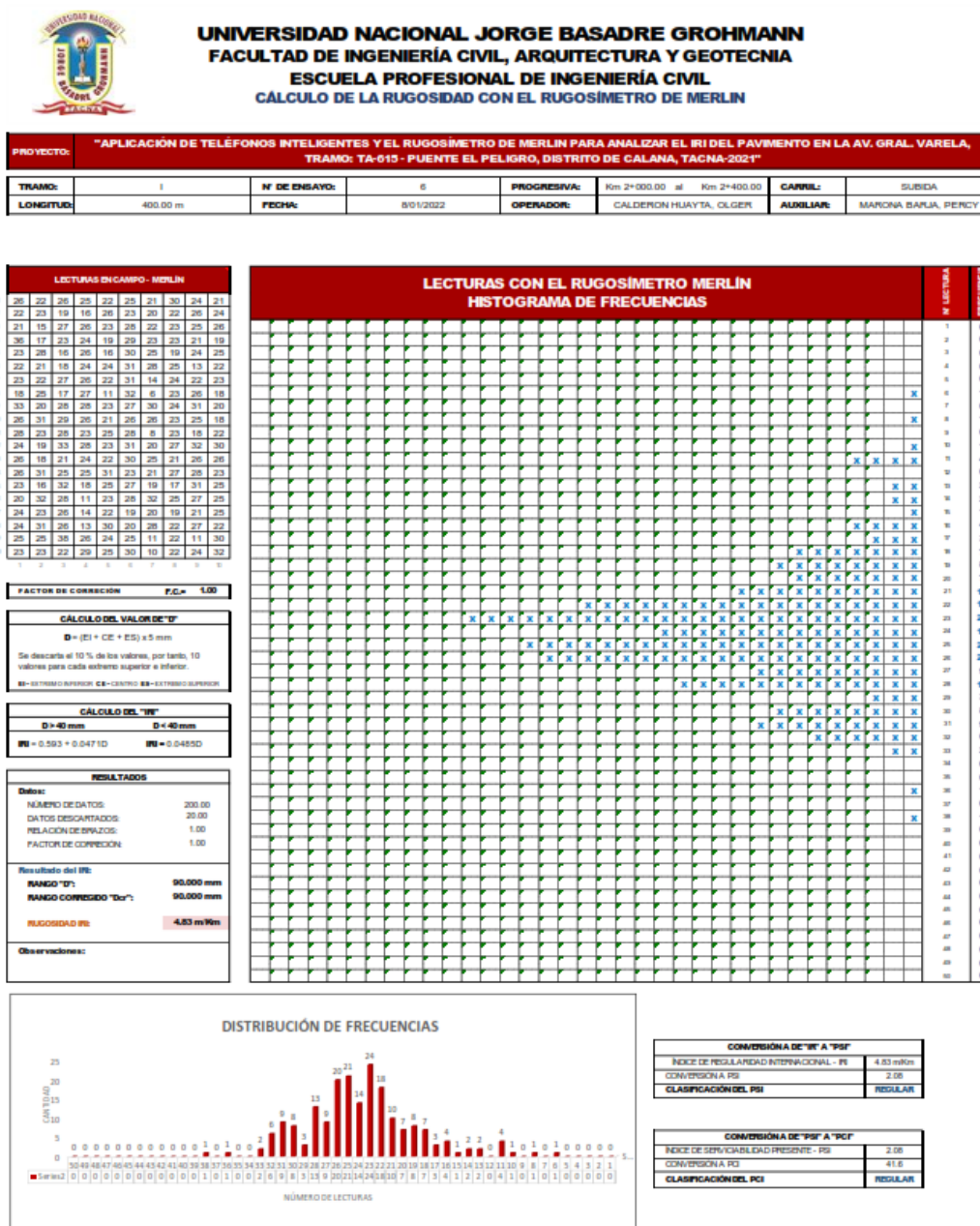
Ficha de campo, tramo de ensayo 6 en la progresiva 2+000 – 2+400

| LECTURAS EN CAMPO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 26 | 22 | 26 | 25 | 22 | 25 | 21 | 30 | 24 | 21 |
| 2 | 22 | 23 | 19 | 16 | 26 | 23 | 20 | 22 | 26 | 24 |
| 3 | 21 | 15 | 27 | 26 | 23 | 28 | 22 | 23 | 25 | 26 |
| 4 | 36 | 17 | 23 | 24 | 19 | 29 | 23 | 23 | 21 | 19 |
| 5 | 23 | 28 | 16 | 26 | 16 | 30 | 25 | 19 | 24 | 25 |
| 6 | 22 | 21 | 18 | 24 | 24 | 31 | 28 | 25 | 13 | 22 |
| 7 | 23 | 22 | 27 | 26 | 22 | 31 | 14 | 24 | 22 | 23 |
| 8 | 18 | 25 | 17 | 27 | 11 | 32 | 6 | 23 | 26 | 18 |
| 9 | 33 | 20 | 28 | 28 | 23 | 27 | 30 | 24 | 31 | 20 |
| 10 | 26 | 31 | 29 | 26 | 21 | 26 | 26 | 23 | 25 | 18 |
| 11 | 28 | 23 | 28 | 23 | 25 | 28 | 8 | 23 | 18 | 22 |
| 12 | 24 | 19 | 33 | 28 | 23 | 31 | 20 | 27 | 32 | 30 |
| 13 | 26 | 18 | 21 | 24 | 22 | 30 | 25 | 21 | 26 | 26 |
| 14 | 26 | 31 | 25 | 25 | 31 | 23 | 21 | 27 | 28 | 23 |
| 15 | 23 | 16 | 32 | 18 | 25 | 27 | 19 | 17 | 31 | 25 |
| 16 | 20 | 32 | 28 | 11 | 23 | 28 | 32 | 25 | 27 | 25 |
| 17 | 24 | 23 | 26 | 14 | 22 | 19 | 20 | 19 | 21 | 25 |
| 18 | 24 | 31 | 26 | 13 | 30 | 20 | 28 | 22 | 27 | 22 |
| 19 | 25 | 25 | 38 | 26 | 24 | 25 | 11 | 22 | 11 | 30 |
| 20 | 23 | 23 | 22 | 29 | 25 | 30 | 10 | 22 | 24 | 32 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 25 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Nota. Tabla que muestra las lecturas del tramo 6 en el carril de subida

Figura 38

Cálculo de la rugosidad y la transitabilidad tramo 2, ensayo 6



Nota. En la figura se muestra las frecuencias para el cálculo del IRI y la transitabilidad, IRI = 4.83 m/km y PSI = 2.08

4.2 Resultado del valor IRI utilizando el aplicativo ABAKAL

De acuerdo a la información determinada en campo utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, datos que se obtuvieron a velocidades de ensayo de 40 a 60 km/h.

4.2.1 Reporte del aplicativo ABAKAL

Tabla 16

Valor IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL, carril de Bajada

| Latitud | Longitud | Altitud | Velocidad | Desplazamiento | Valor IRI |
|------------|------------|---------|-----------|----------------|-----------|
| -17.927576 | -70.17665 | 982.87 | 51.54 | 0 | 1.39 |
| -17.927934 | -70.177571 | 980.91 | 53.35 | 100 | 5.36 |
| -17.928126 | -70.17858 | 979.2 | 46.72 | 200 | 6 |
| -17.928642 | -70.179493 | 976.69 | 56.57 | 300 | 4.71 |
| -17.929201 | -70.18026 | 972.19 | 62.02 | 400 | 4.59 |
| -17.929794 | -70.181165 | 969.65 | 57.14 | 500 | 2.83 |
| -17.930657 | -70.181491 | 967.09 | 53.95 | 600 | 3.13 |
| -17.931582 | -70.181615 | 964.33 | 52.15 | 700 | 6 |
| -17.932441 | -70.181904 | 961.04 | 51.32 | 800 | 6 |
| -17.933283 | -70.182253 | 957.97 | 52.08 | 900 | 6 |
| -17.934203 | -70.182646 | 954.55 | 39.08 | 1,000 | 5.94 |
| -17.935034 | -70.183063 | 950.79 | 43.96 | 1,100 | 6 |
| -17.935804 | -70.18359 | 948.71 | 55.75 | 1,200 | 6 |
| -17.93665 | -70.184154 | 945.41 | 57.05 | 1,300 | 6 |
| -17.937502 | -70.184728 | 941.88 | 58.49 | 1,400 | 6 |
| -17.938376 | -70.185309 | 938.6 | 59.28 | 1,500 | 5.98 |
| -17.93925 | -70.185875 | 935.48 | 57.58 | 1,600 | 6 |
| -17.940093 | -70.186426 | 932.42 | 56.57 | 1,700 | 6 |
| -17.940921 | -70.186956 | 929.29 | 51.49 | 1,800 | 6 |
| -17.941693 | -70.187488 | 926.67 | 46.46 | 1,900 | 6 |
| -17.942446 | -70.18803 | 922.8 | 56.08 | 2,000 | 6 |
| -17.943264 | -70.188609 | 919.1 | 56.31 | 2,100 | 6 |
| -17.94413 | -70.189079 | 916.48 | 55.6 | 2,200 | 5.96 |
| -17.945021 | -70.189473 | 913.3 | 27.54 | 2,300 | 6 |

Nota. En la tabla se muestra los resultados del IRI obtenidos del aplicativo ABAKAL

IRI, carril de bajada

Tabla 17

Valor IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL, carril de Subida

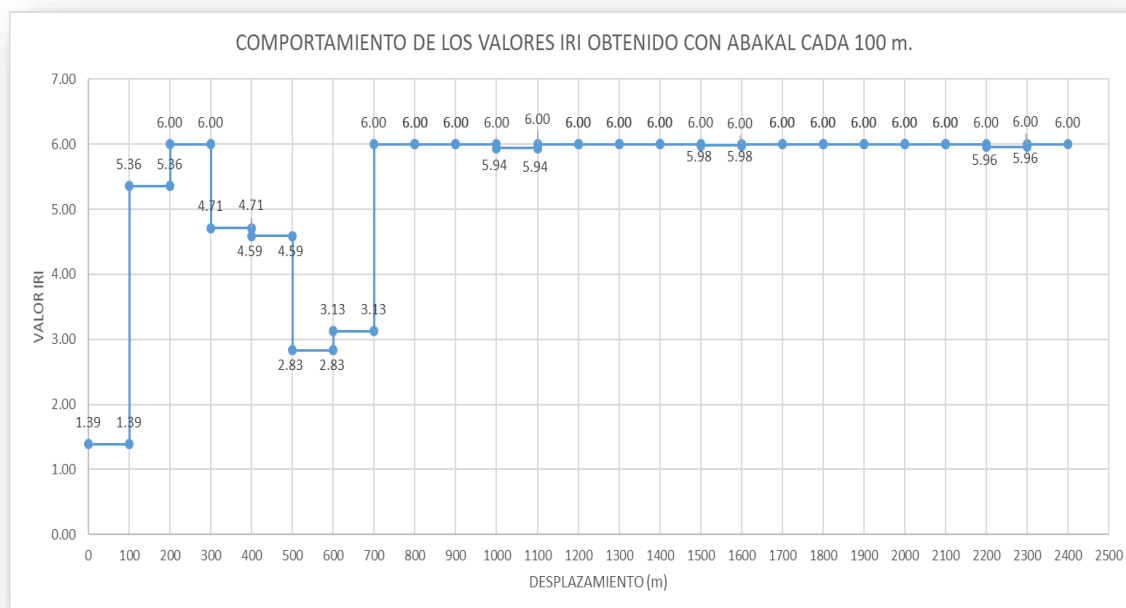
| Latitud | Longitud | Altitud | Velocidad | Desplazamiento | Valor IRI |
|------------|------------|---------|-----------|----------------|-----------|
| -17.94413 | -70.189044 | 911.78 | 45.74 | 0 | 2.68 |
| -17.943246 | -70.188565 | 914.53 | 53.51 | 100 | 6.00 |
| -17.942484 | -70.18802 | 918.17 | 52.29 | 200 | 6.00 |
| -17.941698 | -70.187442 | 922.33 | 40.37 | 300 | 6.00 |
| -17.940903 | -70.186894 | 926.55 | 44.17 | 400 | 6.00 |
| -17.940025 | -70.186329 | 930.21 | 53.71 | 500 | 6.00 |
| -17.939204 | -70.185804 | 933.81 | 55.05 | 600 | 6.00 |
| -17.938359 | -70.185252 | 937.21 | 58.13 | 700 | 4.94 |
| -17.937472 | -70.184665 | 940.98 | 61.57 | 800 | 2.81 |
| -17.93668 | -70.184146 | 944.26 | 60.35 | 900 | 4.75 |
| -17.935836 | -70.183577 | 948.39 | 55.73 | 1,000 | 6.00 |
| -17.935004 | -70.183007 | 951.51 | 57.06 | 1,100 | 4.99 |
| -17.934149 | -70.182567 | 954.95 | 41.76 | 1,200 | 6.00 |
| -17.933269 | -70.182197 | 958.44 | 51.9 | 1,300 | 4.59 |
| -17.932377 | -70.181833 | 961.9 | 56.31 | 1,400 | 4.32 |
| -17.931446 | -70.181559 | 965.28 | 55.66 | 1,500 | 6.00 |
| -17.93045 | -70.181434 | 968.48 | 55.43 | 1,600 | 6.00 |
| -17.929641 | -70.18089 | 971.44 | 58.35 | 1,700 | 2.63 |
| -17.929123 | -70.180083 | 973.3 | 62.61 | 1,800 | 3.43 |
| -17.928489 | -70.179224 | 977.84 | 57.24 | 1,900 | 4.66 |
| -17.928139 | -70.17829 | 979.63 | 46.83 | 2,000 | 6.00 |
| -17.927861 | -70.177256 | 981.99 | 56.14 | 2,100 | 6.00 |
| -17.927447 | -70.176304 | 984.82 | 55.76 | 2,200 | 4.99 |

Nota. En la tabla se muestra los resultados del IRI obtenidos del aplicativo ABAKAL,

carril de subida

Figura 41

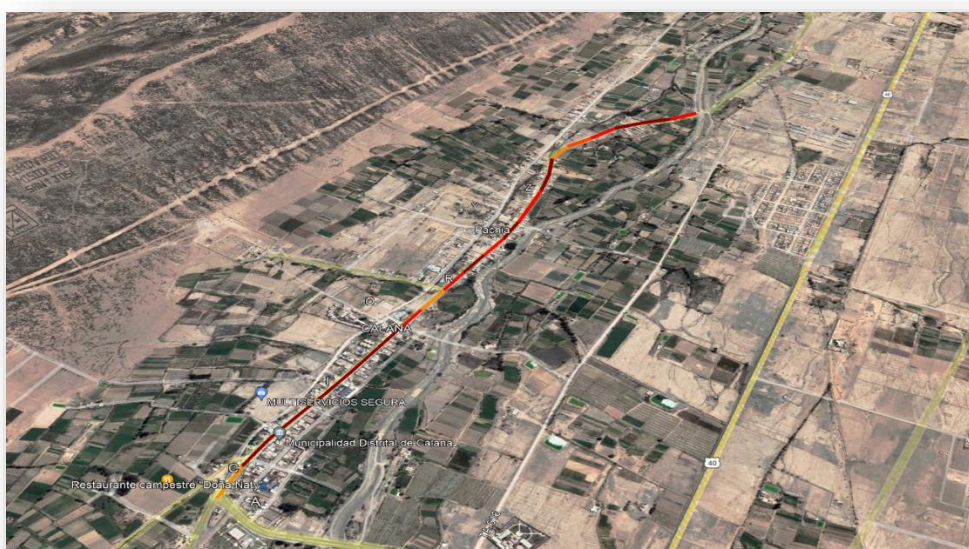
Comportamiento de la rugosidad cada 100 m. Carril de subida



Nota. Tabla que muestra el comportamiento de lecturas IRI en el carril de subida

Figura 42

Desplazamiento por el carril de subida utilizando ABAKAL



Nota. En la figura se muestra el desplazamiento durante el ensayo, tomado del aplicativo ABAKAL en el carril de subida

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis de los valores IRI obtenidos con el rugosímetro de MERLIN

Para la discusión de los resultados se tiene los valores IRI obtenidos con el rugosímetro de MERLIN en la Av. Gral. Varela del distrito de Calana, considerando la tabla 9.

Tabla 18

Resultados del valor IRI, obtenidos con el rugosímetro de MERLIN

| CUADRO RESUMEN DE LA RUGOSIDAD | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|
| CARRIL SUBIDA | | | CARRILBAJADA | | |
| PROGRESIVA | RUGOSIDAD (m/km) | ESTADO DEL PAVIMENTO | PROGRESIVA | RUGOSIDAD (m/km) | ESTADO DEL PAVIMENTO |
| 0+000 al 0+400 | 5.30 | Malo | 0+000 al 0+400 | 4.28 | Malo |
| 0+400 al 0+800 | 5.30 | Malo | 0+400 al 0+800 | 3.86 | Malo |
| 0+800 al 1+200 | 3.61 | Malo | 0+800 al 1+200 | 4.83 | Malo |
| 1+200 al 1+600 | 4.20 | Malo | 1+200 al 1+600 | 4.83 | Malo |
| 1+600 al 2+000 | 4.60 | Malo | 1+600 al 2+000 | 3.58 | Malo |
| 2+000 al 2+400 | 4.83 | Malo | 2+000 al 2+400 | 5.54 | Malo |
| 4.64 | | | 4.49 | | |

Nota. Se muestra en la tabla los valores IRI obtenidos con el rugosímetro de MERLIN

De acuerdo a los resultados se determina el IRI ponderado para la calificación del estado funcional del pavimento asfáltico de la Av. Varela, distrito de Calana.

IRI PROMEDIO: 4.56 m/km

ESTADO DEL PAVIMENTO: MALO

5.2 Análisis de los valores IRI obtenidos con el aplicativo ABAKAL

Para la discusión de los resultados se tiene los valores IRI, obtenidos con el aplicativo, para el cual se utilizó el teléfono modelo Samsung Note 10, determinándose los valores del IRI, carril de bajada igual a 4.98 m/km y en el carril de subida igual 5.08 m/km, considerando el IRI ponderado es igual 5.03 m/km, como se puede verificar en la tabla 10.

Tabla 19

Valor IRI ponderado, obtenido con el aplicativo ABAKAL

| | IRI | |
|--------------------------------------|-------------|-------------|
| CARRIL DE BAJADA Av. Gral. Varela | 4.98 | m/km |
| CARRIL DE SUBIDA Av. Gral. Varela | 5.08 | m/km |
| IRI PONDERADO | 5.03 | m/km |

Nota. En la tabla se muestran el valor del IRI ponderado de la Av. Gral. Varela

Para la calificación del estado del pavimento en la avenida Gral. Varela del distrito de Calana, se utiliza el IRI ponderado determinado con el aplicativo ABAKAL en toda la avenida, considerando el carril de subida y carril de bajada, para la calificación del estado del pavimento utilizamos lo indicado en la tabla 11.

Tabla 20*Calificación del estado del pavimento*

| PAIS | ESTADO DEL PAVIMENTO | | |
|-------------|----------------------|-----------|-----------------|
| | BUENO | REGULAR | MALO |
| EE.UU. | < 2.4 | 2.4 - 4.7 | > 4.7 |
| CHILE | 0 - 3.0 | 3.0 - 4.0 | > 4.0 |
| HONDURAS | < 3.5 | 3.5 - 6.0 | > 6.0 |
| URUGUAY | < 3.9 | 4.0 - 4.6 | > 4.6 |
| PERÚ | < 2.5 | 2.5 - 4.5 | > 4.5 |

Nota. (Alvarenga, 2002)

Considerando el valor IRI ponderado se realizó la calificación del estado funcional del pavimento asfáltico de la Av. Gral. Varela, para nuestro caso se determinó el IRI ponderado igual 5.03 m/km, por lo tanto, obtiene una CALIFICACIÓN MALA.

En resumen, se puede verificar que la evaluación efectuada en la determinación de los valores IRI utilizando las metodologías del rugosímetro de MERLIN y el uso del aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL, en sus resultados finales de calificación del estado funcional del pavimento, resultan en una calificación MALA.

5.3 Análisis comparativo de los valores IRI y la transitabilidad determinados por el MERLIN y ABAKAL

Con los valores IRI determinados por cada tramo de evaluación en 400 m. se calcula la transitabilidad (valor de PSI) y su respectiva calificación de la transitabilidad de acuerdo a la tabla 23.

Tabla 21

Cálculo de la transitabilidad por tramos de evaluación cada 400 m.

| RESULTADOS DE LA TRANSITABILIDAD | | | | | |
|---|-------------|------------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| CARRIL SUBIDA | | | CARRIL BAJADA | | |
| PROGRESIVA | PSI | TRANSITABILIDAD | PROGRESIVA | PSI | TRANSITABILIDAD |
| 0+000 al 0+400 | 1.91 | Mala | 0+000 al 0+400 | 2.30 | Regular |
| 0+400 al 0+800 | 1.91 | Mala | 0+400 al 0+800 | 2.48 | Regular |
| 0+800 al 1+200 | 2.59 | Regular | 0+800 al 1+200 | 2.08 | Regular |
| 1+200 al 1+600 | 2.33 | Regular | 1+200 al 1+600 | 2.08 | Regular |
| 1+600 al 2+000 | 2.17 | Regular | 1+600 al 2+000 | 2.61 | Regular |
| 2+000 al 2+400 | 2.08 | Regular | 2+000 al 2+400 | 1.83 | Mala |
| | 2.17 | | | 2.23 | |

Nota. En la tabla se muestra los valores determinados por tramos, la transitabilidad de toda la vía

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| PSI PONDERADO | 2.198 |
| CALIFICACION DE LA TRANSITABILIDAD | TRANSITABILIDAD REGULAR |

Por otro lado, analizamos la determinación de la transitabilidad con los valores IRI obtenidos del aplicativo ABAKAL.

| | | |
|--|------------------------------------|-------------|
| IRI obtenido con el aplicativo ABAKAL | 5.03 | m/km |
| Cálculo del PSI en función del valor IRI | 2.004 | |
| Calificación de la transitabilidad - PSI | TRANSITABILIDAD REGULAR | |

De la misma forma, se puede verificar la determinación de la transitabilidad de la Av. Gral. Varela del distrito de Calana, en función de los valores IRI obtenidos con la metodología del rugosímetro de MERLIN y el uso del aplicativo para teléfonos inteligentes ABAKAL, en sus resultados finales ambas metodologías califican la transitabilidad de REGULAR.

CONCLUSIONES

1. Se logró determinar los valores IRI del pavimento flexible, en los tramos investigados mediante el uso del aplicativo ABAKAL en teléfonos inteligentes cada 100 m. y el rugosímetro de MERLIN cada 400 m. en toda la avenida Gral. Varela del distrito de Calana, tramo: TA-615 – Puente El Peligro.
2. Mediante el uso del aplicativo ABAKAL se calculó el valor IRI del pavimento flexible cada 100 m. comprendido desde el inicio del TA-615 hasta el Puente El Peligro, vía de una calzada con dos carriles uno por sentido, en una longitud de 2 510 m., donde se obtuvieron valores IRI, para el carril de subida un ponderado de 5.08 m/km, carril de bajada, valor IRI de 4.98 m/km, por lo que se determinó un valor IRI ponderado para toda la Av. Gral. Varela igual a 5.03 m/km, finalmente el valor IRI ponderado nos ayudó en la calificación del estado funcional del pavimento flexible para toda la vía como MALA.
3. Mediante la determinación del valor IRI del pavimento flexible en la Av. Gral. Varela, usando el rugosímetro de MERLIN en una longitud de 2 510 m. de longitud, se obtuvieron valores IRI en tramos de 400 m., para el carril de subida valor IRI igual a 4.64 m/km, para el carril de bajada valor IRI igual a 4.49m/km, determinándose un valor IRI ponderado para toda la avenida igual a 4.56 m/km,

valor que nos ayudó en la calificación del estado funcional del pavimento flexible para toda la vía como MALA.

4. De acuerdo a los resultados determinados de los valores IRI por ambas metodologías, se demuestra que los valores IRI obtenidos con el uso del aplicativo ABAKAL son similares a los obtenidos por el rugosímetro de MERLIN, considerando el rendimiento H.H. son mucho más bajos que los utilizados por el rugosímetro, comparando los valores IRI obtenidos para la Av. Gral. Varela de ambas metodologías $IRI = 5.03 \text{ m/km}$ y 4.56 m/km , los cuales son similares en la calificación del estado funcional del pavimento flexible como MALA y en la calificación de la transitabilidad como REGULAR, finalmente podemos indicar que el uso del aplicativo ABAKAL es fiable en la determinación de los valores IRI.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, al Gobierno Regional de Tacna, a los gobiernos locales provinciales y distritales la aplicación ABAKAL en teléfonos inteligentes, porque ha demostrado que en la determinación de los valores IRI obtiene valores similares a los obtenidos por el rugosímetro de MERLIN cuyos valores ayudan a planificar programas de mantenimiento o reconstrucción.
2. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Calana, utilizar la información de la presente investigación obtenidos mediante la aplicación del ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, para la planificación en la programación de los proyectos de inversión pública en infraestructura vial.
3. Se recomienda a las instituciones competentes en desarrollos de proyectos de infraestructura vial de la región de Tacna, para la determinación del IRI y cálculo del nivel de la transitabilidad presente, utilicen la aplicación ABAKAL, por ser una metodología de vanguardia de bajo costo y de alto rendimiento.
4. Se recomienda que para los efectos comparativos de los resultados del valor IRI entre el uso del aplicativo ABAKAL y el rugosímetro de MERLIN, el cual debe

estar perfectamente calibrado, cuyos valores IRI son datos que ayudan en el comparativo con los datos obtenidos por el aplicativo ABAKAL en teléfonos inteligentes, la metodología de los aplicativos para el cálculo del IRI cada vez desarrolla más funciones, para obtener valores más fiables con un alto rendimiento a un bajo costo, su uso se recomienda preferentemente en la evaluación de carreteras donde se pueden imprimir velocidades mayores a los 60 km/h.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

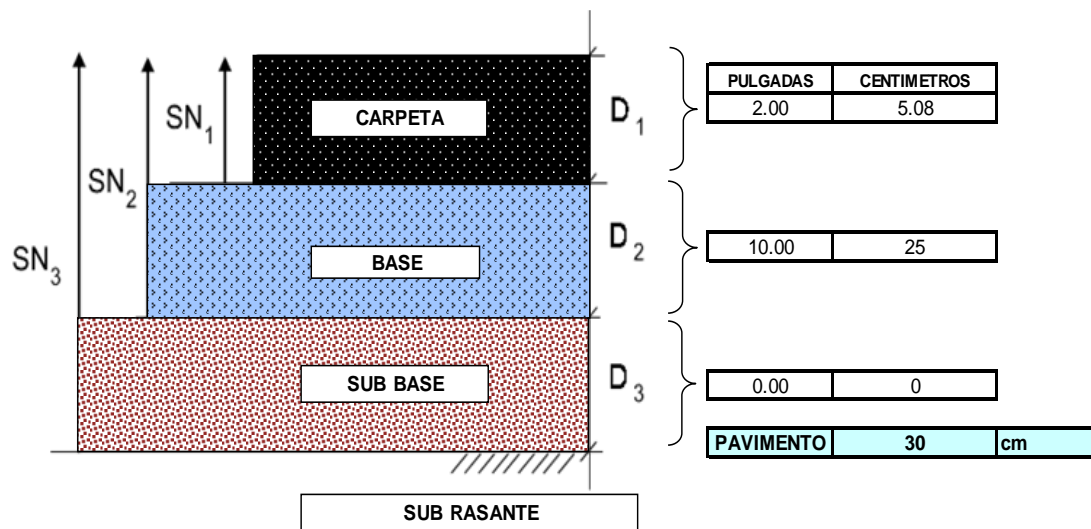
- ABAKAL. (2020). *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil*. España: ABAKAL ingenieros consultores, S.L.
- Almenara, C. (2015). *Aplicación de telefonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Alvarenga, E. (2002). *Indices de medición de la regularidad de un pavimento*. Republica del El Salvador: Ministerio de Obras Publicas, transporte, vivienda y desarrollo urbano.
- ASTM, E.-0. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*.
- Camacho, S. (2018). *Evaluación y análisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN*. Juliaca - Puno: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez.
- Caro, F. y Peña, G. (2012). Análisis y criterios para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) en vias urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica. *Inteknia*, 57-72.
- Del Aguila, P. (1999). *Manual del Usuario Merliner, Merlin Equipo para Rugosidad*. Merliner.

- Gonzalo, J., y Beingolea, H. (2021). *Aplicacion del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medicion de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta edición*. México: McGRAW-HILL-Interamericana Editores S.A. de C.V.
- 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. y Sánchez, K. (2019). *Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone ROADROID, rugosímetro electrónico Bump Integrator BI-100A y rugosímetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Montoya-Goicochea, J. (2013). *Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*. Lima: Universidad de Piura.
- Onofre, J., Sánchez, J, y Viana, W. (2008). *Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos usando el perfilómetro ROMDAS Z-250*. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Pari, P. (2010). *Estudio de la rugosidad en pavimentos asfálticos de la ciudad de Puno*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

- Perera, R. y Kohn, S. (2002). *Issues in Pavement Smoothness: A Summary Report*. Plymouth, Michigan: National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board.
- 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 Huarney - Casma de la carretera Panamericana Norte*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Reyes, B. (2020). *Determinación del índice de rugosidad internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN*. Manabí - Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Sachún, J. (2016). *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte-Zona Trujillo, para su mantenimiento*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la rugosidad de Pavimentos con uso del BUMP Integrator*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

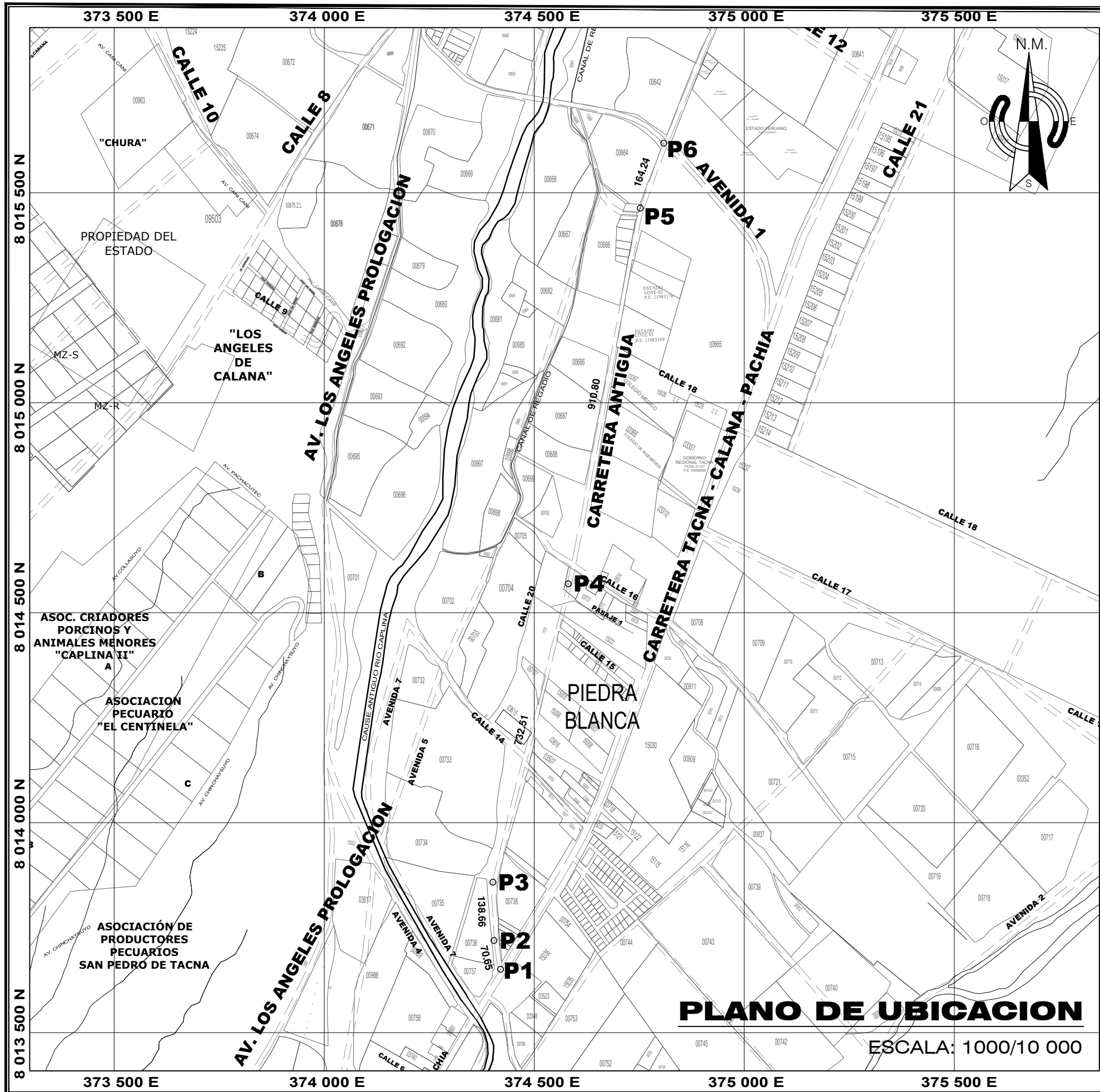
ANEXOS

I. DETALLES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

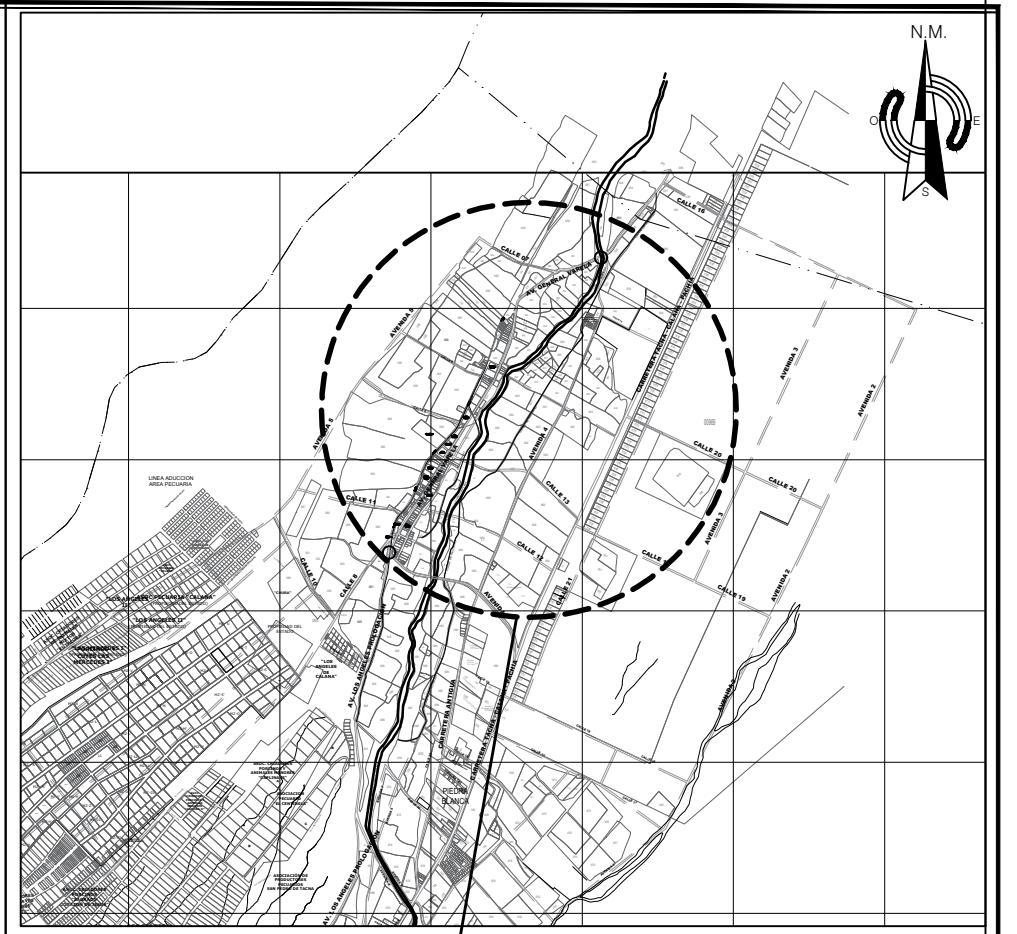


El diseño del pavimento flexible para la avenida Varela del distrito de Calana en el tramo TA-615 hasta Puente El Peligro, se encontró un espesor de 30 cm. considerando 5 cm. para la carpeta asfáltica y 25 cm. para la base granular, no se consideró el espesor de la subbase granular.

II. PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN.



PLANO DE UBICACION
ESCALA: 1000/10 000




PLANO DE LOCALIZACIÓN
ESCALA: 1000/50 000

CUADRO DE COORDENADAS PSAD-56

| CUADRO DE CONSTRUCCION | | | | | |
|------------------------|---------|--------|------------|-------------|--------------|
| VERTICE | LADO | DIST. | ANGULO | ESTE | NORTE |
| P1 | P1 - P2 | 351.43 | 24°6'33" | 374419.6840 | 8013650.7573 |
| P2 | P2 - P3 | 250.22 | 168°5'49" | 374403.8634 | 8013719.6116 |
| P3 | P3 - P4 | 732.51 | 164°47'51" | 374401.3536 | 8013858.2529 |
| P4 | P4 - P5 | 910.80 | 183°18'17" | 374580.6155 | 8014568.4934 |
| P5 | P5 - P6 | 260.54 | 171°0'48" | 374752.2287 | 8015462.9782 |
| P6 | - | - | - | 374807.9915 | 8015617.4646 |

Longitud: 2 510.00 ml



| | | | |
|---|---|---------------------------------------|--------------------------|
|  | PROYECTO: APLICACION DE TELEFONOS INTELIGENTES Y EL RUGOIMETRO DE MERLIN PARA ANALIZAR EL IRI DEL PAVIMENTO EN LA AV. VARELA TA-615 | | U-1 |
| | UBICACION: SECTOR DEL DIST. DE CALANA PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE TACNA | | |
| ELABORADO POR: OLGIER BLADIMIR CALDERON HUAYTA | CAP: | PLANO: LOCALIZACION - UBICACION | ESCALA: indicada |
| BASE DATUM: ZONA 19S - PSAD 56 | | | FECHA: diciembre 2022 |