

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



TESIS

**“EVALUACIÓN FUNCIONAL Y LA TRANSITABILIDAD
VEHICULAR EN EL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA
CARRETERA TACNA – LOS PALOS, TRAMO: EMP. PE-1SD
– LOS PALOS, TACNA - 2022”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. JUVER JOEL JIMENEZ JALIRE
Bach. GIOVANNI JESÚS CUTIPA LEGUA

TACNA – PERÚ

2022

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

TESIS

**“EVALUACIÓN FUNCIONAL Y LA TRANSITABILIDAD
VEHICULAR EN EL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA
CARRETERA TACNA – LOS PALOS, TRAMO: EMP. PE-1SD
– LOS PALOS, TACNA - 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de junio del 2022, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mag. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO

SECRETARIO : Mtra. ELIANA NANCY CHAMBILLA VELO

VOCAL : Mag. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA

ASESOR : Mag. MARTIN PAUCARA ROJAS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Juver Joel Jimenez Jalire identificado con documento de identidad 70897519 y Giovanni Jesús Cutipa Legua identificado con documento de identidad 45542749 en calidad de: Bachilleres en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada: *“Evaluación Funcional y la Transitabilidad Vehicular en el Pavimento Asfáltico de la Carretera Tacna – Los palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022”* la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

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

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y

sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 04 de junio del 2022



Bach. JUVER JOEL JIMENEZ JALIRE
DNI. 70897519



Bach. GIOVANNI JESÚS CUTIPA LEGUA
DNI. 45542749

DEDICATORIA

Dedico a Dios por haberme permitido alcanzar este objetivo y poder dar un paso tan decisivo en mi superación profesional y personal.

A mis amados padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, dandome fuerza y perseverancia durante toda mi vida como estudiante y a seguir logrando mis objetivos; tambien a todas las personas que me rodean y que de alguna forma me han impulsado a culminar mi carrera, quienes me brindaron su apoyo en todo momento, y fueron parte de esto; y así seguir logrando mis objetivos.

JUVER JOEL JIMENEZ JALIRE

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada principalmente a Dios por ser mi guía.

Por su gran apoyo a mis padres dándole apoyo incondicional, todo mi gran esfuerzo de influencia a los más importante en mi vida. A mi familia por ser la persona más valiosa avanzando para seguir adelante mis metas, gracias por tus palabras de aliento, por guiarme y enseñarme a ser la persona más capacitado y ser profesional de mi carrera.

GIOVANNI JESÚS CUTIPA LEGUA

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos en el camino correcto hacia nuestras metas, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a nuestros Padres por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional de obtener uno de mis anhelos más deseados.

Gracias a nuestro asesor, por dirigir nuestro proyecto, por la orientación durante todo este proceso y por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis.

Gracias a la Universidad Privada de Tacna la cual fue la sede para obtener conocimientos durante el desarrollo de mis estudios hasta lograr este objetivo.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación	6
1.3.1 Justificación desde el punto de vista ambiental	7
1.3.2 Justificación desde el punto de vista social.....	7
1.3.3 Justificación desde el punto de vista económico.....	7
1.3.4 Justificación desde el punto de vista científico.....	7
1.4 Objetivos de la investigación	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Hipótesis	8
1.5.1 Hipótesis General	8
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes del estudio	10
2.1.1 A nivel internacional.....	10
2.1.2 A nivel nacional	12

2.1.3	A nivel local	14
2.2	Bases teóricas	16
2.2.1	Pavimento asfáltico	16
2.2.2	Características del pavimento asfáltico.....	17
2.2.3	Tipos de pavimentos asfálticos.....	18
2.2.3.1	Pavimentos rígidos.....	18
2.2.3.2	Pavimentos flexibles	19
2.2.4	Principales carpetas de pavimentos flexibles.....	20
2.2.4.1	Carpetas asfálticas	20
2.2.4.2	Base Granular.....	21
2.2.4.3	Subbase.....	22
2.2.4.4	Subrasante.....	22
2.2.5	Fallas en los pavimentos flexibles.....	23
2.2.5.1	Grietas de cocodrilo	23
2.2.5.2	Exudación de asfalto.....	25
2.2.5.3	Hundimientos de carpetas asfálticas	26
2.2.5.4	Ondulaciones de la carpeta asfáltica.....	26
2.2.5.5	Fisuras de borde	27
2.2.5.6	Baches de la carpeta asfáltica.....	28
2.2.5.7	Ahuellamiento de la carpeta asfáltica.....	30
2.2.6	Evaluación de la rugosidad del pavimento asfáltico.....	30
2.2.6.1	Serviciabilidad.....	31
2.2.6.2	Transitabilidad.....	32
2.2.6.3	Cálculo de la serviciabilidad y transitabilidad mediante el IRI.....	32
2.2.6.4	Rugosidad.....	32
2.2.6.5	Posibles causas de la rugosidad	33
2.2.6.6	Ventajas de un pavimento sin rugosidad.....	34
2.2.6.7	Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos.....	35
2.2.6.8	Importancia de la rugosidad en la capa de rodadura	35
2.2.6.8.1	Seguridad y comodidad.....	35
2.2.6.8.2	Costos de operación vehicular.	35
2.2.6.8.3	Efectos dinámicos.....	36
2.2.6.8.4	Acciones de conservación de las vías.....	36

2.2.6.9	Conservación de la rugosidad superficial de rodadura	36
2.2.6.9.1	Conservación Vial.	36
2.2.6.9.2	Conservación rutinaria.	37
2.2.6.9.3	Conservación periódica.....	37
2.2.6.10	Índice de rugosidad internacional (IRI)	37
2.2.6.11	Características y escalas del IRI	38
2.2.7	Teléfonos Inteligentes.....	40
2.2.8	Métodos que determinen o comparen con el aplicativo TotalPave.....	40
2.2.8.1	Rugosímetro de MERLIN	40
2.2.8.2	Aplicativo ABAKAL utilizando teléfonos inteligentes.....	43
2.2.8.3	Aplicativo ROADROID utilizando teléfonos inteligentes.....	46
2.2.9	Aplicativo TotalPave en teléfonos inteligentes	50
2.2.9.1	Descarga e inicio de sesión en TotalPave IRI	51
2.2.9.2	Modo lento	52
2.2.9.3	Problemas de GPS	53
2.2.9.4	Notas IRI.....	54
2.2.9.5	Descripción general de la prueba TotalPave	56
2.2.9.5.1	Monte el teléfono.....	56
2.2.9.5.2	Nivel del dispositivo verticalmente.....	57
2.2.9.5.3	Secciones de accionamiento.....	58
2.2.9.5.4	Cargar registros	59
2.3	Definición de términos.....	59
2.3.1	Transitabilidad	59
2.3.2	IRI.....	60
2.3.3	Índice de serviciabilidad.....	60
2.3.4	Evaluación funcional.....	60
2.3.5	Evaluación estructural	60
2.3.6	Mantenimiento vial.....	60
2.3.7	Mejoramiento vial	61
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		62
3.1	Tipo y diseño de la investigación.....	62
3.1.1	Tipo de investigación.....	62
3.1.2	Diseño de la investigación	62

3.2	Población y/o muestra de estudio	62
3.2.1	Población.....	62
3.2.2	Muestra	63
3.3	Operacionalización de las variables	63
3.3.1	Identificación	63
3.3.2	Variable independiente	63
3.3.3	Variable dependiente.....	64
3.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	64
3.4.1	Técnicas	64
3.4.2	Instrumentos.....	65
3.5	Procesamiento y análisis de datos	65
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		71
4.1	Resultados del valor de la rugosidad usando la aplicación TotalPave.....	71
4.1.1	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 1	71
4.1.2	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 2	72
4.1.3	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 3	73
4.1.4	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 4	74
4.1.5	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 5	75
4.1.6	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 6	76
4.1.7	Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 7	77
4.1.8	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 1	78
4.1.9	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 2.....	79
4.1.10	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 3.....	80
4.1.11	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 4.....	81
4.1.12	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 5.....	82
4.1.13	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 6.....	83
4.1.14	Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 7.....	84
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		86
5.1	Análisis de resultados del IRI elaborados con el aplicativo TotalPave.....	86
5.2	Determinación del nivel de transitabilidad	89
CONCLUSIONES.....		91
RECOMENDACIONES.....		92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		93

ANEXO. MATRIZ DE CONSISTENCIA..... 97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala del índice de serviciabilidad del pavimento.....	31
Tabla 2. Transitabilidad mediante el IRI.....	32
Tabla 3. Valores del IRI usados internacionalmente.....	39
Tabla 4. Cuadro normativo para el nivel del IRI tipos de superficie.....	39
Tabla 5. Medición del cIRI.....	48
Tabla 6. Estado de la carretera según ROADROID.....	50
Tabla 7. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 1.....	71
Tabla 8. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 2.....	72
Tabla 9. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 3.....	73
Tabla 10. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 4.....	74
Tabla 11. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 5.....	75
Tabla 12. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 6.....	76
Tabla 13. Registro del aplicativo TotalPave, carril derecho Tramo - 7.....	77
Tabla 14. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 1.....	78
Tabla 15. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 2.....	79
Tabla 16. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 3.....	80
Tabla 17. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 4.....	81
Tabla 18. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 5.....	82
Tabla 19. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 6.....	83
Tabla 20. Registro del aplicativo TotalPave, carril izquierdo Tramo - 7.....	84
Tabla 21. Cuadro de Resumen de la Rugosidad, Carril Derecho.....	86
Tabla 22. Cuadro de Resumen de la Rugosidad, Carril Izquierdo.....	87
Tabla 23. Calificación del estado del pavimento.....	87
Tabla 24. Resultados del Valor IRI Ponderado	88
Tabla 25. Calificación del Índice de serviciabilidad del pavimento (PSI)	89
Tabla 26. Calificación de la Transitabilidad	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Recorrido de la vía en estudio Tacna-Los Palos.....	03
Figura 2. Vista panorámica del recorrido de la vía Tacna-Los Palos.....	03
Figura 3. Presencia de rugosidad en el lugar de estudio.....	04
Figura 4. Fisuras de severidad media	04
Figura 5. Deterioro con severidad alta	05
Figura 6. Severo desprendimiento del pavimento.....	05
Figura 7. Partes del pavimento asfáltico	17
Figura 8. Pavimento Rígido de concreto.....	18
Figura 9. Pavimento Flexible	19
Figura 10. Carpeta asfáltica.....	20
Figura 11. Base Granular.....	21
Figura 12. Subbase	22
Figura 13. Subrasante.....	23
Figura 14. Grieta Piel de cocodrilo.....	24
Figura 15. Exudación de asfalto	25
Figura 16. Hundimiento de la carpeta asfáltica.....	26
Figura 17. Ondulaciones de la carpeta asfáltica.....	27
Figura 18. Fisuras en el borde de la vía.....	28
Figura 19. Baches de la carpeta asfáltica n°01.....	29
Figura 20. Baches de la carpeta asfáltica n°02.....	29
Figura 21. Ahuellamiento de la carpeta asfáltica.....	30
Figura 22. Perfil longitudinal de la vía asfáltica pavimentada.....	33
Figura 23. Escala estándar empleada por el Banco Mundial.....	38
Figura 24. Esquema del instrumento MERLIN.....	41
Figura 25. Esquema del instrumento MERLIN.....	42
Figura 26. Modelo de cuarto de carro.....	44
Figura 27. Aplicativo ABAKAL.....	44
Figura 28. Ubicación del teléfono inteligente en el parabrisas del automóvil.....	45
Figura 29. Aplicación del ensayo.....	46
Figura 30. Visualización de la carretera analizada en Google Maps.....	47
Figura 31. Pavimento de asfalto.....	49

Figura 32. Logo TotalPave IRI.....	50
Figura 33. Inicio de recopilación de datos.....	51
Figura 34. Modo lento de GPS.....	52
Figura 35. Detección lenta.....	53
Figura 36. Detener colección de datos.....	54
Figura 37. Registros IRI.....	55
Figura 38. Dispositivo de parabrisas para los vehículos.....	56
Figura 39. Soporte para el Smartphone en posición nivelada.....	56
Figura 40. El brazo de montaje de plástico resistente.....	57
Figura 41. Dispositivo de nivel.....	58
Figura 42. Recopilación de datos IRI.....	58
Figura 43. Registros IRI.....	59
Figura 44. Auto Toyota Tercel 95 para la recolección de valores del IRI	65
Figura 45. Montaje adecuado del smartphone.....	66
Figura 46. Uso de la herramienta “Nivel”.....	66
Figura 47. Inicio de Recopilación de Datos	67
Figura 48. Modo Lento activado.....	68
Figura 49. Detener Recopilación de datos IRI.....	68
Figura 50. Almacenamiento de Registros IRI.....	69
Figura 51. Evaluación del IRI según desplazamiento de la zona real.....	70
Figura 52. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 1.....	72
Figura 53. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 2.....	73
Figura 54. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 3.....	74
Figura 55. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 4.....	75
Figura 56. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 5.....	76
Figura 57. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 6.....	77
Figura 58. Valores IRI cada 100 m; carril derecho Tramo – 7.....	77
Figura 59. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 1.....	78
Figura 60. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 2.....	79
Figura 61. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 3.....	80
Figura 62. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 4.....	81
Figura 63. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 5.....	82
Figura 64. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 6.....	83
Figura 65. Valores IRI cada 100 m; carril izquierdo Tramo – 7.....	84

Figura 66. Comportamiento de los valores IRI del carril derecho.....	85
Figura 67. Comportamiento de los valores IRI del carril izquierdo.....	85

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha determinado la evaluación funcional del pavimento asfáltico y la determinación de la transitabilidad vehicular utilizando el aplicativo TotalPave en smartphone. El objetivo del presente trabajo de investigación es determinar el valor de la rugosidad en el pavimento flexible utilizando el aplicativo TotalPave para determinar la mejora de la transitabilidad en la de la carretera Tacna – Los Palos, -Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022. La tesis es de tipo Aplicada con enfoque cuantitativo, porque permitirá caracterizar las imperfecciones superficiales del pavimento asfáltico en la determinación de la rugosidad y la transitabilidad vehicular, en la técnica empleada para la obtención de la información se utilizó el aplicativo TotalPave en smartphone Samsung Galaxy Note 10 utilizando un Auto Toyota Tercel 95 con velocidades entre 60 a 70 km/h, con una longitud de la vía en investigación de 12800 m., con una sección de la calzada entre 6,60 m. a 7,20 m. y con un ancho de carril de 3,30 m, determinando un IRI promedio de ambos carriles de ingreso y de salida cada 100 m., y un ponderado de la vía en investigación, considerando el IRI ponderado del aplicativo TotalPave igual a 3,16 m/km., de la misma forma los cálculos ponderados o el procesamiento de los datos se utiliza la Hoja electrónica Excel, por lo que la calificación del estado del pavimento flexible es regular. Luego de la evaluación de todos los resultados y el IRI ponderado, se obtiene la calificación de la transitabilidad, tomando el valor determinado del PSI en base al IRI promedio 3,16 m/km, utilizando la fórmula de William Paterson, D.Dejusin y A. Arroyo obtenemos un PSI promedio cuyo resultado se obtiene el valor de PSI = 2,81, calificando la transitabilidad como regular, recomendando llevar a cabo actividades de mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción como un tratamiento superficial consistente en la colocación de una bicapa de emulsiones asfálticas, o una capa de carpeta asfáltica en frío, siendo el uso del aplicativo TotalPave una metodología confiable de bajo costo y un alto rendimiento.

Palabras Claves: Transitabilidad, TotalPave, IRI, Evaluación funcional.

ABSTRACT

In the present research work, the functional evaluation of the asphalt pavement and the determination of vehicular passability have been determined using the TotalPave application on smartphone. The objective of this research work is to determine the value of roughness in flexible pavement using the TotalPave application to determine the improvement of passability in the Tacna – Los Palos highway, -Section: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022. The thesis is of the Applied type with a quantitative approach, because it will allow characterizing the surface imperfections of the asphalt pavement in the determination of roughness and vehicular passability, in the technique used to obtain the For information, the TotalPave application was used on a Samsung Galaxy S7 smartphone using a Toyota Tercel 95 car with speeds between 60 and 70 km/h, with a length of the road under investigation of 12800 m, with a section of the road between 6,60 m. at 7,20 m. and with a lane width of 3,30 m, determining an average IRI of both entry and exit lanes every 100 m, and a weighted average of the road under investigation, considering the weighted IRI of the TotalPave application equal to 3,16 m/km. In the same way, the weighted calculations or the processing of the data is used in the Excel spreadsheet, so the qualification of the state of the flexible pavement is regular. After evaluating all the results and the weighted IRI, the passability rating is obtained, taking the determined value of the PSI based on the average IRI 3,16 m/km, using the formula of William Paterson, D. Dejusin and A. Arroyo we obtain an average PSI whose result is the value of $PSI = 2,81$, qualifying the passability as regular, recommending carrying out maintenance, rehabilitation and / or reconstruction activities as a surface treatment consisting of the placement of a bilayer of asphalt emulsions, or a layer of cold asphalt binder, being the use of the TotalPave application a reliable methodology of low cost and high performance.

Keywords: Walkability, TotalPave, IRI, Functional evaluation.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación tiene como objetivo la evaluación funcional y transitabilidad vehicular del pavimento asfáltico en el recorrido de la vía Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, que viene a ser una ruta pavimentada, con dos carriles de ingreso y salida y con una distancia de 12,80 Km.; en el presente, el recorrido de la vía Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, posee una moderada cantidad de transporte privado y público, al ser una ruta secundaria con sentidos de ingreso y salida, entre la carretera Costanera y la plaza Mayor de Los Palos. En el recorrido de la vía de investigación se puede analizar que la calzada, presenta fallas e imperfecciones que están vinculadas primordialmente con la calidad de la carpeta asfáltica y el estado general de la superficie de la carretera, por lo tanto, la identificación, evaluación y determinación será uno de los objetivos, donde se realizará el uso del aplicativo TotalPave en smartphone para calcular el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico determinando las condiciones de la carretera y el tráfico de vehículos. Comprender la importancia de la evaluación funcional del pavimento asfáltico puede ayudar a mejorar la transitabilidad vehicular en el recorrido de la vía en estudio y desarrollar planes de renovación, mantenimiento y reconstrucción, para mantener a los automovilistas seguros y cómodos en la vía bajo investigación.

Esta investigación consta de cinco capítulos: En el capítulo uno, se desarrolla el planteamiento del problema, comprendiendo este capítulo la descripción y formulación del problema, justificación de investigación, objetivos generales y específicos, de la misma forma la hipótesis general y específicos. En el Capítulo dos, se realiza el marco teórico, proporcionando los antecedentes del estudio, la bases teóricas del pavimento y del aplicativo TotalPave, y definición de términos. En el capítulo tres, explica el marco metodológico de la investigación, incluyendo el tipo y nivel del estudio, muestra del estudio y/o población, operacionalización de las variables, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, finalizando con el procesamiento y análisis de datos. En el Capítulo cuatro, se muestra los resultados del valor de la rugosidad realizados con el aplicativo Total Pave en smartphone. En el capítulo quinto, se realiza la discusión, que incluye el análisis de los resultados de la rugosidad obtenidos con el aplicativo TotalPave y la determinación del nivel de Transitabilidad. Finalizando con el desarrollo de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En la actualidad la carretera Costanera Sur de Tacna es utilizada para el acarreo o traslado de personas y mercancías, principalmente en el recorrido de la vía Tacna - Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD - Los Palos, donde la carretera presenta imperfecciones y fallas, si la carretera no recibe un mantenimiento apropiado, el deterioro de la calzada puede ser severo y puede apercibir renovación, mantenimiento y reconstrucción en poco tiempo.

El distrito de La Yarada-Los Palos está experimentando un período de rápido crecimiento de población, con carreteras utilizadas para el traslado de personas y mercancías, y un aumento en el tráfico de vehículos entre la ciudad de Tacna y el distrito de La Yarada-Los Palos, tras el aumento del número de vehículos en la carretera, aumenta el hundimiento y las inundaciones que debilita y daña la capa asfáltica, reduciendo su vida útil y aumentando la aparición de fallas e imperfecciones en la carretera, por lo que el tráfico vehicular en el recorrido de la vía Tacna-Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD - Los Palos está aumentando, siendo urgente el estudio del sistema vial existente.

En este estudio, la evaluación funcional del pavimento asfáltico en el recorrido de la vía Tacna-Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD - Los Palos, considerando uno de los tramos entre la Costanera Sur de Tacna y el distrito de La Yarada-Los Palos, viene a ser una ruta pavimentada, con dos carriles de ingreso y salida y con una distancia de 12,80 Km, tal como se puede apreciar en la Figura 1.

En las Figuras 2, 3, 4, 5 y 6 se puede visualizar que el recorrido de la vía en estudio presenta fallas, fisuras, desprendimiento y patologías en algunos tramos, debiéndose reconocer, analizar y determinar el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico y así obtener la transitabilidad vehicular en función de IRI, utilizando el aplicativo TotalPave en Smartphone.

Figura 1

Recorrido de la vía en estudio Tacna-Los Palos



Nota. En la figura se muestra la vista satelital de la zona de la vía en estudio Tacna-Los Palos de 12,80 km.

Figura 2

Vista panorámica del recorrido de la vía Tacna-Los Palos



Nota. En la figura se muestra el desgaste de la capa de rodadura.

Figura 3

Presencia de rugosidad en el lugar de estudio



Nota. En la figura se muestra la presencia de huecos.

Figura 4

Fisuras de severidad media



Nota. En la figura se muestra el desgaste y existencia de ahuellamiento.

Figura 5

Deterioro con severidad alta



Nota. En la figura se muestra la existencia de huecos o baches.

Figura 6

Severo desprendimiento del pavimento



Nota. Desgaste del nivel de capa asfáltica, pérdida de finos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las características de la evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos - Tacna, 2022?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo se determina el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos, Tacna-2022?
- b) ¿Cómo se determina la transitabilidad vehicular en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022?

1.3 Justificación de la investigación

En la actualidad existen herramientas para medir el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico es por ello que en esta presente investigación se evaluará la rugosidad en el pavimento utilizando el aplicativo TotalPave para mejorar la transitabilidad vehicular en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos en el distrito de La Yarada – Los Palos, esta metodología es muy sencilla ayudando a comprender el estado y características del pavimento asfáltico, determinando su capacidad y así dar a conocer la transitabilidad del recorrido de la vía en estudio generando alternativas para su intervención, para considerar una renovación, mantenimiento y reconstrucción. En otra manera, se indica que los ingenieros especialistas en vías terrestres deben tener conocimiento y manejo del aplicativo TotalPave en un smartphone. El aplicativo TotalPave es de un adecuado y sencillo manejo y no solicita de instrumentos especiales, considerando entonces que es un método eficaz para calcular el valor del IRI.

1.3.1 Justificación desde el punto de vista ambiental

Es importante que esta propuesta de investigación busque, empleando la hipótesis, conceptos primordiales y descripción general de la prueba del método del aplicativo TotalPave en smartphone, método que nos contribuye a hallar las interpretaciones ante situaciones que ocasionan el fastidio e inconveniente al momento de circular en el recorrido de la vía en investigación, los cuales perjudican el confort y seguridad de los automovilistas y el medio ambiente.

1.3.2 Justificación desde el punto de vista social

Los resultados del trabajo de investigación beneficiarán a la población, ya que informaran sobre las condiciones de la vía, proposición de alternativas y las soluciones, ya que los usuarios son los afectados al momento de circular la carretera, queriendo mejorar su seguridad y salud de los conductores y peatones.

1.3.3 Justificación desde el punto de vista económico

Con la evaluación funcional del pavimento asfáltico, se podrán conocer la existencia de deficiencias de moderada y elevada severidad que se muestran en la carpeta de rodamiento del recorrido de la vía que son los que ocasionan un considerable gasto de combustible y desgaste de los automóviles que circulan por la carretera en investigación y en base a ello, se podrán tomar decisiones para minimizar los daños que esta genere.

1.3.4 Justificación desde el punto de vista científico

La formulación del problema y sus objetivos permiten hallar resultados consistentes en los problemas de rugosidad, de igual modo es un elemento o dato que debe ser analizado y guiado por ingenieros especialistas en vías terrestres, el uso del aplicativo TotalPave en smartphone cuyos valores del Índice de rugosidad internacional elaborados, son fiables para la calificación de la transitabilidad vehicular generando planes de renovación, mantenimiento, reconstrucción y otras formulaciones como opciones de solución. Para alcanzar estos objetivos, se deben aplicar las normas vigentes en el tema de tránsito vehicular como la Norma

CE-010-Pavimentos Urbanos y el manual de mantenimiento o conservación vial. Los métodos de investigación, como el proceso de datos en software de aplicación para determinar el valor la rugosidad, es un indicador de la condición del recorrido de la vía en estudio y se calcula de manera precisa empleando el aplicativo TotalPave que ayuda a precisar el valor de la rugosidad de la carretera, también hace más rápido, sencillo y económico conocer la condición de la carretera, cuyos resultados del estudio se extiende en su importancia por el aporte a las soluciones de mejoramiento que se formulan.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Determinar la evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico utilizando el aplicativo TotalPave en Smartphone de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos.
- b) Determinar la transitabilidad vehicular en función del IRI obtenido con el aplicativo TotalPave en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

La determinación de la evaluación funcional muestra las imperfecciones que afectan la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- a) La determinación del valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico utilizando el aplicativo TotalPave en Smartphone de la carretera Tacna - Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD - Los Palos, es deficiente.
- b) La determinación de la transitabilidad vehicular utilizando el aplicativo TotalPave en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos, permitirá caracterizar las imperfecciones superficiales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 A nivel *internacional*

Según Román (2020), desarrollo en la Tesis “Metodología para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y su aplicación en pavimentos flexibles de Guatemala”, desarrollado por el Ing. Fredi Maxelio Román Reyes para obtener el grado académico de Maestro en Artes de Ingeniería Vial por la Universidad de San Carlos de Guatemala, la apariencia irregular del pavimento es uno de los motivos de preocupación de los peatones, muchas veces relacionada con las variaciones de tensión y la deformación del pavimento, lo que afecta las actividades de restauración, mantenimiento y operación. Por esta razón, es importante poder predecir cuándo un camino alcanzará su rugosidad crítica para determinar las acciones correctivas a tomar. Además, es necesario determinar la rugosidad debido a la superficie de la carretera recién terminada, para determinar los criterios técnicos y los parámetros de calidad requeridos. Este artículo describe un método para calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para pavimentos plásticos; comprender su proceso de cálculo para asegurar la calidad de su construcción y las operaciones que deben realizarse con regularidad o frecuencia para prolongar su vida. El caso real tuvo lugar en la ruta CA-9 Sur, en un tramo de la autopista Palín-Escuintla, donde las mediciones del IRI se encontraron dentro del rango ideal esperado. El objetivo es poner el método descrito en este documento en el trabajo de campo relacionado con la medición de este parámetro. Además, en la próxima reforma décimo cuarta, la Dirección de Vialidad propone incluir el Reglamento Técnico General sobre construcción de carreteras y puentes, el cual es un documento guía para que el proceso de construcción nacional logre mejores resultados. En términos de calidad de construcción del pavimento asfáltico.

Según Chavez A. y Peñarreta L. (2019), desarrollo la investigación titulada “Desarrollo de la correlación entre dos indicadores de la condición de la superficie del pavimento”, desarrollado por Andrés Eduardo Chávez Mendieta y Leída Yolanda Peñarreta Tello para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil por la Universidad de Cuenca, la nomenclatura actual incluye la definición del Índice

de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para el tramo de la Avenida Loja en Cuenca. El área objeto de estudio se divide en 86 tramos de 50 metros cada uno. Este estudio pretende establecer la correlación entre estos dos indicadores. PCI cumple con la condición de la superficie del pavimento según la norma ASTM D6433. El IRI mide la rugosidad de la carretera obtenida mediante la aplicación Roadroid. Roadroid proporciona dos métricas, una que se enfoca en la textura de la superficie y la otra en la rugosidad, llamadas eIRI y cIRI. Según los resultados del PCI, el 45% y 35% de los episodios se encuentran en buen y buen estado, el restante 11% y 9% en buen y mal estado. En todos los tramos mal graduados, las fallas muestran: grietas lineales, lóbulos largos y fragmentación; Se cree que estos tres tipos de fallas tienen la mayor influencia en el estado funcional de la carretera, cubren un área grande y forman depresiones significativas en la superficie. Los indicadores IRI muestran un camino irregular de 4,8 m/km, clasificado como camino viejo y en descomposición. La correlación entre el modelo de PCI obtenido y el eIRI alcanzó un valor de -0,79, mostrando una relación lineal altamente inversa entre ellos, lo que sugiere que el PCI está relacionado con la textura del pavimento duro.

Según Reyes (2020), desarrollo la investigación titulada “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional en la Av. la Prensa, usando Aparatos Inteligentes y el Rugosímetro de Merlín”, desarrollado por Bryan Alberto Reyes Pionce para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la Universidad de Estatal del sur de Manabí, este documento examina la existencia de similitudes entre las mediciones de la planitud superficial o el Índice Internacional de Rugosidad IRI en la Avenida La Prensa del Cantón Jipijapa utilizando dos aplicaciones móviles y el software de análisis línea ProVAL para el rugosímetro MERLIN. Todos estos dispositivos pueden medir la rugosidad del pavimento, pero el software de análisis de carreteras y la aplicación móvil ProVAL aparecen en el mercado como herramientas innovadoras y muy útiles para el análisis y cálculo de carreteras IRI, incluido el medidor de rugosidad MERLIN. es muy conocido y utilizado en nuestra región y, según el Banco Mundial, es uno de los métodos más precisos para este tipo de pruebas. Para realizar el estudio se realizó el análisis con un rugosímetro MERLIN, la aplicación Total PAVE IRI, la aplicación IRI Calculator y finalmente, en el estudio anterior, con el software ProVAL. Los resultados del IRI muestran que la rugosidad de la Avenida la Prensa varía de 2 m/km. Clasificarlo como un pavimento nuevo. La correlación del IRI con el PSI nos

arrojó un valor de serviciabilidad de 3.31 y reflejó un valor cualitativo de transitabilidad clasificándola como buena.

2.1.2 A nivel nacional

Según Latorre (2019), desarrollo la investigación “Aplicación del sistema Roadroid utilizando smartphone para diagnosticar la uniformidad superficial del pavimento en el centro urbano de Chiclayo” desarrollado de Franco Emanuel Latorre Gamboa para lograr el Título Profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Cesar Vallejo, el objetivo principal de este estudio fue diagnosticar la uniformidad del pavimento en el centro de Chiclayo para mejorar la calidad del pavimento y comprender la condición actual del pavimento en la ciudad de Chiclayo, donde se encuentra el Índice Nacional de Rugosidad. IRI, para usar todos los términos, es una evaluación de cuándo los teléfonos inteligentes se utilizan para el diagnóstico utilizando el enfoque del sistema Roadroid, el diseño de este estudio describe un resultado de tema donde la interpretación de datos utiliza el mismo formato que el sistema Roadroid. La población fue diagnosticada como el centro de Chiclayo, de donde se tomó la muestra de estudio, es decir, 38 avenidas pavimentadas del centro de Chiclayo, que finalmente no cumplieron con los 2,5 m/km según la norma peruana, dando como mínimo valor IRI en la N° 07 - Avenida Tumbes con un valor de 3.29 m/km, el mayor valor se logra en la Av. 29. José Rivadeneira y Tejada con un valor de 28,53 m/km, estos caminos finalmente se encuentran en mal estado y necesitan mantenimiento para mejorar la capacidad de circulación del automóvil.

Según Tingal (2021), desarrollo la investigación titulada “Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlín”, desarrollado por Homero Tingal Limay para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Cajamarca, el presente trabajo de investigación resume el análisis IRI del pavimento elástico Cajamarca - Baños del Inca con el Rugosímetro Merlín, a partir del cual se prueban las condiciones de transitabilidad, idoneidad y confort de la cubierta para obtener posteriormente resultados pertinentes. Y compáralos para obtener valores numéricos que te den una estimación realista de las condiciones de la carretera. Este desarrollo de investigación comenzó con un estudio del sitio, un estudio de tráfico, un estudio

topográfico de dos caminos y luego midiendo brechas con el equipo de Merlin cada dos metros (equivalente a un giro de la rueda del vehículo) 400 metros para procesar estos datos para obtener los resultados como base para la investigación o como ejemplo para sustentar futuras investigaciones, diseño y construcción de pavimentos asfálticos para dar solución a defectos de diferentes texturas. Nuevamente en base a los resultados obtenidos se determinan los valores de rugosidad en unidades IRI de la siguiente manera: para una calle de sentido único (Cajamarca - Baños del Inca) el valor de IRI es de 1,07 m/km, para la vía de retorno (Baños del Inca - Cajamarca), el valor obtenido es de 1,10 m/km. Por lo tanto, podemos estar seguros de que, en base a los resultados de las mediciones con el rugosímetro MERLIN, estos datos y los resultados proporcionados por este instrumento son datos efectivos y, además, una herramienta fácil de usar y de bajo costo.

Según Carhuapoma (2019), desarrollo la investigación titulada “Evaluación del nivel de servicio mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando el rugosímetro MERLIN en el pavimento flexible de la carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca–2019”, desarrollado por Jimmy Henry Carhuapoma Carlos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en la actualidad, se desconoce el nivel de servicio de la autopista Cerro de Pasco-Yanahuanca y debe evaluarse, ya que los usuarios se quejan constantemente de la calidad de los viajes que experimentan, que es una vía muy importante en la región de nuestra influencia local. Para el crecimiento, es importante conocer este indicador y tomar medidas para protegerlo y mantenerlo. El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar el aprovechamiento de la superficie elástica de la carretera Cerro de Pasco-Yanahuanca en el año 2019, lo cual se puede realizar utilizando el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y el Índice de Utilidad Actual (PSI).), utiliza un dispositivo llamado medidor de rugosidad MERLIN para recopilar datos de campo y luego obtiene el IRI y el PSI a través de cálculos matemáticos y estadísticos para clasificar el nivel de servicio de las carreteras probadas. Para efectos del estudio se realizó un trabajo topográfico para conocer mejor la vía, así como la ubicación y estadísticas de tráfico en los tramos de prueba. La investigación de tráfico muestra que la carretera es de clase 3 según los cálculos del nivel de servicio de IMDA 342 vehículos/día, el Índice de Desigualdad Internacional (IRI) 3,78 m/km y el Índice de Fiabilidad Actual (PSI) es 2,65 según el MTC. Se clasifica en el nivel de

servicios generales. Además, se encontró que el IRI era de 9,60 m/km y el PSI de 0,87, lo que se considera un nivel de servicio muy bajo.

2.1.3 A nivel local

Según Medina y Farro (2017), desarrollo la investigación titulada “Evaluación Superficial y de Rugosidad del pavimento en la Av. Circunvalación Oeste, tramo Ovalo Transportes – Ovalo Cuzco, Distrito de Tacna, Provincia de Tacna, Tacna – 2017”, desarrollado por Richard Ángel Medina Chahuares y Diego Alonso Farro Velarde, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Privada de Tacna, en este trabajo se presenta la similitud de los resultados de la evaluación del firme de la Av. Circunvalación Oeste, Tramo Ovalo Transportes - Ovalo Cuzco, Distrito de Tacna, Provincia de Tacna, Tacna; usando el método de medición de rugosidad MERLIN Calcule la rugosidad de la superficie de la carretera, use el método PCI para evaluar la superficie de la carretera, compare la suavidad de la superficie de la carretera de dos carriles con la diferencia de los resultados. Ambos métodos de medición de evaluación superficial para obtener el estado del pavimento expuesto, el rugosímetro MERLIN es un dispositivo conocido y utilizado en nuestra región, y según el Banco Mundial, uno de los calibradores más precisos y recomendados entre otros. Y como método PCI, se realizan cálculos detallados sobre toda la superficie del pavimento. En este estudio, Av. Circunvalación Oeste, Tramo Ovalo Transportes - Ovalo Cuzco, Distrito de Tacna, Provincia de Tacna, Tacna fueron medidos con un rugosímetro MERLIN y evaluados por el método PCI, luego se obtuvieron los resultados y posterior análisis. Se encontró que por los resultados obtenidos con el Rugosímetro MERLIN y la evaluación de superficie PCI nos dio un estado “malo” de ambos carriles, siendo el carril derecho el más importante. Por lo tanto, se puede concluir que los defectos del pavimento en el área de estudio son generalmente de alta severidad, y la principal causa del deterioro se debe a la falta de mantenimiento de las vías y la falta de mantenimiento y reparación de las áreas dañadas a una ubicación clara. El mantenimiento adecuado es imperativo ya que es una de las vías más transitadas de la ciudad y el tráfico es de extremo a extremo.

Según Gonzalo y Beingolea (2021), desarrollo la investigación titulada “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, el ensayo tiene como objetivo determinar la rugosidad de un pavimento elástico utilizando un teléfono inteligente con la aplicación ABAKAL y un rugosímetro MERLIN en la Avenida Internacional, párrafo: Av. Jorge Basadre Grohmann do Ciudad Nueva, esta investigación es una aplicación tipo-enfocada ya que tiene como objetivo generar conocimiento que sea directamente aplicable al problema, cuyo único propósito es ampliar el conocimiento de la determinación de la rugosidad a través de métodos tradicionales y aplicaciones para teléfonos inteligentes, incluyendo el carril de descubrimiento de diseño descriptivo, la determinación precisa del IRI de 4,07 m/km, el carril izquierdo de 5,14 m/km y utiliza un IRI ponderado de 4,60 m/km, un valor que ayuda a determinar el BAD para conducción internacional en condiciones de pavimento blando. Se utilizó un smartphone de alta gama para determinar el resultado de rugosidad mediante la aplicación ABAKAL, por lo que en el artículo utilizamos el Samsung Galaxy Note 10, el resultado de IRI obtenido fue de 4,38 m/km en carretera a la derecha y de 4,38 m/km para la izquierda. carretera 4,49 m/km, por lo que al comparar con el método MERLIN, obtenemos el valor ponderado de IRI igual a 4,44 m/km. Los valores obtenidos muestran que los resultados obtenidos por la aplicación son similares a los obtenidos con el rugosímetro MERLIN y por tanto son datos fiables.

Según Zeballos y Vizcarra (2020), desarrollo la investigación titulada “Aplicación de teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El peligro – Emp. PE-40, Tacna - 2020”, desarrollado por Gonzalo Zeballos Zegarra y Carlos Vizcarra Arocutipá en el año 2020. Tesis desarrollada para optar el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Privada de Tacna, el estudio tuvo como objetivo determinar la rugosidad del pavimento elástico mediante un teléfono inteligente con la aplicación ROADROID y el rugosímetro MERLIN en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna - 2020, es un estudio aplicado con enfoque cuantitativo, ya que tiene como objetivo generar conocimiento directamente aplicable al problema, cuyo único propósito es extender la innovación de nuevos conocimientos especificando asperezas utilizando métodos tradicionales. y Metodologías, teniendo en cuenta

la descripción Proyecto de investigación destinado a determinar la rugosidad IRI del carril derecho igual a 3,73 m/km y del carril izquierdo igual a 3,53 m/km, utilizando un valor ponderado IRI de 3,63 m/km, que ayuda a determinar el estado del pavimento normal, todas las vías a través de TA-615. Para determinar la transitabilidad, el PSI calculado usando la ecuación de William Paterson, es 2.59, por lo que califica como un transitabilidad regular. Para el análisis de la aplicación ROADROID se utilizó un smartphone insignia, por eso utilizamos el Samsung Galaxy S7 en el estudio, que obtuvo un resultado eIRI de 3,75 m/km en el carril lateral derecho y 3,44 m/km en el carril izquierdo. obtuvimos el valor medio de eIRI igual a 3,60 m/km. Podemos demostrar que los resultados obtenidos por esta aplicación son similares a los del Rugosímetro MERLIN, por lo que se trata de datos fiables.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimento asfáltico

El pavimento asfáltico incluye cualquier tipo de pavimento hecho de asfalto, este tipo de pavimento está constituido por agregados, como la grava y aglutinantes como la emulsión asfáltica, por lo tanto, el pavimento de asfalto puede variar; por ejemplo, podemos encontrar un pavimento asfáltico con árido grueso, y existe también pavimentos más granulares. Dependiendo de los diferentes tipos de emulsión asfáltica, los áridos serán la resistencia de la carretera.

Se denomina pavimento a la composición de las carpetas asfálticas de los materiales seleccionados, cuya función es verificar las cargas directas en los vehículos y transmitir a las carpetas inferiores de manera independiente, así como proporcionar la superficie de rodamiento permanente y resistente.

El asfalto es uno de los materiales con más práctica en la elaboración del pavimento, se obtuvo 3 motivos: la calidad, versatilidad y consistencia que lo hacen de un material sumamente común para los pavimentos. Basta con observar las avenidas y vías para entender mediante la popularidad su uso. Aquí podemos contactar sobre el pavimento asfáltico para ser realizado y caracterizado en sus trayectorias de la vía. Se puede extraer de un subproducto del petróleo conocido como brea, por lo cual, es muy espeso, pegajoso y viscoso. La emulsión que está formada por brea y otros ingredientes que se calienta para realizar mucho más

ligera y después se mezcla el asfalto caliente con los agregados como arena o grava para formar el pavimento asfáltico. Se agrupan tipos de pavimentos usando asfalto en su construcción, está constituido por agregado, como la grava y un aglutinante como la emulsión asfáltica para que los pavimentos con asfalto puedan poseer distintas variaciones; en la Figura 7 se puede apreciar las partes del pavimento asfáltico.

Figura 7

Partes del pavimento asfáltico



Nota. Se puede mostrar en la figura las partes del pavimento asfáltico.

2.2.2 Características del pavimento asfáltico

Para que el pavimento asfáltico realice su función presentamos las siguientes características:

- a) La homogeneidad superficial, como transversal y longitudinal que pueda garantizar la comodidad necesaria para los conductores que puedan transitar en el pavimento asfáltico.
- b) Consistencia al cambio climático.
- c) Brindar la capa asfáltica apropiada a las velocidades del desplazamiento de vehículos, para que sea esencial la influencia en la comodidad y la seguridad de los usuarios.
- d) Debe tener mejor resistencia en caso de las fallas de las consecuencias de abrasión derivando las llantas de los vehículos.
- e) Cumplir con la duración del mantenimiento de lo cual fue planteado.

f) Cumplir el requerimiento de medio ambiente y estético del pavimento.

2.2.3 Tipos de pavimentos asfálticos

2.2.3.1 Pavimentos rígidos

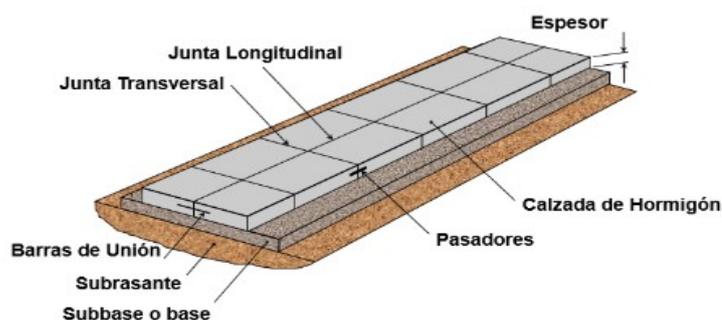
Son los pavimentos que prácticamente están conformados por el material de concreto para descansar sobre la subrasante o sobre una capa de un componente granular para ser seleccionado, por lo tanto, puede designar la denominación de subrasante del pavimento rígido.

La estructura de pavimento rígido depende de la consistencia del hormigón, es decir, se encuentra en las capas inferiores y tiene un bajo peso calculado sobre el espesor del pavimento.

El pavimento rígido es una colección de capas seleccionadas de material que pueden absorber directamente la mayor parte de las cargas de tráfico y transferirlas a las capas inferiores de manera difusa, que debe estar encima de la superficie de rodadura donde debe ser una operación eficiente. Las condiciones para una aplicación adecuada en superficies duras son: ancho, líneas horizontales y verticales, capacidad de carga adecuada para evitar daños y grietas, luego garantizar la adherencia del vehículo a la superficie en condiciones húmedas. Consiste principalmente en una losa lisa de hormigón armado u hormigón simple colocada directamente sobre el pedestal o cimentación. La losa se basa en su alta rigidez y módulo para absorber la mayoría de las tensiones del pavimento, asegurando una buena distribución de la carga de las ruedas, para obtener los mejores resultados con muy bajas tensiones del suelo, en la Figura 8 se muestra un ejemplo de pavimento rígido de concreto.

Figura 8

Pavimento Rígido de concreto



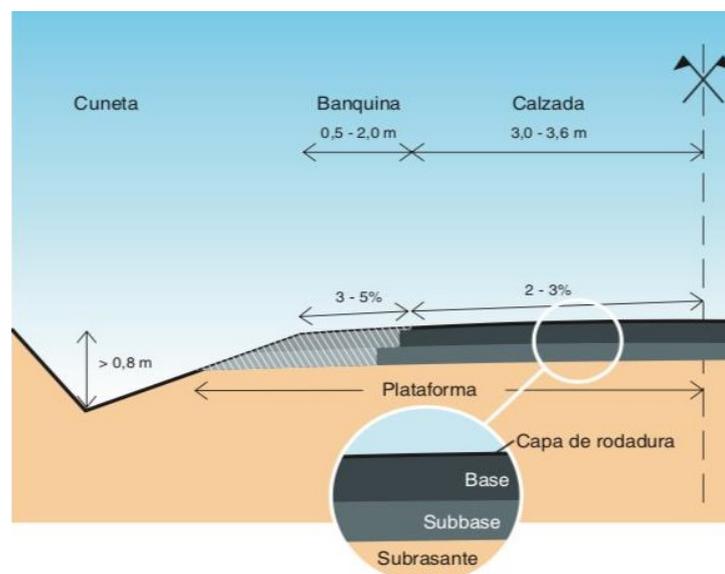
Nota. En la figura se muestra carpeta de concreto que tiene la resistencia en las capas inferiores del grosor.

2.2.3.2 Pavimentos flexibles

El pavimento flexible consiste en capas superpuestas de materiales adecuados de diferentes espesores, como una carpeta de rodadura sobre dos capas, que son la base y subbase, todas las cuales finalmente se encuentran sobre el suelo compactado que se llama subrasante (Fonseca, 2006).

Se trata de un conjunto de capas de material que soportan superficies sujetas a cargas de tráfico. La distribución de la carga de la capa de asfalto en la etapa de diseño puede determinar que no se deben exceder los esfuerzos y deformaciones permisibles. Es decir, dentro de la capacidad del suelo, se incluye cada método de desarrollo. Cada desarrollo distingue su propia etapa. La capa superior de la estructura debe ser impermeable, antideslizante y resistente al impacto de neumáticos. El comportamiento del pavimento se puede definir como la capacidad estructural o funcional promedio durante el período de diseño. Las capas del pavimento flexible están compuestas por tierra clasificada en orden decreciente de capacidad portante. La capa superior es la capa de mayor capacidad que puede soportar la carga en la base. De esta manera, todas las capas pueden soportar la carga completa, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9
Pavimento Flexible



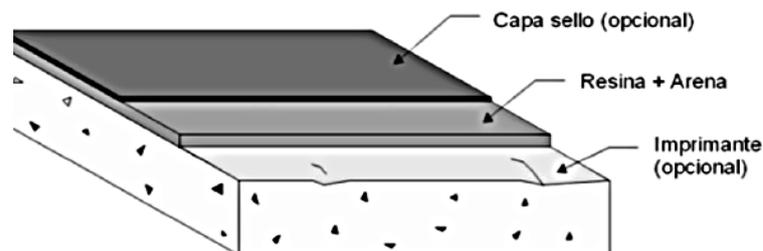
Nota. En la figura se muestra el pavimento flexible con su capa de rodadura, base, sub base y subrasante.

2.2.4 Principales carpetas de pavimentos flexibles

2.2.4.1 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa de rodadura en la estructura del pavimento. contiene las funciones principales y son: encargarse de la capa de rodadura uniforme y permanente para realizar el tráfico, impermeabilizar en la infraestructura vial para hacer lo mejor para la filtración del agua en la parte inferior de la carretera y buena resistencia a los esfuerzos mediante la carpeta asfáltica de un pavimento flexible; es uno de los elementos más importantes de todos los proyectos viales, en la Figura 10 se puede apreciar un ejemplo de una carpeta asfáltica.

Figura 10
Carpeta asfáltica



Nota. En la figura se muestra las capas de la carpeta de rodadura.

Se caracteriza lo más importante que es la satisfacción de los componentes pétreos para las capas de rodadura que son la granulometría y dureza, para formar la partícula y unión con el asfalto; es muy importante para satisfacer mediante las normas correspondientes con los elementos que cubren por completo con el asfalto, para que la granulometría que pueda cambiar la carpeta de rodamiento mediante el desarrollo debemos obtener buenos resultados siempre y cuando haya cambios en las partículas gruesas, las especificaciones toleran más cambios para estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, para mencionar con la granulometría necesaria y las tolerancias correspondientes.

2.2.4.2 Base Granular

Ejerce como soporte en la carpeta de rodamiento para transmitir las cargas obtenidas por el tráfico en las carpetas inferiores y con el nivel adecuado.

Es una capa que recibimos mediante la mayor parte de los esfuerzos que han sido producidos en los vehículos para ser colocados sobre ella porque la capacidad de carga del material fricciónamiento es nivel bajo en las estructuras por falta de confinamiento. En este proceso de la regularidad de la capa podemos ver la compactación que necesitamos para el mejoramiento(estabilización) y para poder tener buena consistencia de las cargas inferiores. En este valor de la base es indispensable para ser proporcionado en la explicación adecuada en las capas de rodadura delgadas. Cuando las capas se han construido usando los elementos inertes y se empieza a realizar el tráfico en el pavimento, por el transporte puede provocar las deformaciones transversales. Tener un espesor adecuado para que pueda soportar en las presiones que puedan transitar en la sub base. Aunque haya humedecimiento en la base no debemos presentar los cambios volumétricos dañinos. La capa inferior es esencialmente para componer de la mezcla que esta suelta de piedras trituradas gruesa y fina, y así poder lograr la capacidad de carga deseada y absorber las cargas de tráfico, para que no se deforme siempre de lado subyacente, tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Base Granular



Nota. En la figura mostramos la base granular del pavimento flexible.

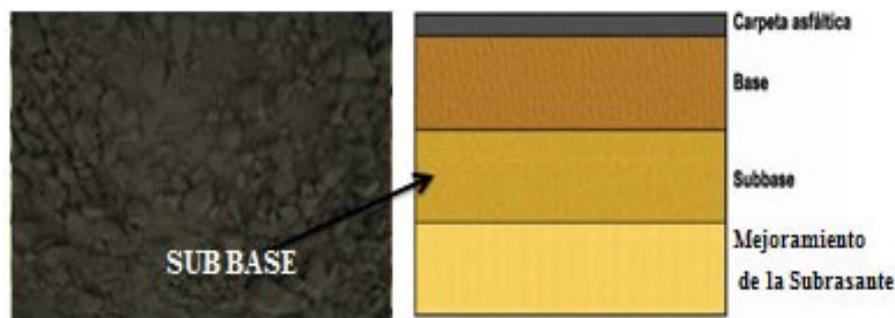
2.2.4.3 Subbase

En la Figura 12 se aprecia como la subbase actúa como capa de transición y como filtro que separa el material del sustrato. Esto suele ser más grueso con la capa de suelo subyacente y debería ser mucho más fino, evitando que las partículas finas penetren en el sustrato y dañen la estructura.

Es una capa de material colocada directamente sobre el camino de tierra, su función principal es reducir el costo de pavimentación al reducir el espesor de la base para proteger la cimentación aislando la cimentación del camino de tierra. Para obtener el buen cambio de volumen que se produce cuando cambian las condiciones de humedad, se introduce en el sustrato, dando como resultado una reducción de la resistencia del sustrato. La cimentación se puede proteger evitando que los capilares de agua asciendan para transmitir y generar cargas de movimiento de tierras. Para evitar que el agua penetre en la imprimación, siempre es necesario seguir la economía de ahorrar dinero para convertir un cierto espesor de sustrato equivalente a la imprimación (no siempre se usa en pavimento).

Figura 12

Subbase



Nota. En la figura se muestra la subbase que transmite mediante el material de la base para granular en la carpeta asfáltica.

2.2.4.4 Subrasante

Se determina como el suelo de fundación del pavimento y estando constituido por el suelo natural o de material comprimido debidamente estabilizado.

En general, la subrasante es el terreno natural sobre todas las estructuras de pavimento y no debe ser parte de la estructura misma. Sin embargo, el soporte

del suelo es un factor fundamental que puede influir directamente en la elección del espesor total del pavimento. Su objetivo principal es cargar suficiente tráfico a través de la carretera, identificar y distribuir la carga desde la carrocería hasta el terraplén, asegurar que el material plástico liviano desde la carrocería hasta el terraplén no contamine la superficie de la carretera y mantener siempre la carretera en la dirección correcta. La carpeta superior de la subrasante coincide con la línea de la subrasante geométrica. La altura en obras de drenaje es efectiva para que el agua no afecte la superficie de la carretera; en la Figura 13 se puede visualizar la subrasante de suelo natural.

Figura 13

Subrasante



Nota. La figura muestra que la subrasante del pavimento está constituida por suelo natural.

2.2.5 Fallas en los pavimentos flexibles

En las fallas de los pavimentos flexibles hay varios tipos, en las estructuras que se realizan en las capas del pavimento y las fallas funcionales con las que se puedan ver en la capa de rodamiento perjudicando el confort del conductor al transitar.

De acuerdo con las investigaciones que ha sido desarrollada, nos encontramos en tipos de fallas funcionales:

2.2.5.1 Grieta piel de cocodrilo

Se llama también agrietamiento por fatiga, es una colección de grietas interconectadas que forman un polígono con una distancia mínima de 0,50 m y es causada por la carga repetida del neumático.

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas que son óptimas para la fractura por fatiga del desgaste de la carpeta de rodamiento asfáltico bajo cargas de tráfico repetidas. La grieta comienza en la parte inferior de una carpeta de asfalto o base estable donde la tensión y las deficiencias aumentan bajo la carga del neumático.

En estas grietas longitudinales paralelas conectan las cargas del tráfico vehicular para la formación de polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón para asemejar la piel de cocodrilo. Generalmente el lado más inmenso de las piezas no supera los 0,60 m. Sucede exclusivamente en zonas sujetas por las cargas continuas del tráfico vehicular tales como huellas de los neumáticos en el pavimento, por lo tanto, no puede producirse en su totalidad de la superficie a menos que estén sujetas en las cargas de tráfico vehicular en toda su extensión.

La piel de cocodrilo se define como una falla estructural considerable que puede presentarse acompañando con el ahuellamiento. Su severidad baja ocasiona finos capilares que se desarrollan en forma paralela con pocas interconectadas, severidad media ocasiona grietas de piel cocodrilo nivel L o red que puede descascarar en la estructural del pavimento y la severidad alta ocasiona daños que están bien definidos y descascarados los bordes, tal como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Grieta Piel de cocodrilo



Nota. En la figura se muestra la inspección visual de pavimento flexible con el desgaste de la vía y presencia de piel de cocodrilo.

2.2.5.2 Exudación de asfalto

La exudación es una modificación superficial de la mezcla asfáltica colocada como capa de ruedo, donde el producto de alisado asfáltico que sale del asfalto se une a las partículas finas del árido que lo compone. Esta mezcla de material fino y betún se conoce como mástico de mezcla asfáltica.

La exudación es causada por un exceso de asfalto o por un bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla. Alternativamente, puede deberse al uso excesivo de imprimadores o aglutinantes durante la construcción, lo que cambiará el contenido del asfalto de la mezcla diseñada.

En cuanto a las propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas, es bien sabido que valores bajos de conteo de vacíos pueden hacer que la mezcla sea susceptible a la fusión o deformación plástica del asfalto. Si el contenido de vacíos es inferior al 3%, es más probable que la mezcla haga exudación. Este fenómeno se produce especialmente a altas temperaturas. Esto se debe a que la carga del tráfico deforma la estructura del pavimento y las partículas finas de asfalto se mueven hacia áreas abiertas entre el lecho rocoso. Cuando estos vacíos son raros, la fuga de este sellador (una mezcla de asfalto y partículas finas) se dirige a la superficie como un lixiviado, creando una superficie lisa y posiblemente una deformación plástica. Esto crea una condición peligrosa para el agarre de los neumáticos. El vehículo provoca primero hundimientos locales, además de posibles daños, que modifican el espesor de la capa asfáltica y luego se agrietan por falta de resistencia, como se aprecia en la Figura 15.

Figura 15

Exudación de asfalto



Nota. En la figura se muestra la exudación de asfalto en el carril izquierdo de la vía.

2.2.5.3 Hundimientos de carpeta asfáltica

El hundimiento de la carpeta asfáltica es la depresión o descenso de la superficie del pavimento original en un área local del pavimento. Pueden ocurrir en el borde o en el interior de la carretera. Las depresiones suelen ser complicadas de detectar debido a la acumulación de restos de agua y humedad, excepto después de una tormenta. En otros casos, provoca una distorsión significativa de longitud de onda larga o, por el contrario, una distorsión local repentina.

Las causas que provocan las siguientes formas de hundimiento son: Subsistencia o consolidación (longitud de onda larga) de la capa de compresión subyacente, malas prácticas de construcción (nivelación deficiente o construcción desigual de las instalaciones de bases y sub bases), inestabilidad debido al aumento de la humedad en el pavimento o vía y falta de barreras laterales (hundimiento), en la Figura 16 se observa un ejemplo de hundimiento de carpeta asfáltica.

Figura 16

Hundimiento de la carpeta asfáltica



Nota. La figura muestra el hundimiento de la capa de rodadura.

2.2.5.4 Ondulaciones de la carpeta asfáltica

Las ondulaciones son deficiencias que están en forma de ondas perpendiculares en el sentido del tránsito que se puede observar en la capa de rodamiento, habitualmente son inferiores a 3 metros, en estas ondulaciones se presentan por la mala dosificación del asfalto combinado con el desequilibrio de las capas del pavimento.

Se le denomina ondulaciones en base al hundimiento de los desplazamientos bajos, pequeños y abruptos para la superficie del pavimento los cuales pueden visualizarse en la Figura 17. Pueden ocurrir mediante los problemas de seguridad en los vehículos de transporte en esencialmente los reportes de daños para la orientación de hundimiento.

Figura 17

Ondulaciones de la carpeta asfáltica



Nota. La imagen muestra la inspección visual del pavimento con ondulado en la carpeta de rodadura de una vía.

2.2.5.5 Fisuras de borde

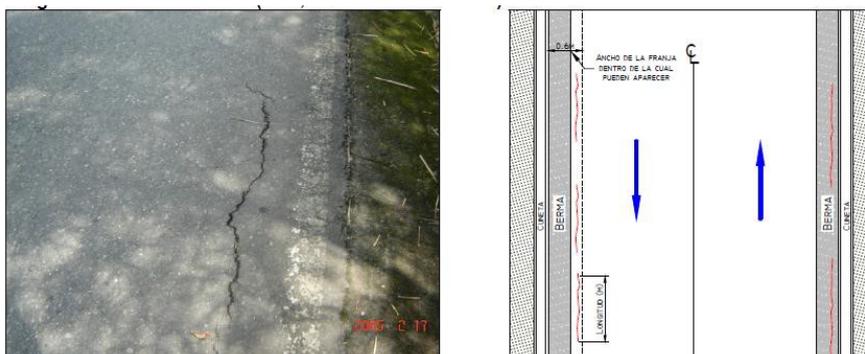
La fisura de borde son las grietas que se dan en los extremos de la carretera, mediante a la descomposición del componente granular de la base o el declive de la subrasante, se puede visualizar en la Figura 18.

Estas grietas son paralelas y normalmente tiene una longitud de 0.30 a 0.60 m. en la parte extrema de la carretera. En estos daños ocasionados se activan por los esfuerzos del tráfico vehicular causando el desgaste del pavimento por los estados climáticos de la base o la subrasante en los extremos de la vía. En esta superficie entre las grietas y el borde de la vía se clasifican de acuerdo con la manera como se cuartea. En los estudios de las fisuras de borde se analiza mediante las severidades de baja, media y alta indicando las aberturas de fragmentación o desprendimiento de la abertura menor de 10mm, si en caso la abertura media es 10mm y 30mm puede ver infiltración de agua y ahora si alto el desprendimiento es mayor de 30mm son movimientos de bruscos en los vehículos. Corresponde a la fisura con tendencia longitudinal a semicircular que

está localizada en el extremo de la vía para presentar primordialmente la carencia de la berma o por la diferencia de nivel entre la berma y el pavimento. La causa de daños puede ser la falta de confinamiento lateral de la estructura por ausencia de bordillos, ancho de berma muy cortos, en estos sucesos las fisuras ocurren cuando el tráfico vehicular sucede cerca del borde.

Figura 18

Fisura en el borde de la vía



Nota. La imagen muestra la inspección visual del pavimento con fisura en el borde de la carpeta asfáltica de una vía.

2.2.5.6 Baches de la carpeta asfáltica

Los baches de la carpeta asfáltica son la descomposición o desintegración completa de la superficie del pavimento y algo de exfoliación (generalmente de menos de 0,9 m de diámetro) da como resultado la formación de huecos circulares o depresiones con bordes agudos y verticales en la parte superior, forman daños estructurales que interrumpen la continuidad de las carreteras, su presencia es un signo de mantenimiento inadecuado.

En algunos baches dependiendo el tamaño si es pequeña o grande puede ocasionar en cualquier pendiente o desviación en la superficie de una carretera pavimentada, en estos baches se forman el agua subterránea cuando se filtra por debajo del pavimento asfáltico cuando el agua se congela debajo para extender y se hará que el pavimento se doble y posteriormente se agriete. Luego cuando el hielo se derrite está terminado, apareciendo huecos debajo de la superficie pavimentada. En este pavimento se puede debilitar con más medida y se repite en el proceso. Los baches pueden se forman por capas de mala calidad, con base de baja de calidad y espesor insuficiente, fatiga por tráfico vehicular pesado,

humedecimiento excesivo mediante lluvias en la carretera y/o drenaje insuficiente y desgranamiento superficial.

Los baches son cavidades de forma y tamaño irregular puede disminuir la firmeza de la superficie asfáltica originando hundimientos, que es progresiva si no actuamos a tiempo, en las Figuras 19 y 20 podemos visualizar ejemplos de baches. Posibles causas de los baches son la evolución de los daños que no reparamos o una defectuosa reparación de agujeros que han formado para la construcción de obras públicas. La severidad de baja esta entre 5 cm hasta 15 cm de ancho, severidad media con 5 a 15 cm o más y severidad alta con mayor de 15cm de ancho considerable.

Figura 19

Baches de la carpeta asfáltica n°01



Nota. En la figura se muestra el pavimento con baches de severidad media.

Figura 20

Baches de la carpeta asfáltica n°02



Nota. La imagen muestra la capa de rodadura con baches y con nivel de severidad alto.

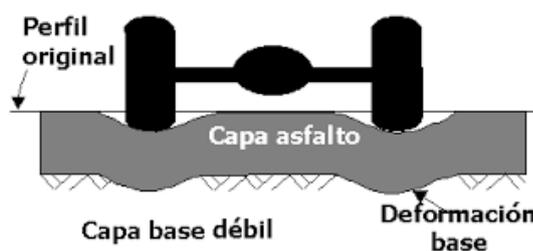
2.2.5.7 Ahuellamiento de la carpeta asfáltica

En la Figura 21 se puede apreciar los ahuellamientos que son estigmas o marcas de las ruedas de los automóviles en la capa de rodamiento por el constante roce y el movimiento lateral de los componentes de las carpetas dependiendo del tráfico vehicular.

Es una depresión vertical continua a lo largo del carril canalizado. Se entiende por ahuellamiento cuando la distancia afectada supera los 6 m. Con cargas repetidas, la deformación permanente se acumula en cualquier capa del pavimento o su base. Si el radio de influencia de la depresión es pequeño, la capa superior se deformará, muchas veces acompañada de deslizamiento y convexidad del pavimento. Si el radio de influencia es grande, la capa o base subyacente se deformará.

Figura 21

Ahuellamiento de la carpeta asfáltica



Nota: La imagen muestra el ahuellamiento de una capa de base débil y deformación de la base.

2.2.6 Evaluación de la rugosidad del pavimento asfáltico

El pavimento es la estructura que está sujeta a constantes cargas, debiéndose desarrollar un análisis periódico de manera que nos permite resolver la condición de la capa de rodadura del pavimento asfáltico, para realizar servicios de mantenimiento o reparación cumpliendo con las estipulaciones de la actividad y que se pueda generar un largo tiempo de vida útil.

El IRI es un parámetro utilizado en la superficie de la carretera para determinar la regularidad y la comodidad de conducción. La transliteración

correcta del término rugosidad es roughness, pero al definir IRI, la regularidad se acepta como una definición más apropiada.

El IRI se describe a su vez en la carretera como la magnitud del movimiento del relativo acumulado por la suspensión de un automóvil típico, fraccionado por la longitud del trayecto de dicho automóvil.

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) fue adoptado por el Banco Mundial en 1986 como un estándar para medir la regularidad de las superficies de las carreteras. Al adquirir esto, se puede correlacionar con cualquier dispositivo de medición de rugosidad, es decir, la rugosidad de la superficie de la carretera.

2.2.6.1 Serviciabilidad.

Para verificar y analizar la serviciabilidad de un pavimento asfáltico se utiliza el término designado Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI); el índice de serviciabilidad se define como la condición del pavimento requerida para proporcionar al usuario un trayecto seguro y cómodo en un momento determinado. Inicialmente, esta condición fue cuantificada por la opinión del conductor y las respuestas fueron tabuladas en una escala de 0 a 5, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Escala del índice de serviciabilidad del pavimento

Índice de Servicio	Calificación
0	Intransitable
1	Malo
2	Regular
3	Bueno
4	Muy bueno
5	Excelente

Nota. En tabla nos indica que el índice 0 califica una serviciabilidad intransitable por el contrario 5, califica como excelente.

2.2.6.2 Transitabilidad

El concepto de transitabilidad en Perú es disponibilidad para un caso de uso. Muestra que la autopista en cuestión es utilizable, es decir, no está cerrada al transporte público debido a un accidente de tráfico cortado en uno o más puntos a lo largo de la ruta como resultado de un desgaste significativo debido a fuerzas naturales como deslizamientos de tierra, bordillos, erosión del lecho de la carretera, erosión de la ribera del río, colapso de puentes, etc.; Por ejemplo, este es el tipo de problema que más afecta la vida de las personas en todo el país y se presenta principalmente en época de lluvias (Pomasonco de la Cadena, 2010).

En la Tabla 2 se visualiza los parámetros de transitabilidad que van de muy bueno en una escala de 5-4 y muy malo en una escala de 1-0.

Tabla 2

Transitabilidad mediante el IRI

PSI	Transitabilidad
5 - 4	Muy bueno
4 - 3	bueno
3 - 2	Regular
2 - 1	Malo
1 - 0	Muy malo

Nota. Obtenido de (Sachún, 2016).

2.2.6.3 Cálculo de la serviciabilidad y transitabilidad mediante el IRI

Es indispensable recopilar datos de campo para obtener un recorrido en la investigación en términos de bandas de desviación, luego realizar un cálculo de banda "D" para evaluar la distribución de frecuencia de las lecturas obtenidas y aplicar un factor de corrección correspondiente a la calibración del dispositivo. (Perera, 2002).

2.2.6.4 Rugosidad

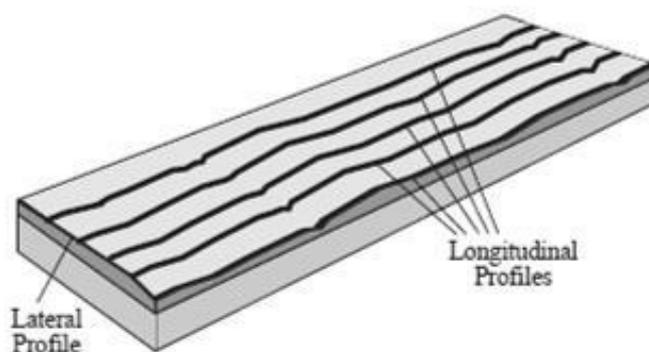
Se trata de superficies irregulares de la calzada, que inciden directamente en el desgaste de las calles y vías, así como de los ocupantes, impactando

negativamente en la calidad de conducción, seguridad y costos de operación del automóvil.

El Banco Mundial ha propuesto una medición de la rugosidad conocida como índice de rugosidad internacional (IRI), que normalmente oscila entre 0 (pavimento perfecto sin deficiencias) y 12 (pavimento absolutamente cero transitable). Este parámetro dilatadamente utilizado se encarga de la medición de la rugosidad de la superficie de un pavimento como la suma absoluta de los desplazamientos longitudinales a lo largo de un segmento dividida por su longitud, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Perfil longitudinal de la vía asfáltica pavimentada



Nota. La imagen muestra el perfil longitudinal de una carretera asfaltada.

2.2.6.5 Posibles causas de la rugosidad

Con respecto a las irregularidades en las capas asfálticas de pavimentos nuevas y existentes puede ser causado por la falta de reglas de mantenimiento o por errores en la construcción de carreteras; por lo tanto, se ha tomado las acciones de control apropiadas, causando como efectos de las deficiencias.

Las principales causas probables que dio fundamento a la rugosidad en la fase de construcción de la carretera:

- a) Variaciones en la capa de rodamiento correspondiente con la que crea una nueva capa superficial: a través de la capa de pavimento se puede crear una superficie ligera, una sección transversal más uniforme de la capa de asfalto puede compactar partículas más finas, creando un

resultado de superficie final diferente y se puede mecanizar con una nivelación previa capa.

- b) En la carretera asfáltica no es necesario inspeccionar la zona de la vía con la regla después de la compactación de la carretera principal, realizando modificaciones mientras el pavimento aún está caliente.
- c) Detenga y reinicie regularmente la pavimentadora: Las restricciones capas no puedan ignorarse y deben verificarse con instrucciones antes y después de la compactación.
- d) Juntas estructurales deficientes: se debe analizar las conexiones con una regla inmediatamente después de la ejecución de la vía y, si es necesario, modificarlas mientras el material aún esté caliente.
- e) Raspado exagerado de material distribuido: La regla de la pavimentadora debe colocarse de tal manera que no sea necesario rayarla. Si se utiliza este último, debe asegurarse de que sea adecuado y no excesivo.
- f) Rodillado inadecuado o soltar que el rodillo se paralice sobre el pavimento cálido.
- g) La mezcla no es homogénea.
- h) Operaciones impropias de los camiones: frenos muy resistentes o el camión golpea a la pavimentadora.
- i) Funcionamiento incorrecto del carro: frenado excesivo o golpe del carro con la pavimentadora.
- j) Temperatura desigual del material: el peso frío no comprime el mismo espesor que el peso caliente, esto debe remediarse verificando la temperatura del material antes de verter el material.
- k) Regularmente ajuste a la regla de la pavimentadora.

2.2.6.6 Ventajas de un pavimento sin rugosidad

- a) El pavimento irregular siempre dura más.
- b) Mayor vida útil.
- c) Reducir siempre el consumo de combustible y los costes de mantenimiento del vehículo.
- d) Reducir el costo del mantenimiento de la superficie asfáltica.
- e) Reducen las cargas dinámicas sobre la superficie asfáltica.

2.2.6.7 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos

La investigación ha demostrado que hay muchos factores que afectan la suavidad de la superficie de la carretera, los más importantes de los cuales son:

- a) Edad del pavimento.
- b) Niveles de circulación de vehículos.
- c) El espesor del pavimento.
- d) Número estructural.
- e) Propiedades del hormigón asfáltico utilizado: vacíos de aire, gravedad específica y contenido de asfalto.
- f) Características ambientales: temperatura media, precipitación (días de lluvia), tasa de congelación, días con temperaturas superiores a 32°C.
- g) Propiedades granulares básicas como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa a través de la malla 200.
- h) Propiedades del sustrato como índice de rendimiento, contenido de humedad, contenido de limo y arcilla y porcentaje de material que pasa a través de la malla 200.
- i) Escala y severidad del daño al pavimento.

2.2.6.8 Importancia de la rugosidad en la capa de rodamiento

La importancia de la rugosidad en la superficie asfáltica para el tráfico de automóviles tiene sus principales importancias de los siguientes aspectos que se puede describir como:

2.2.6.8.1 Seguridad y comodidad. En el caso de superficies irregulares, podemos proporcionar condiciones seguras y cómodas para garantizar una buena protección para los conductores en la carretera.

2.2.6.8.2 Costos de operación vehicular. Esto se debe a los costos de operación de los vehículos, dependiendo del tamaño irregular de la superficie de la carretera, la velocidad de viaje que se puede observar en las áreas impactadas

negativamente, se puede detectar el desgaste mayor de neumáticos y mecánicos. componentes del vehículo y aumentar el consumo de combustible.

2.2.6.8.3 Efectos dinámicos. Se puede ocasionar los efectos dinámicos mediante el desarrollo de las vías que ha realizado por las irregularidades que puede detectar no solamente en los vehículos, sino también en las correcciones de esfuerzos y deformaciones en las estructuras del pavimento, para después aumentar los costos en las funciones de la conservación (mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción).

2.2.6.8.4 Acciones de conservación de las vías. Las acciones de conservación de la rugosidad principalmente en las vías, es un proceso de calidad en la construcción de carreteras. La calzada está construido con buena calidad con modelos superficiales que podemos verificar en el área de mayor deformación; Sin embargo, considerando que el proceso de imperfecciones depende de los otros factores de carga que realizamos en el movimiento, el clima, el cambio de los materiales de construcción, el estado o el grado de sustrato, el cambio de la topografía, la presencia de estructuras en el camino, incluidos los aspectos que podemos dar la importancia de la regularidad superficial de la calzada desde el inicio del periodo de servicio usando para las acciones de conservación de mantenimiento, rehabilitación o la reconstrucción necesaria para la vía del pavimento.

2.2.6.9 Conservación de la rugosidad superficial de rodadura

2.2.6.9.1 Conservación Vial. Es un proceso que comprende las obras regulares o permanentes y las obras de instalación en los tramos que componen la red vial. El mantenimiento vial requiere una asignación presupuestaria anual, personal capacitado y el uso de máquinas y herramientas; los gastos se realizan en el presupuesto anual de la agencia de gestión vial competente. El presupuesto operativo y el programa deben prepararse con anticipación para su implementación en el año siguiente a la aprobación; en todo caso, cada año, o cuando una regla presupuestaria prevea la posibilidad de utilizar un presupuesto plurianual, dicho presupuesto se preparará de conformidad con la regla presupuestaria aplicable.

2.2.6.9.2 Conservación rutinaria. Es el conjunto de las actividades que se culminan permanentemente y se conforma las acciones que se desarrollan diariamente en diferentes tramos de cada vía. Tiene como motivo principal de preservar a todos los elementos viales con la mínima capacidad de alteraciones o cualquier daño para conservar las condiciones necesarias para la construcción o rehabilitación de la carretera. Debemos tener en cuenta para prevenir incluyendo las actividades de limpieza de la calzada y las obras de drenaje, cortes de la vegetación de la zona del derecho de vía y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras.

2.2.6.9.3 Conservación periódica. Es un conjunto de medidas tomadas a lo largo de períodos de tiempo, generalmente superiores a un año, con el objetivo de evitar la aparición o agravamiento de defectos graves, preservando las características externas y manteniendo la integridad estructural de la vía. y corrigió algunos errores de puntuación graves. Un ejemplo de tal mantenimiento es la reconstrucción de una base existente y la reparación de varios elementos físicos del camino. El sistema de mantenimiento vial subcontratado también incluye activismo ambiental y social, asistencia en carretera de pequeña emergencia, así como monitoreo y mantenimiento vial.

2.2.6.10 Índice de rugosidad internacional (IRI)

La norma E-867 de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) define la rugosidad como la desviación de la superficie de una carretera con respecto a un plano que afecta la dinámica del vehículo, la calidad de conducción, las cargas dinámicas y la velocidad de funcionamiento. La rugosidad también se puede definir como la curvatura de la superficie de la carretera que provoca una aceleración vertical no deseada que resulta incómoda para conducir (Perera, 2002).

IRI es una escala de rugosidad de la superficie de la carretera recomendada por el Banco Mundial como una estadística de rugosidad estándar que mide el efecto de la sección longitudinal de la carretera en la calidad de rodadura, expresada en metros por kilómetros. (Sayers, M. y Karamihas, S., 1998).

2.2.6.11 Características y escalas del IRI

En la Figura 23 se aprecia como el IRI tiene unidades básicas de medida: mm/m, m/km o in/mi, que varía entre 0 a 20 m/km o de 0 a 126 in/mi (0 m/km de rugosidad si la vía es homogéneamente plana y 20 m/km de rugosidad si la carretera es intransitable).

Figura 23

Escala estándar empleada por el Banco Mundial



Nota. En la figura se muestra la escala estándar para clasificar las calzadas mediante el IRI.

(Sayers, M. y Karamihis, S., 1998), introdujo la cuantificación IRI estándar para diferentes tramos de carretera; donde el rango de la escala IRI varía según el tipo de carretera:

- IRI de 0 a 12 : Vías pavimentadas
- IRI de 0 a 20 : Vías no pavimentadas

Donde 0 m/km es una vía completamente plana y 12 o 20 es una calzada intransitable.

Del mismo modo, podemos tomar diferentes muestras de tipos de pavimento con diferente rugosidad, que fueron recopiladas en 1998 por el Departamento de Transporte de la Universidad de Michigan en una tabla que muestra las velocidades máximas posibles que se pueden calcular en función de

la rugosidad de la carretera. Esta tabla es importante porque se basa en campos de rugosidad para obtener diferentes diseños según la velocidad permitida de construcción de carreteras.

Así, por ejemplo, en el caso de la normativa peruana que exige una velocidad máxima IRI de 2,5 m/km para las carreteras, se debe respetar una velocidad máxima de 80 - 100 km/h al diseñarlas de esta forma.

En la Tabla 3 se podemos visualizar los valores IRI usados internacionalmente y en la Tabla 4 un cuadro normativo para el requerimiento del IRI por Tipo de superficie.

Tabla 3

Valores del IRI usados internacionalmente

País	Estado Del Pavimento		
	Bueno	Regular	Malo
EE.UU.	< 2,4	2,4 – 4,7	> 4,7
Chile	0 – 3,0	3,0 – 4,0	> 4,0
Honduras	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0
Uruguay	< 3,9	4,0 – 4,6	> 4,6
Perú	< 2,5	2,5 – 4,5	> 4,5

Nota. Obtenido de (Alvarenga, 2002).

Tabla 4

Cuadro normativo para el nivel del IRI tipos de superficie

Normativa u Organización	Requerimiento de IRI por Tipo de superficie	
	Descripción	Superficie
ASTM E 867	IRI obtenido en sub lotes de 0,1 km	Presenta dos escalas de valores IRI con descripción verbal, una para carreteras pavimentadas y otra para no pavimentadas.
Banco Mundial	Promedio global de toda la medición	Presenta una escala de rugosidad para distintos tipos de pavimentos.

Nota. En la tabla se muestra las descripciones y la superficie de la organización de requerimiento IRI y el Banco Mundial.

2.2.7 Teléfonos Inteligentes

Un teléfono inteligente es un dispositivo móvil que combina las funciones de un teléfono celular y un ordenador de bolsillo. Estos dispositivos se ejecutan en plataformas informáticas móviles con mayor capacidad, pueden realizar tareas al mismo tiempo que las computadoras y tienen una mayor conectividad que los teléfonos normales. Por esta razón, estos teléfonos se denominan teléfonos inteligentes y se utilizan más con fines comerciales para distinguirlos de los teléfonos móviles normales.

La aplicación de medición de rugosidad para teléfonos inteligentes es una alternativa confiable con excelentes ventajas técnicas y económicas sobre los métodos comúnmente utilizados en la carretera hoy en día. Técnicamente, la clase de precisión del IRI se calcula en el nivel 2 del Banco Mundial, exactamente como los instrumentos más utilizados en la actualidad, como los perfiladores láser. Desde un punto de vista económico, el costo por análisis de rugosidad se puede reducir en más del 80%, sin mencionar los beneficios adicionales de no tener mantenimiento y una muy baja depreciación a lo largo del tiempo. La aplicación móvil transfiere los resultados a una plataforma virtual donde cuenta con herramientas de automatización que simplifican el trabajo de oficina, aseguran una alta eficiencia, permiten el análisis de más kilómetros a menor costo, generando un importante valor agregado.

2.2.8 Métodos que determinen o comparen con el aplicativo TotalPave

2.2.8.1 Rugosímetro de MERLIN

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, diseñado específicamente para uso en países en vías de desarrollo.

Fue incluido en el Perú por iniciativa personal del autor en 1993, existiendo en la fecha (junio 1999) existen más de 15 unidades pertenecientes a diferentes

empresas constructoras y consultoras. Este equipo fue diseñado específicamente para medir la rugosidad de un pavimento, su versatilidad y facilidad de transporte hace del Rugosímetro una herramienta fácil de operar.

El Rugosímetro de Merlín se diseñó como la variación del perfilómetro estático en Banco Mundial lo que la convierte en un método clase 1 para obtener la rugosidad de un pavimento.

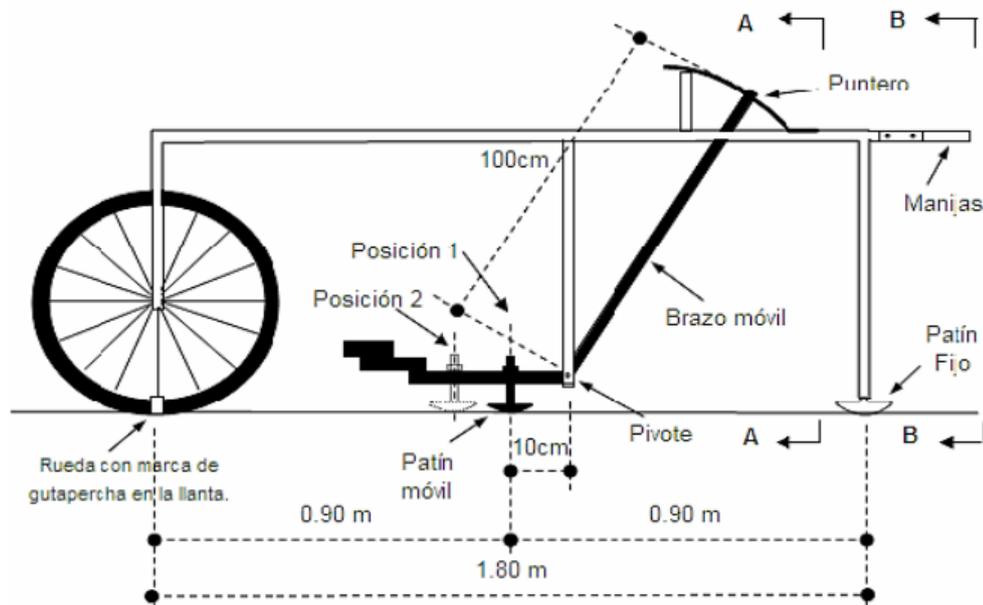
La relación entre los valores obtenidos con el instrumento Merlín y la escala IRI presenta el coeficiente más cercano a la unidad ($R^2=0,98$). Esta herramienta es muy precisa y difícilmente superada por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes lo utilizan con el propósito de calibración para los rugosímetros de tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.).

El equipo Merlín posee un diseño simple como se muestra en las Figuras 24 y 25, consta de un marco horizontal y vertical, también tiene un brazo móvil el cual usa de pivote el patín móvil.

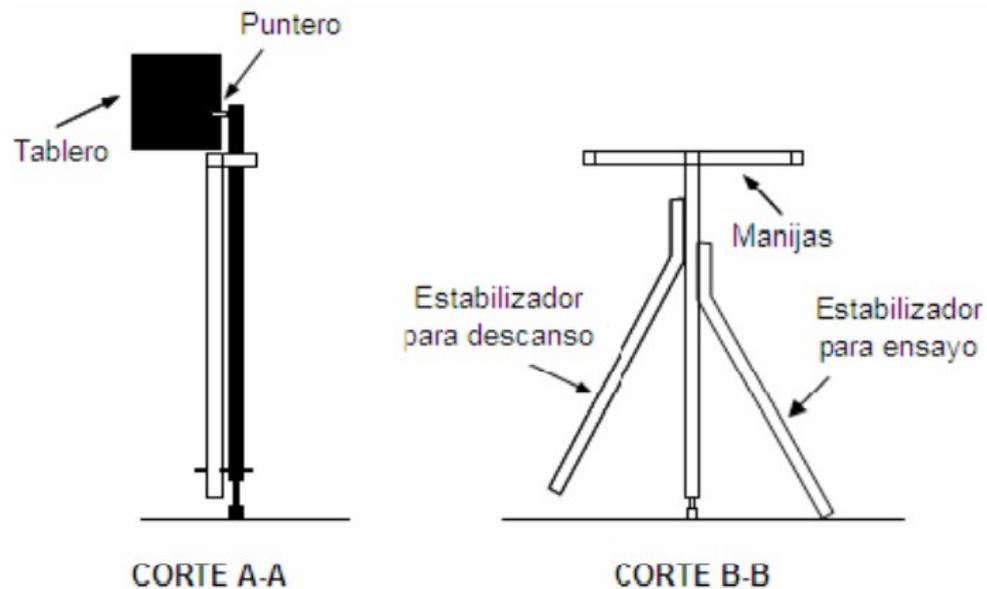
El modo de operación es sencillo puesto que se desplaza con ayuda de la rueda delantera y por la parte posterior cuenta con dos soportes inclinados, a derecha e izquierda, que aseguran la fijación en el suelo. (Del Aguila, P., 1999).

Figura 24

Esquema del instrumento MERLIN



Nota. Obtenido de (Del Aguila, P., 1999).

Figura 25*Esquema del instrumento MERLIN*

Nota. Obtenido de (Del Aguila, P., 1999).

Para la realización de los ensayos se requieren dos colaboradores que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y hace las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de aproximadamente 400 m de distancia, sobre un determinado carril de una vía. Las medidas se toman siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para calcular el valor de rugosidad se deben realizar 200 observaciones de las "irregularidades que presenta el pavimento" (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles es detectada por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. El monitoreo debe realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2 m de distancia; en la práctica esto se soluciona tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada prueba se realiza después de una revolución de la rueda.

En cada nota, la herramienta debe descansar sobre el pavimento sostenida por tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, el cual se registrará en el formato de campo. El formato consta de una

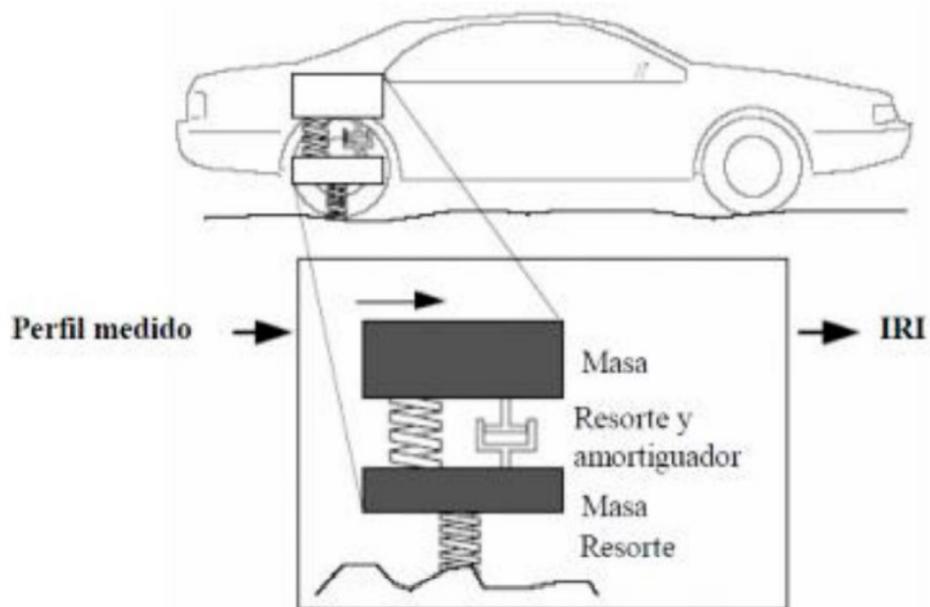
cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; comenzando por el casillero (1,1), los datos se ingresan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba comienza dejando el equipo al inicio del tramo de prueba, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, efectuando así la lectura que es anotada por el auxiliar. En el siguiente paso, el operador toma la herramienta por las manijas, la levanta y la mueve a una distancia constante seleccionada para usarse entre una prueba y otra (una vuelta de la rueda). En la nueva posición se repite el proceso descrito y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Esto facilita el trabajo del operador quién, una vez tomada la lectura, levante el equipo y verifique que el neumático gire en una revolución haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

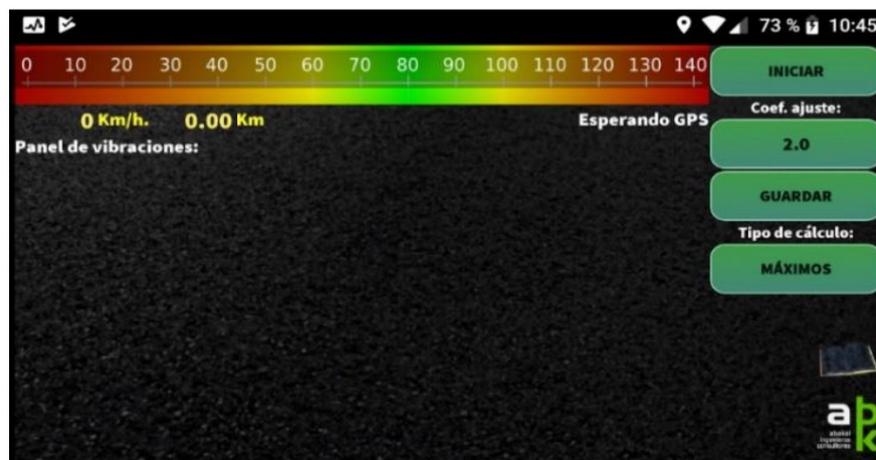
2.2.8.2 Apicativo ABAKAL utilizando teléfonos inteligentes

Realiza el cálculo del IRI usando el GPS y el sensor de vibración del teléfono inteligente (Figura 27), realiza graficas e informe del valor IRI cada 100 m., a la vez se puede calibrar. Por otro lado, el modelo que utiliza es el modelo de cuarto de carro, tal como se muestra en la Figura 26.

El modelo representa la rueda posterior de un automóvil, en masa, el resorte y los amortiguadores con coeficientes estándar, representa la masa del auto, la masa de la rueda, el amortiguador y la elasticidad del neumático. El modelo mide movimientos verticales debido a las irregularidades en el perfil longitudinal.

Figura 26*Modelo de cuarto de carro*

Nota. Diagrama esquemático del sistema amortiguador. (Sayers, M. & Karamidas, S., 1988).

Figura 27*Aplicativo ABAKAL*

Nota. La pantalla principal de la app ABAKAL IRI (ABAKAL, 2020).

La velocidad debe ser constante y centrada en 80 km/h, por lo que el velocímetro indica la circunferencia de esta velocidad en color verde.

El teléfono inteligente debe ser colocado de preferencia en el parabrisas (Figura 28), para garantizar una recopilación de datos precisa, pero solo

intentándolo se puede conocer la ubicación ideal. Para el coeficiente de ajuste y el sistema de cálculo se deben obtener los datos IRI previos, obtenidos por algún método convencional.

Figura 28

Ubicación del teléfono inteligente en el parabrisas del automóvil

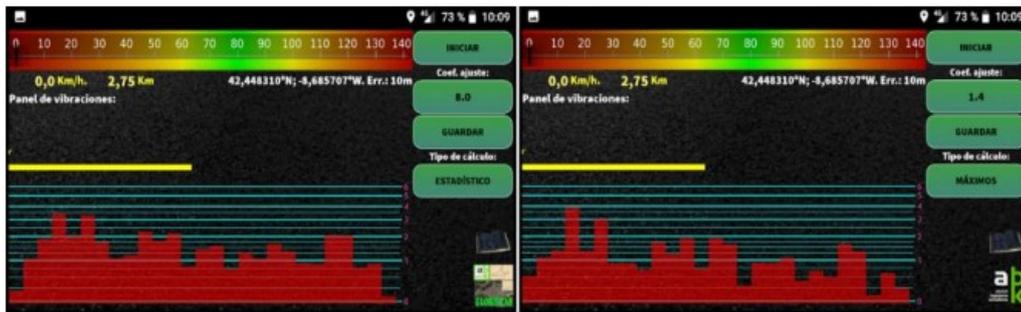


Nota. Obtenido de (ABAKAL, 2020).

Se identificaron dos métodos diferentes de cálculo, estadístico y máximo. El método estadístico se basa en la ponderación relativa de primer y segundo orden de las vibraciones del vehículo al equipo. El factor de ajuste aumenta (o disminuye) dicha ponderación.

El método por máximos especifica los valores límite, por los cuales se pondera la prueba. Bajar el límite es equivalente a aumentar la prueba. Por lo tanto, el factor de corrección es inversamente proporcional a la ponderación de la prueba.

El método estadístico se deriva de las vibraciones transmitidas desde el vehículo al dispositivo móvil, a su vez, estos derivan de la ponderación relativa del primer y segundo orden. El factor de ajuste predeterminado aumenta (o disminuye) dicha ponderación (Figura 29).

Figura 29*Aplicación del ensayo*

Nota. Obtenido de (ABAKAL, 2020).

2.2.8.3 Aplicativo ROADROID utilizando teléfonos inteligentes

El sistema Roadroid analiza la carretera 100 veces por segundo (en 90 km/h una señal cada 25 cm). Con estos datos calcula el IRI y guarda el estado de la carretera con las coordenadas GPS correspondientes. Los datos se guardan en el teléfono y luego se transfieren a la nube.

La aplicación móvil almacena una gran cantidad de valores de datos por segundo en un archivo CSV, pero para una visión general más amplia, es más apropiado usar conexiones con datos agregados y puntos promedio muestreados. Dependiendo de la base de datos de carreteras, habrá muchas oportunidades para mejorar los datos y agregar información sobre atributos como el ancho de la carretera, el volumen de tráfico, etc. En Suecia utilizaron la base de datos de autopistas nacionales suecas (NVDB).

En todo el mundo, se utiliza principalmente la geometría de Open Street Map (OSM) o Google Maps y los datos del estado de las carreteras se pueden exportar en un formato de archivo de forma para otros sistemas.

Con la información obtenida ya través de uno de los sitios web (Google Maps), se puede visualizar en color la ruta analizada y su estado: verde para condiciones óptimas, amarillo para buen estado, rojo para mal o mal camino, como se aprecia en la Figura 30.

Figura 30

Visualización de la carretera analizada en Google Maps



Nota. Obtenido de (Roadroid., 2020)

La página web www.roadroid.com.pe, indica que la aplicación Roadroid liderado por su CEO el Ing. Lars Forsslöf está constantemente realizando actualizaciones del Roadroid para ofrecer a los usuarios un aplicativo cada vez más dinámica, fácil y económica.

El Ing. Lars Forsslöf publica constantemente documentos de investigación y evaluaciones por medio de sus redes sociales LinkedIn www.linkedin.com o su misma página web www.roadroid.com.pe.

Las pruebas sobre el IRI calculado (cIRI), confirman que ha sido correctamente calibrado, y este dato debe obtenerse a velocidades entre 60 y 80 km/h. El modelo del cuarto de carro junto con los dos pesos (el amortiguado y el no amortiguado) y los movimientos del vehículo se simulan como datos de entrada.

De esta forma se estima el comportamiento que va a tener el marco y el cuerpo del vehículo son los datos que se obtendrán a través del acelerómetro, la estimación de la calibración. Lo cual el usuario hará sin ningún inconveniente.

Para la medición en cIRI se deben considerar todas las variables obtenidas y configuradas por la aplicación del Roadroid, y es importante detallarlas previamente en el software. Para la medir y determinar la longitud de los

segmentos entre 20 y 200m, se calcula una simulación de peso oscilatorio para encontrar el valor de rugosidad promedio para cada segmento.

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

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

Según el (Roadroid., 2020) resulta que para el control de las mediciones del cIRI, se realizaron varias operaciones de muestreo en diferentes países, donde se concluyó a la siguiente tabla para la configuración del software antes al muestreo (Tabla 5).

Tabla 5

Medición del cIRI

Tipo de vía	Asfalto	Grava	Tierra
Velocidad (km/h)	80	60	40
Sensibilidad cIRI	1,6	2,2	2,8
Longitud tramo cIRI (m.)	40	100	200

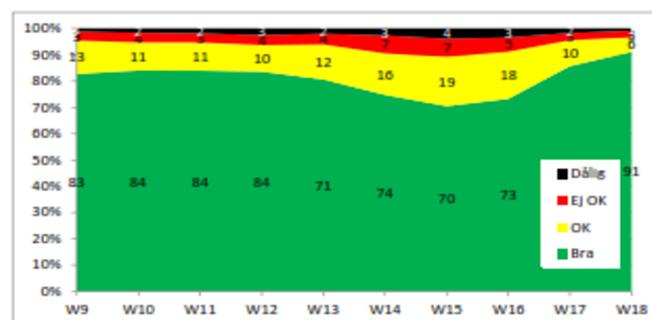
Nota. Obtenido de (Roadroid., 2020).

El IRI estimado es una variante del cálculo del IRI propuesto por el Banco Mundial, porque utiliza correlaciones lineales con instrumentos de medición de alta precisión. Además, el eIRI pertenece a la clase 3 del método exacto propuesto por (Sayers, M. y Karamihas, S., 1998). El análisis se basa en medir tramos de pavimento de 20 metros con un perfilómetro láser y el Roadroid en diferentes tramos del pavimento. Durante la comparación, se generó un factor de correlación para estimar el IRI. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0,5 lo que significa que se correlaciona moderadamente. Sin embargo, el análisis tiene algunas limitaciones para las superficies de la carretera en mal estado y automóviles pequeños, ya que son más sensibles que los automóviles normales. Varias

instituciones, como el Banco Mundial, UNOPS, SpeaAutostrade y varias universidades, aún están llevando a cabo investigaciones para encontrar una solución a las restricciones. La universidad de Auckland encontró una correlación del 81% entre los datos obtenidos por la aplicación Roadroid y un perfilómetro de clase 1. ROADROID diferencia las rutas analizadas por IRI (calculadas o estimadas) en cuatro clases y las representa en color (verde, amarillo, rojo y negro). El objetivo es presentar los datos de forma global y escalable. El Índice ROADROID muestra el porcentaje de cada clase de pavimento gracias a la base de datos creada durante el análisis de carreteras. Por ejemplo, para la parte de la ruta que se está probando, el 94,6% es bueno (color verde), 3,3% de satisfactorio (color amarillo), 1,5% de no satisfactorio (color rojo) y 0,6% de pobre (color negro), tal como se observa en la Figura 31. La ventaja de este índice es que agrega datos de múltiples mediciones a lo largo del tiempo; además, los informes se generan automáticamente, lo que facilita la comparación de los resultados obtenidos de la calidad de la pavimentación para diferentes longitudes de carretera.

Figura 31

Pavimento de asfalto



Nota. Obtenido de (Forsslöf, L.; Jones, H., 2015).

La siguiente Tabla 6 utiliza los datos obtenidos para desarrollar los resultados a lo largo del tiempo.

Para realizar un seguimiento continuo de la vía a lo largo del tiempo, también se necesita un método para generar informes. Los datos pueden ser recopilados por oficiales o guardias de tránsito que realizan controles visuales de 1-3 veces por semana, o por operadores como los distribuidores de periódicos. RI es adecuado para informar datos sobre el estado de las carreteras.

Tabla 6*Estado de la carretera según ROADROID*

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

Nota. (Roadroid, 2014).

2.2.9 *Aplicativo TotalPave en teléfonos inteligentes*

Es una aplicación que está encargada de registrar información bruta de aceleración, GPS y el magnetómetro de cualquier teléfono inteligente que posee el sistema operativo Android mientras conduce, cuando se carga el registro, los datos se envían de forma inalámbrica al espacio de la organización en el servidor basado en la nube de TotalPave, donde los datos sin procesar, se usan para efectuar el valor IRI para las secciones o sectores objetivo en la vía.

El TotalPave es parte de la empresa canadiense, se sitúa en New Brunswick en la misma que tiene como objetivo el desarrollo de las aplicaciones para utilizar en la ingeniería de pavimentos y la optimización de los recursos a muy bajo costo.

En la Figura 32 se puede visualizar el logo principal de la aplicación TotalPave IRI.

Figura 32*Logo TotalPave IRI**Nota.* TotalPave Inc.

2.2.9.1 Descarga e inicio de sesión en TotalPave IRI

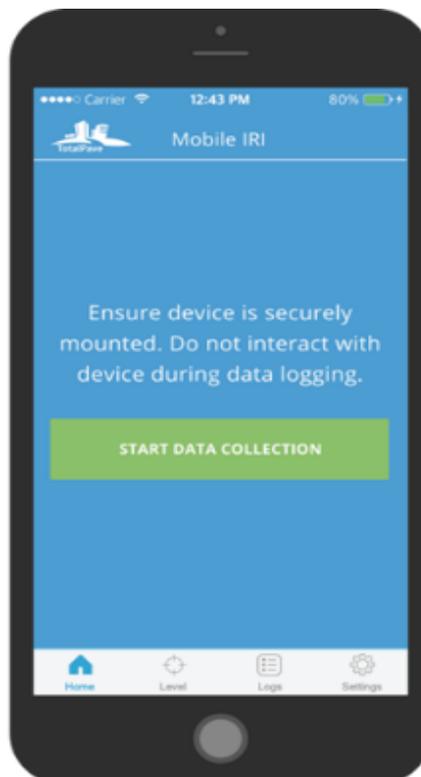
Para descargar TotalPave IRI:

- a) Encuentre la "App Store" de Apple o la "Play Store" de Google en su dispositivo.
- b) Buscar "TotalPave IRI" debería funcionar.
- c) Haga clic en "Obtener" o "Instalar".
- d) Para iniciar sesión por primera vez:
- e) Haga clic en la aplicación desde el administrador de aplicaciones de su teléfono.
- f) Ingrese su dirección de correo electrónico de inicio de sesión y contraseña.
- g) Tenga en cuenta que, si no tiene una dirección de correo electrónico y una contraseña de inicio de sesión, comuníquese con el administrador del sistema.

En la Figura 33 se aprecia la pantalla inicio de recopilación de datos para el inicio de sesión.

Figura 33

Inicio de recopilación de datos



Nota. En la figura se muestra, la aplicación TotalPave IRI principal para iniciar la sesión y registrar los datos.

2.2.9.2 Modo lento

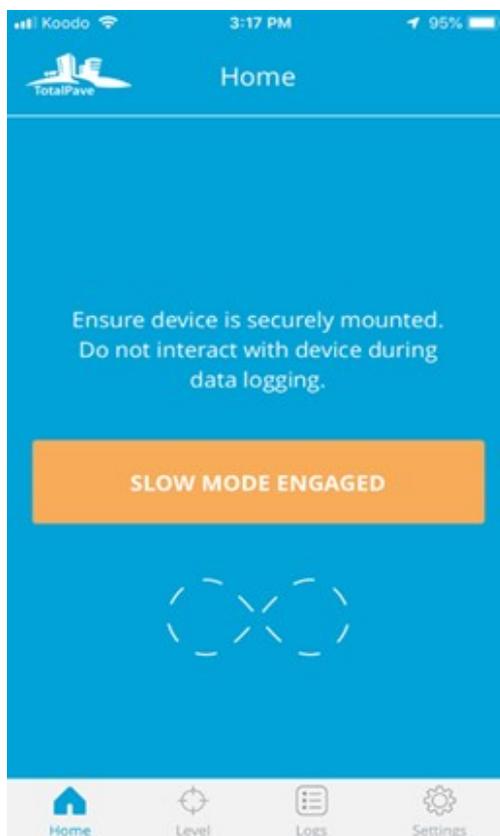
La velocidad operativa para la recopilación de datos IRI es de 20 km/h a 90 km/h. Si el sistema detecta que viaja por debajo del umbral de velocidad durante la grabación, activará automáticamente el "Modo lento", como se muestra en la Figura 34.

Los tipos de automóviles estipulados en la configuración son:

- a) Automóvil pequeño.
- b) Automóvil normal o común.
- c) Furgoneta y Camioneta de doble tracción o 4x4.

Figura 34

Modo lento de GPS



Nota. En la figura se muestra, que la aplicación está configurado en Modo lento.

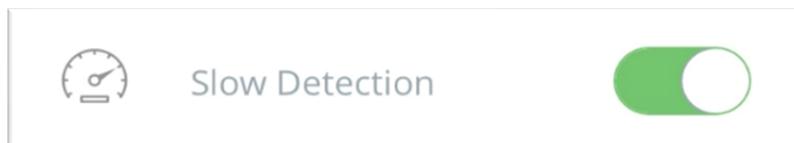
Todos los datos recopilados mientras el "Modo lento" está activado se filtrarán del cálculo del IRI, lo que garantiza que solo se utilicen los datos recopilados mientras el vehículo está por encima del umbral de velocidad en el cálculo del IRI. Si se cubre demasiado de la sección mientras el modo lento está activado, el sistema no calculará un valor IRI.

El modo lento se puede activar y desactivar dependiendo de su aplicación. Para hacerlo desde la pantalla principal de la app:

- Haga clic en "Configuración".
- Haga clic en el modo lento para activar o desactivar.

Figura 35

Detección lenta

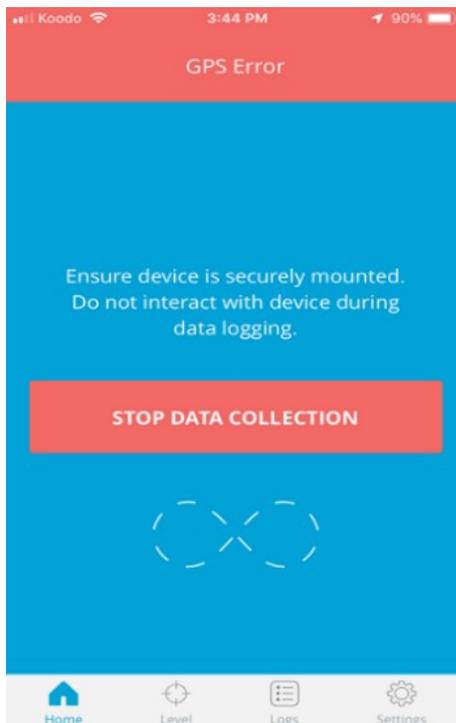


Nota. La figura muestra, que la aplicación permite detectar la Activación "Slow Detection".

Tenga en cuenta que siempre es mejor mantener la Detección lenta en la mayoría de los casos para garantizar datos precisos (Figura 35).

2.2.9.3 Problemas de GPS

Si hay problemas generales con la capacidad de su dispositivo para interactuar con los satélites GPS mientras graba datos, verá el siguiente anuncio (Figura 36):

Figura 36*Detener colección de datos*

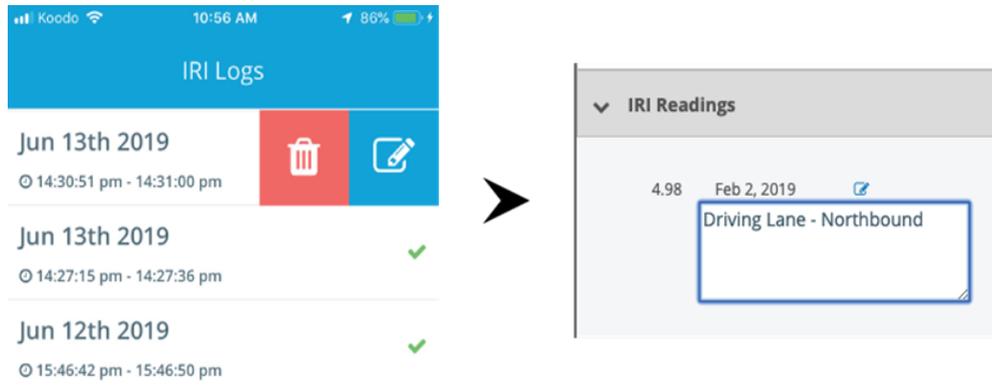
Nota. Se muestra, que el aplicativo guarda la mayor cantidad de datos.

Es normal ver esto periódicamente mientras se recopilan datos; sin embargo, si el error persiste, se recomienda que detenga la recopilación de datos. Evalúe si su dispositivo tiene un problema de hardware que está causando que su sensor GPS falle.

2.2.9.4 Notas IRI

Las notas se pueden agregar a cualquier registro IRI desde la aplicación IRI antes de cargarlas. Para agregar una nota, siga estos pasos desde la página Registros (Figura 37):

- a) Deslice el dedo de derecha a izquierda en el registro antes de cargar.
- b) Haga clic en el icono del lápiz.
- c) Escriba una nota que le gustaría tener asociada con el registro.

Figura 37*Registros IRI*

Nota. En la figura se muestra “IRI Logs” para anotar cada registro mostrado en el panel de información.

Cuando cargue el registro, cualquier valor de IRI producido a partir de ese registro tendrá su nota asociada en la pestaña Lecturas de IRI en el panel de información de la derecha del Portal web. Para ver su nota desde el Portal web, siga estos pasos desde el tablero del mapa principal:

- a) Revelar el panel de información de la derecha si está oculto
- b) Haga clic en "Lecturas IRI"
- c) Haga clic en el icono de lápiz junto al valor de IRI para el que le gustaría ver la nota.

Tenga en cuenta que puede agregar/editar notas para los valores de IRI desde el portal web en el panel de información de la derecha haciendo clic en el ícono de lápiz y luego agregando/editando el texto que aparece en el cuadro de texto.

Para el buen funcionamiento del TotalPave IRI se recomiendan soportes para parabrisas con brazos de montaje resistentes, como se observa en la Figura 38. Los resultados obtenidos con otros estilos de soporte para teléfono, incluidos el tablero, la ventilación o métodos alternativos, como colocar el teléfono en un portavasos o en el asiento del pasajero, no se prueban y no se pueden garantizar.

Figura 38

Dispositivo de parabrisas para los vehículos



Nota. En la figura se muestra la colocación del dispositivo en el medio del parabrisas para realizar el ensayo con la aplicación TotalPave.

2.2.9.5 Descripción general de la prueba TotalPave

Hay cuatro pasos para completar una encuesta IRI:

2.2.9.5.1 Monte el teléfono. Asegúrese de que el teléfono esté montado de forma muy segura en el parabrisas del vehículo (Figura 39).

Figura 39

Soporte para el Smartphone en posición nivelada



Nota. En la figura podemos observar el apoyo y colocación en el parabrisas del vehículo en forma segura y directa.

El montaje adecuado es fundamental. Si el soporte utilizado no puede sujetar el dispositivo de forma segura, los resultados podrían verse afectados (Figura 40).

Figura 40

El brazo de montaje de plástico resistente



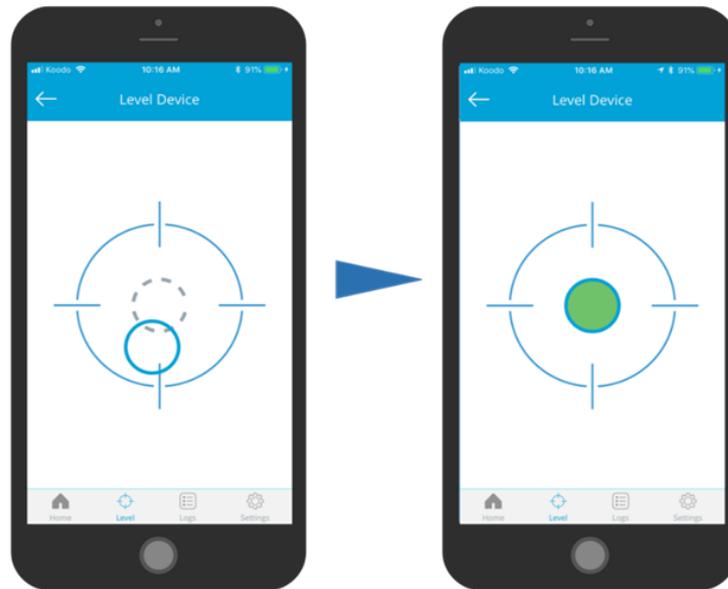
Nota. En la figura, podemos observar de brazos de montaje para la colocación de teléfono inteligente.

2.2.9.5.2 Nivel del dispositivo verticalmente. Use la herramienta "Nivel" para asegurarse de que el dispositivo esté montado verticalmente y realice ajustes finos.

Una vez que el teléfono esté apoyado en el soporte del parabrisas, ajústelo para asegurarse de que el dispositivo esté perfectamente nivelado en orientación vertical (Figura 41), para hacerlo desde la página principal de la app:

- Haga clic en "Nivel".
- Adapte el teléfono hasta que la burbuja viaje al centro de la pantalla y se vuelva verde.
- Si la configuración está completa, presione "Inicio" para comenzar a medir.

Figura 41
Dispositivo de nivel



Nota. En la figura se muestra la nivelación del punto medio del aplicativo para generar datos precisos.

2.2.9.5.3 Secciones de accionamiento. La primera vez que conduzca un segmento, se mapeará una línea en su portal web de TotalPave según el lugar al que haya conducido, como se aprecia en la Figura 42. La línea se segmentará en un intervalo de su elección determinado en el momento de la configuración de la cuenta (predeterminado 100m). Las ejecuciones posteriores en el mismo segmento asignarán los datos IRI a los segmentos existentes.

Figura 42
Recopilación de datos IRI



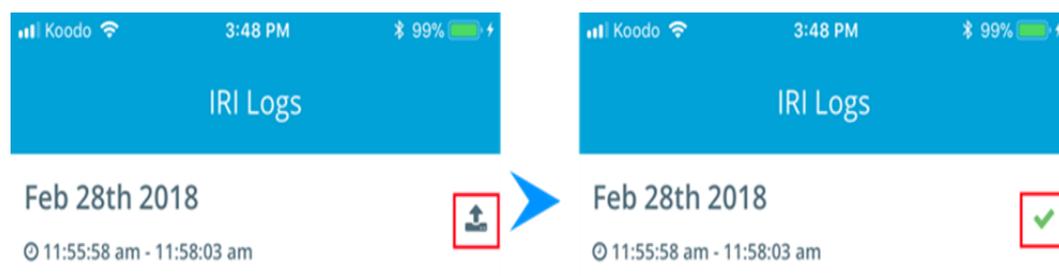
Nota. La figura se muestra, el mapa de ubicación mostrando el portal Web TotalPave indicando los niveles y resultados de cada tramo.

Tenga en cuenta que la primera vez que recopila datos en un proyecto, la línea puede demorar entre 24 y 48 horas en aparecer en la cuenta. Las ejecuciones posteriores en los segmentos existentes aparecerán en la cuenta en unos minutos.

2.2.9.5.4 Cargar registros. Después de la carga, el sistema calcula los valores de IRI y los pone a disposición en el portal web de su organización (Figura 43).

Figura 43

Registros IRI



Nota. En la figura se muestra, que el registro se cargó correctamente, mostrando una marca de verificación junto al registro.

La primera vez que inicie sesión en la aplicación, se le pedirá que permita que la aplicación acceda a su ubicación GPS, lo cual es necesario para mapear datos IRI.

2.3 Definición de términos

2.3.1 Transitabilidad

Es el nivel de servicio de la vía y todos sus soportes que la conforman asegurando y permitiendo un tráfico regular durante un determinado período de tiempo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

2.3.2 IRI

El Índice de Rugosidad Internacional, también conocido como IRI (International Roughness Index), que fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como estándar de estadísticas de rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de calidad de rodadura para la carretera. (Secretaría de Comunicaciones Y Transportes, 1998)

2.3.3 Índice de serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la capacidad de una calzada para servir a la clase de tránsito que utilizará. En teoría, esto se define como el índice de serviciabilidad inicial menos la serviciabilidad final. Un valor de 5 para la serviciabilidad inicial indica un pavimento en un estado absolutamente perfecto, que no se puede encontrar en la práctica, y un valor de 0 para una serviciabilidad final indica un pavimento totalmente demolido. (García A., 2015)

2.3.4 Evaluación funcional

Se trata de determinar la rugosidad en la carpeta de rodamiento durante el desgaste para garantizar unas condiciones de manipulación adecuadas con seguridad y comodidad. (Del Aguila, P., 1999)

2.3.5 Evaluación estructural

Incluye la determinación de la capacidad de carga del pavimento en la infraestructura vial. Esto se hace durante la construcción del pavimento para garantizar que cumpla con los requisitos especificados en el diseño o en algún momento de su vida útil. (Instituto Nacional de Vías, 2008)

2.3.6 Mantenimiento vial

Es un conjunto de actuaciones técnicas encaminadas a la protección permanente y a largo plazo del buen estado de la infraestructura vial para dar un

perfecto servicio a los usuarios que la utilizan de forma regular o semanal. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

2.3.7 *Mejoramiento vial*

Comprende la mejora o ampliación de las características técnicas y geométricas de la vía con cambios en los ejes horizontales o verticales, el ensanchamiento de curvas y la alteración de las características de la carpeta asfáltica en relación con la estructura de la calzada inicial. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Es un tipo de investigación aplicada con enfoque cuantitativo, caracterizada porque pretende aplicar conocimientos y está ligada al planteamiento en campo ya que se realiza en un medio natural, pero sin el manejo de variables.

Este tipo de investigación se relaciona de una forma en cómo se deberá dar la solución a los interrogantes expresada en la investigación, y estos métodos se preocupan por determinar las estrategias a seguir para encontrar una solución a un problema planteado, usando tácticas de investigación documental y de campo; es decir, investigar el conocimiento de trabajos previos y directos, información y datos elaborados por medios audiovisuales o electrónicos, por otro lado, recolectar datos directamente de los investigadores o de la realidad donde ocurren los hechos sin manipulación o control de la variable.

3.1.2 Diseño de la investigación

La investigación es descriptiva - exploratoria porque implica observar y describir hechos con el fin de orientar sistemática y metódicamente la adquisición de nuevos conocimientos con el único objetivo de extender el conocimiento y la exploración, encaminado a profundizar la investigación en el campo de estudio, dándole prioridad a las investigaciones futuras. La base del estudio es la recopilación de datos en campo a través de un formato de registro de análisis, cuyos resultados se presentan en forma de cálculos, tablas y gráficos.

3.2 Población y/o muestra de estudio

3.2.1 Población

La población en la investigación, es la carpeta asfáltica de todas las vías y caminos del distrito La Yarada - Los Palos, calzadas que se conectan o enlazan

con la carretera Costanera Sur y los distritos de la ciudad de Tacna, de los cuales se necesita establecer las condiciones de transitabilidad.

3.2.2 Muestra

La muestra de la investigación, es la carpeta asfáltica del recorrido de la vía en estudio del distrito La Yarada - Los Palos, que consisten en una calzada de dos carriles, uno por sentido, con una sección de 6,2 m. a 7,2 m. y una distancia de 12,80 km., por lo tanto, la vía presenta fallas, fisuras, desprendimiento y deterioro, los cuales afectan la carpeta de rodamiento.

3.3 Operacionalización de las variables

3.3.1 Identificación

Para la evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos, se tienen las variables independientes y dependientes que se determina de los parámetros de diseño. Para el desarrollo de la siguiente investigación se adoptó el siguiente diseño expresado en la ecuación:

$$Y = g(x)$$

Donde:

Y= variable dependiente.

X= variable independiente.

3.3.2 Variable independiente

X1= Evaluación funcional del pavimento asfáltico.

Indicadores:

- a) Pavimentos.
- b) Tipos de pavimentos.
- c) Evaluación de pavimentos.
- d) Evaluación funcional.

3.3.3 *Variable dependiente*

La transitabilidad vehicular se convierte en una medida del desempeño del pavimento que está vinculada al nivel del servicio. Para los valores obtenidos con IRI, la condición de la transitabilidad (muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo) se obtuvo mediante la fórmula de Williams-Paterson y D. Dujisin y A. Arroyo.

Y1 = Transitabilidad vehicular

- a) Transitabilidad.
- b) Serviciabilidad.
- c) Rugosidad.
- d) Transitabilidad en función del IRI.
- e) Aplicativo TotalPave en Smartphone.
- f) Cálculo del IRI según TotalPave.

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

3.4.1 *Técnicas*

El método utilizado es el uso de un smartphone Samsung Galaxy Note 10, mediante el aplicativo TotalPave, para calcular los valores del índice internacional de la rugosidad de la calzada, y en base a los valores calculados se pueda determinar la condición de la transitabilidad en función del IRI ponderado de la calzada en estudio, finalmente indicar el tipo de tratamiento necesario para mejorar la transitabilidad en la carretera Tacna - Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos - Tacna, 2022.

La técnica empleada para la obtención de los datos es el uso de la aplicación TotalPave, utilizando un Auto Toyota Tercel 95 como se aprecia en la Figura 44, por lo cual es un aplicativo que va ser configurado y utilizado en un smartphone Samsung Galaxy Note 10 y colocado en el parabrisas del automóvil.

Después de obtener los datos de campo usando la aplicación TotalPave, se determina el valor del IRI ponderado (Índice Internacional de Rugosidad) para luego determinar la condición de la transitabilidad de la carretera Tacna - Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos - Tacna, 2022. y dar recomendaciones de tratamiento necesario para mejorar la transitabilidad vehicular.

Figura 44

Auto Toyota Tercel 95 para la recolección de valores del IRI



Nota. En la figura se muestra el Auto Toyota Tercel 95 ubicado en el inicio del tramo en estudio, en el carril derecho de ingreso de la calzada.

3.4.2 Instrumentos

- a) Smartphone Samsung Galaxy Note 10.
- b) Soporte para el smartphone.
- c) Metodología TotalPave.
- d) Automóvil Toyota Tercel 95.
- e) Reportes del TotalPave.
- f) Cámara fotográfica.

3.5 Procesamiento y análisis de datos

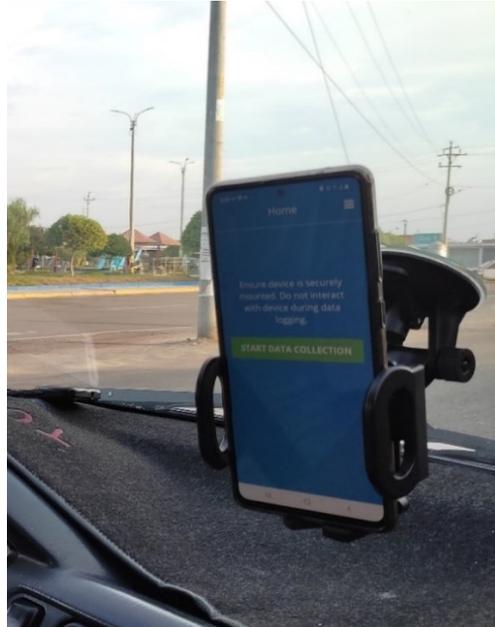
Para desarrollar la investigación comenzamos a buscar el área de investigación, que es la carretera Tacna - Los Palos, tramo: Emp.PE-1SD – Los Palos - Tacna, 2022, carretera que presenta fallas y deficiencias en la calzada.

Para un montaje adecuado del smartphone Samsung Galaxy Note 10, se estaciono el automóvil en una superficie nivelada, fijando la ventosa del soporte en la parte del medio del parabrisas del automóvil, colocando el smartphone en la base del soporte de modo que quede en una posición aproximadamente nivelada

y se ajustó la base del soporte para asegurar que el smartphone esté bien sujeto, las cuales pueden visualizarse en las Figuras 45 y 46 .

Figura 45

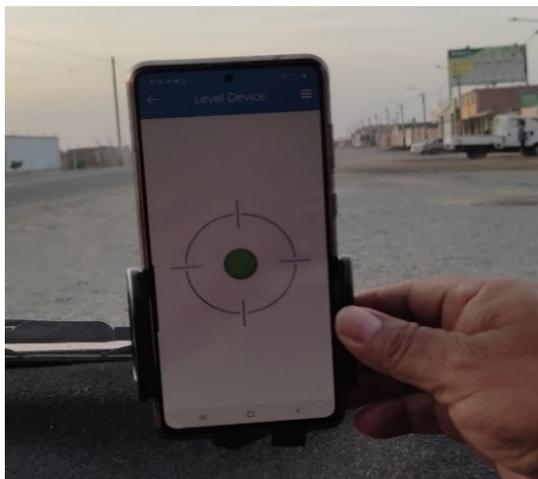
Montaje adecuado del smartphone



Nota. La figura se muestra que en el medio del parabrisas del auto se realizó el montaje del smartphone.

Figura 46

Uso de la herramienta “Nivel”



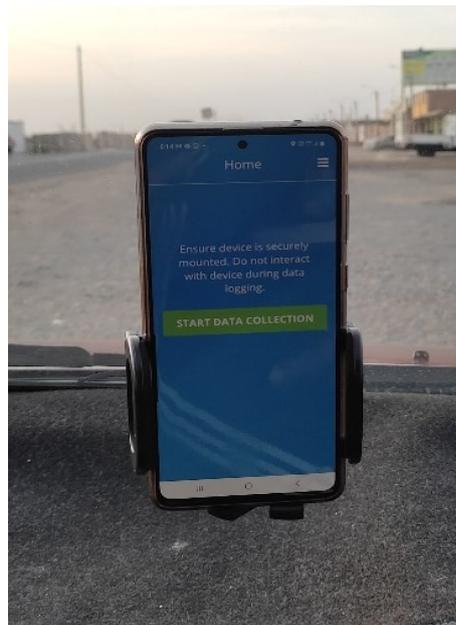
Nota. La figura muestra la nivelación del aplicativo para generar datos precisos.

En cuanto al aplicativo TotalPave se ha utilizado de la versión avanzada, por lo cual registramos en base a la aplicación para luego usar en el sitio Web, se registró de la misma forma el correo electrónico que usaremos para la elaboración de nuestro usuario dando inicio de sesión y contraseña, finalmente se configura el modelo del vehículo y el smartphone que se utilizarán para la obtención de datos.

Para recopilar valores del IRI, desde la página principal de la aplicación se presionó la opción "Iniciar recopilación de datos" al comienzo de la carretera en evaluación como se muestra en la Figura 47, manteniendo una velocidad uniforme tanto como sea posible durante la prueba entre 60 km/h y 70 km/h, requiriendo la máxima precisión, se permaneció por debajo de los 70km/h, cuando se llegó al punto final de la carretera en estudio, se presionó la opción "Detener recopilación de datos" como se muestra en la Figura 49, finalmente se Inicia sesión en el portal web TotalPave para ver los datos IRI.

Figura 47

Inicio de Recopilación de Datos

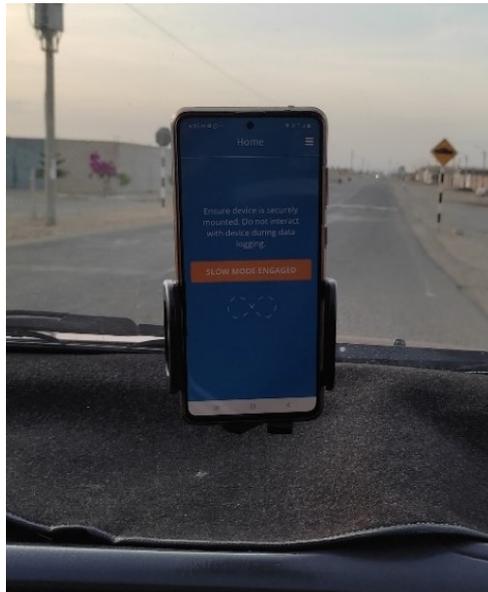


Nota. En la figura se muestra la pantalla principal del aplicativo para iniciar sesión y registrar datos.

El sistema detecto que el automóvil viajó por debajo del umbral de velocidad durante la grabación, activando automáticamente el "Modo lento", tal como se observa en la Figura 48.

Figura 48

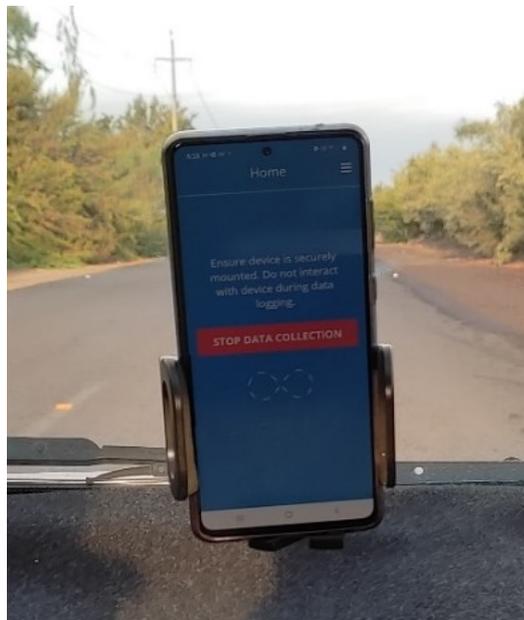
Modo Lento activado



Nota. En la figura se muestra, que la aplicación esta Modo lento activado para garantizar datos precisos.

Figura 49

Detener Recopilación de datos IRI



Nota. La figura muestra, que el aplicativo guarda la mayor cantidad de datos.

Al finalizar la recolección de datos del IRI, los registros se almacenaron automáticamente en el dispositivo hasta que elija cargarlos en su cuenta de TotalPave con una conexión de datos móviles o Wi-Fi.

Para cargar registros desde la página principal de la aplicación, se hizo clic en la opción "Registros", también se realizó clic en la opción gris de carga junto a los registros que se cargó; habiéndose cargado el registro correctamente, se mostró una marca de verificación junto al registro como se muestra en la Figura 50.

Figura 50

Almacenamiento de Registros IRI



Nota. En la figura se muestra "IRI Logs" para anotar cada registro mostrado en el panel de información.

Para ver los datos IRI, se inició sesión en el portal web TotalPave, después de cargar. Antes de cargar se agregó una nota al registro para identificar en qué carril conducía, dirección, etc.

Para obtener los valores del IRI con el aplicativo TotalPave en la carretera Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, se realiza la evaluación de ambos carriles del pavimento izquierdo y derecho, cada 100 m., de la misma forma

los cálculos ponderados o el procesamiento de los datos se elaboran con la hoja de cálculo Microsoft Excel.

Figura 51

Evaluación del IRI según desplazamiento de la zona real



Nota: La figura muestra, el mapa de ubicación que hemos realizado en base al aplicativo TotalPave, mostrando el nivel de estado de cada carretera asfaltada.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados del valor de la rugosidad usando la aplicación TotalPave

En la presente investigación se realizó la evaluación de los carriles derecho e izquierdo de la Carretera Tacna – Los Palos, el cálculo de valores IRI fueron obtenidos entre velocidades de 60 a 70 km/h, considerando 7 partes o muestras por cada carril, por lo que mostramos los datos elaborados del aplicativo TotalPave, para establecer el cálculo de la rugosidad en unidades m/km.

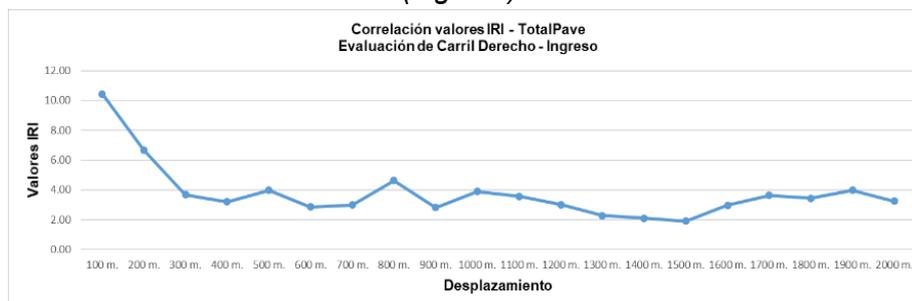
4.1.1 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 1

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 7.

Tabla 7

Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) – Muestra 1

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
100	26/02/2022	Km 0+0,00	Km 0+100,00	-18,2556	-18,2560	10,44
200	26/02/2022	Km 0+100,00	Km 0+200,00	-18,2549	-18,2556	6,68
300	26/02/2022	Km 0+200,00	Km 0+300,00	-18,2541	-18,2549	3,69
400	26/02/2022	Km 0+300,00	Km 0+400,00	-18,2532	-18,2541	3,21
500	26/02/2022	Km 0+400,00	Km 0+500,00	-18,2524	-18,2532	3,99
600	26/02/2022	Km 0+500,00	Km 0+600,00	-18,2516	-18,2524	2,86
700	26/02/2022	Km 0+600,00	Km 0+700,00	-18,2508	-18,2516	2,98
800	26/02/2022	Km 0+700,00	Km 0+800,00	-18,2500	-18,2508	4,63
900	26/02/2022	Km 0+800,00	Km 0+900,00	-18,2491	-18,2500	2,82
1000	26/02/2022	Km 0+900,00	Km 1+000,00	-18,2483	-18,2491	3,89
1100	26/02/2022	Km 1+000,00	Km 1+100,00	-18,2475	-18,2483	3,57
1200	26/02/2022	Km 1+100,00	Km 1+200,00	-18,2467	-18,2475	3,00
1300	26/02/2022	Km 1+200,00	Km 1+300,00	-18,2459	-18,2467	2,28
1400	26/02/2022	Km 1+300,00	Km 1+400,00	-18,2450	-18,2459	2,10
1500	26/02/2022	Km 1+400,00	Km 1+500,00	-18,2442	-18,2450	1,91
1600	26/02/2022	Km 1+500,00	Km 1+600,00	-18,2434	-18,2442	2,97
1700	26/02/2022	Km 1+600,00	Km 1+700,00	-18,2426	-18,2434	3,63
1800	26/02/2022	Km 1+700,00	Km 1+800,00	-18,2418	-18,2426	3,45
1900	26/02/2022	Km 1+800,00	Km 1+900,00	-18,2409	-18,2418	3,99
2000	26/02/2022	Km 1+900,00	Km 2+000,00	-18,2401	-18,2409	3,24

Figura 52**Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 1**

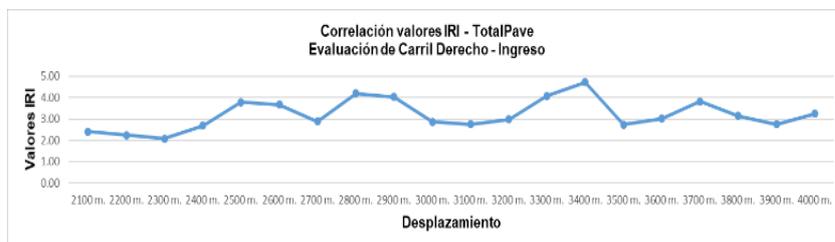
En el proceso de cálculo para la Muestra 1 con progresiva Km 0+000,00 al Km 2+000,00 se obtiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 52).

4.1.2 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 2

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 8.

Tabla 8**Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) – Muestra 2**

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
2100	26/02/2022	Km 2+000,00	Km 2+100,00	-18,2393	-18,2401	2,41
2200	26/02/2022	Km 2+100,00	Km 2+200,00	-18,2384	-18,2393	2,25
2300	26/02/2022	Km 2+200,00	Km 2+300,00	-18,2376	-18,2384	2,09
2400	26/02/2022	Km 2+300,00	Km 2+400,00	-18,2368	-18,2376	2,69
2500	26/02/2022	Km 2+400,00	Km 2+500,00	-18,2359	-18,2368	3,79
2600	26/02/2022	Km 2+500,00	Km 2+600,00	-18,2351	-18,2359	3,67
2700	26/02/2022	Km 2+600,00	Km 2+700,00	-18,2343	-18,2351	2,88
2800	26/02/2022	Km 2+700,00	Km 2+800,00	-18,2334	-18,2343	4,19
2900	26/02/2022	Km 2+800,00	Km 2+900,00	-18,2326	-18,2334	4,03
3000	26/02/2022	Km 2+900,00	Km 3+000,00	-18,2318	-18,2326	2,87
3100	26/02/2022	Km 3+000,00	Km 3+100,00	-18,2309	-18,2318	2,76
3200	26/02/2022	Km 3+100,00	Km 3+200,00	-18,2301	-18,2309	2,98
3300	26/02/2022	Km 3+200,00	Km 3+300,00	-18,2293	-18,2301	4,08
3400	26/02/2022	Km 3+300,00	Km 3+400,00	-18,2284	-18,2293	4,71
3500	26/02/2022	Km 3+400,00	Km 3+500,00	-18,2276	-18,2284	2,74
3600	26/02/2022	Km 3+500,00	Km 3+600,00	-18,2268	-18,2276	3,02
3700	26/02/2022	Km 3+600,00	Km 3+700,00	-18,2259	-18,2268	3,81
3800	26/02/2022	Km 3+700,00	Km 3+800,00	-18,2251	-18,2259	3,15
3900	26/02/2022	Km 3+800,00	Km 3+900,00	-18,2243	-18,2251	2,76
4000	26/02/2022	Km 3+900,00	Km 4+000,00	-18,2234	-18,2243	3,24

Figura 53*Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 2*

En el proceso de cálculo para la Muestra 2 con progresiva Km 2+000,00 al Km 4+000,00 se obtiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 53).

4.1.3 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 3

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 9.

Tabla 9*Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) – Muestra 3*

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
4100	26/02/2022	Km 4+000,00	Km 4+100,00	-18,2226	-18,2234	2,74
4200	26/02/2022	Km 4+100,00	Km 4+200,00	-18,2218	-18,2226	3,06
4300	26/02/2022	Km 4+200,00	Km 4+300,00	-18,2209	-18,2218	3,16
4400	26/02/2022	Km 4+300,00	Km 4+400,00	-18,2201	-18,2209	6,66
4500	26/02/2022	Km 4+400,00	Km 4+500,00	-18,2192	-18,2201	3,45
4600	26/02/2022	Km 4+500,00	Km 4+600,00	-18,2184	-18,2192	3,26
4700	26/02/2022	Km 4+600,00	Km 4+700,00	-18,2176	-18,2184	3,53
4800	26/02/2022	Km 4+700,00	Km 4+800,00	-18,2167	-18,2176	8,00
4900	26/02/2022	Km 4+800,00	Km 4+900,00	-18,2159	-18,2167	3,54
5000	26/02/2022	Km 4+900,00	Km 5+000,00	-18,2151	-18,2159	2,51
5100	26/02/2022	Km 5+000,00	Km 5+100,00	-18,2142	-18,2151	3,49
5200	26/02/2022	Km 5+100,00	Km 5+200,00	-18,2134	-18,2142	2,46
5300	26/02/2022	Km 5+200,00	Km 5+300,00	-18,2126	-18,2134	3,04
5400	26/02/2022	Km 5+300,00	Km 5+400,00	-18,2117	-18,2126	3,45
5500	26/02/2022	Km 5+400,00	Km 5+500,00	-18,2109	-18,2117	2,62
5600	26/02/2022	Km 5+500,00	Km 5+600,00	-18,2101	-18,2109	2,54
5700	26/02/2022	Km 5+600,00	Km 5+700,00	-18,2092	-18,2101	2,83
5800	26/02/2022	Km 5+700,00	Km 5+800,00	-18,2084	-18,2092	3,63
5900	26/02/2022	Km 5+800,00	Km 5+900,00	-18,2076	-18,2084	3,02
6000	26/02/2022	Km 5+900,00	Km 6+000,00	-18,2067	-18,2076	2,59

Figura 54**Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 3**

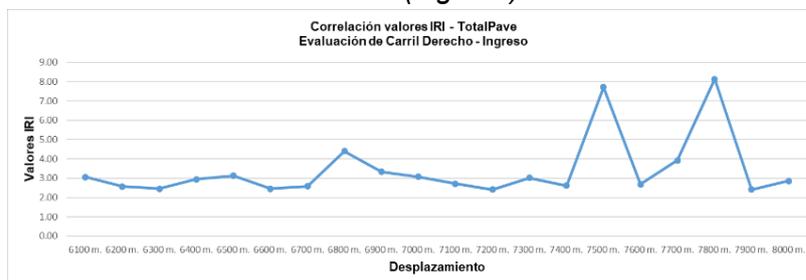
En el proceso de cálculo, para la Muestra 3 con progresiva Km 4+000,00 al Km 6+000,00 se obtiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 54).

4.1.4 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 4

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 10.

Tabla 10**Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) – Muestra 4**

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
6100	26/02/2022	Km 6+000,00	Km 6+100,00	-18,2059	-18,2067	3,06
6200	26/02/2022	Km 6+100,00	Km 6+200,00	-18,2051	-18,2059	2,57
6300	26/02/2022	Km 6+200,00	Km 6+300,00	-18,2042	-18,2051	2,46
6400	26/02/2022	Km 6+300,00	Km 6+400,00	-18,2034	-18,2042	2,95
6500	26/02/2022	Km 6+400,00	Km 6+500,00	-18,2025	-18,2034	3,13
6600	26/02/2022	Km 6+500,00	Km 6+600,00	-18,2017	-18,2025	2,45
6700	26/02/2022	Km 6+600,00	Km 6+700,00	-18,2009	-18,2017	2,58
6800	26/02/2022	Km 6+700,00	Km 6+800,00	-18,2001	-18,2009	4,40
6900	26/02/2022	Km 6+800,00	Km 6+900,00	-18,1993	-18,2001	3,33
7000	26/02/2022	Km 6+900,00	Km 7+000,00	-18,1985	-18,1993	3,08
7100	26/02/2022	Km 7+000,00	Km 7+100,00	-18,1976	-18,1985	2,72
7200	26/02/2022	Km 7+100,00	Km 7+200,00	-18,1968	-18,1976	2,41
7300	26/02/2022	Km 7+200,00	Km 7+300,00	-18,1960	-18,1968	3,01
7400	26/02/2022	Km 7+300,00	Km 7+400,00	-18,1952	-18,1960	2,61
7500	26/02/2022	Km 7+400,00	Km 7+500,00	-18,1944	-18,1952	7,72
7600	26/02/2022	Km 7+500,00	Km 7+600,00	-18,1936	-18,1944	2,68
7700	26/02/2022	Km 7+600,00	Km 7+700,00	-18,1928	-18,1936	3,93
7800	26/02/2022	Km 7+700,00	Km 7+800,00	-18,1920	-18,1928	8,13
7900	26/02/2022	Km 7+800,00	Km 7+900,00	-18,1911	-18,1920	2,41
8000	26/02/2022	Km 7+900,00	Km 8+000,00	-18,1903	-18,1911	2,86

Figura 55**Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 4**

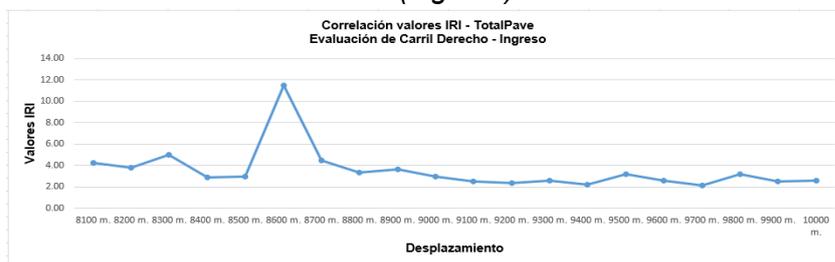
En el proceso de cálculo para la Muestra 4 con progresiva Km 6+000,00 al Km 8+000,00 se obtiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 55).

4.1.5 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 5

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 11.

Tabla 11**Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) – Muestra 5**

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
8100	26/02/2022	Km 8+000,00	Km 8+100,00	-18,1895	-18,1903	4,24
8200	26/02/2022	Km 8+100,00	Km 8+200,00	-18,1887	-18,1895	3,78
8300	26/02/2022	Km 8+200,00	Km 8+300,00	-18,1879	-18,1887	5,01
8400	26/02/2022	Km 8+300,00	Km 8+400,00	-18,1871	-18,1879	2,86
8500	26/02/2022	Km 8+400,00	Km 8+500,00	-18,1863	-18,1871	2,98
8600	26/02/2022	Km 8+500,00	Km 8+600,00	-18,1854	-18,1863	11,53
8700	26/02/2022	Km 8+600,00	Km 8+700,00	-18,1846	-18,1854	4,49
8800	26/02/2022	Km 8+700,00	Km 8+800,00	-18,1838	-18,1846	3,36
8900	26/02/2022	Km 8+800,00	Km 8+900,00	-18,1830	-18,1838	3,61
9000	26/02/2022	Km 8+900,00	Km 9+000,00	-18,1822	-18,1830	2,94
9100	26/02/2022	Km 9+000,00	Km 9+100,00	-18,1814	-18,1822	2,53
9200	26/02/2022	Km 9+100,00	Km 9+200,00	-18,1805	-18,1814	2,37
9300	26/02/2022	Km 9+200,00	Km 9+300,00	-18,1797	-18,1805	2,57
9400	26/02/2022	Km 9+300,00	Km 9+400,00	-18,1789	-18,1797	2,20
9500	26/02/2022	Km 9+400,00	Km 9+500,00	-18,1781	-18,1789	3,18
9600	26/02/2022	Km 9+500,00	Km 9+600,00	-18,1773	-18,1781	2,58
9700	26/02/2022	Km 9+600,00	Km 9+700,00	-18,1765	-18,1773	2,12
9800	26/02/2022	Km 9+700,00	Km 9+800,00	-18,1756	-18,1765	3,19
9900	26/02/2022	Km 9+800,00	Km 9+900,00	-18,1748	-18,1756	2,49
10000	26/02/2022	Km 9+900,00	Km 10+000,00	-18,1740	-18,1748	2,58

Figura 56*Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 5*

En el proceso de cálculo para la Muestra 5 con progresiva Km 8+000,00 al Km 10+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 56).

4.1.6 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 6

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 12.

Tabla 12*Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) – Muestra 6*

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
10100	26/02/2022	Km 10+000,00	Km 10+100,00	-18,1732	-18,1740	2,93
10200	26/02/2022	Km 10+100,00	Km 10+200,00	-18,1724	-18,1732	3,10
10300	26/02/2022	Km 10+200,00	Km 10+300,00	-18,1716	-18,1724	3,11
10400	26/02/2022	Km 10+300,00	Km 10+400,00	-18,1708	-18,1716	3,55
10500	26/02/2022	Km 10+400,00	Km 10+500,00	-18,1700	-18,1708	2,92
10600	26/02/2022	Km 10+500,00	Km 10+600,00	-18,1691	-18,1700	2,45
10700	26/02/2022	Km 10+600,00	Km 10+700,00	-18,1683	-18,1691	3,13
10800	26/02/2022	Km 10+700,00	Km 10+800,00	-18,1675	-18,1683	2,20
10900	26/02/2022	Km 10+800,00	Km 10+900,00	-18,1667	-18,1675	2,22
11000	26/02/2022	Km 10+900,00	Km 11+000,00	-18,1659	-18,1667	3,34
11100	26/02/2022	Km 11+000,00	Km 11+100,00	-18,1651	-18,1659	3,55
11200	26/02/2022	Km 11+100,00	Km 11+200,00	-18,1643	-18,1651	1,92
11300	26/02/2022	Km 11+200,00	Km 11+300,00	-18,1634	-18,1643	2,92
11400	26/02/2022	Km 11+300,00	Km 11+400,00	-18,1626	-18,1634	2,75
11500	26/02/2022	Km 11+400,00	Km 11+500,00	-18,1618	-18,1626	3,28
11600	26/02/2022	Km 11+500,00	Km 11+600,00	-18,1610	-18,1618	3,68
11700	26/02/2022	Km 11+600,00	Km 11+700,00	-18,1602	-18,1610	3,35
11800	26/02/2022	Km 11+700,00	Km 11+800,00	-18,1594	-18,1602	3,57
11900	26/02/2022	Km 11+800,00	Km 11+900,00	-18,1586	-18,1594	3,25
12000	26/02/2022	Km 11+900,00	Km 12+000,00	-18,1577	-18,1586	3,01

Figura 57**Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 6**

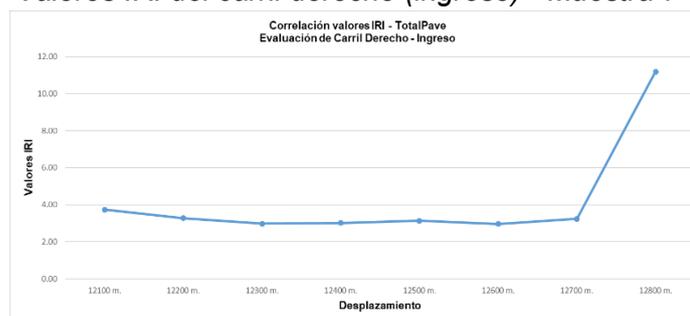
En el proceso de cálculo para la Muestra 6 con progresiva Km 10+000,00 al Km 12+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 57).

4.1.7 Valores IRI del carril derecho (ingreso) – Muestra 7

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 13.

Tabla 13**Registro del aplicativo TotalPave carril derecho (ingreso) - Muestra 7**

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
12100	26/02/2022	Km 12+000,00	Km 12+100,00	-18,1569	-18,1577	3,73
12200	26/02/2022	Km 12+100,00	Km 12+200,00	-18,1561	-18,1569	3,28
12300	26/02/2022	Km 12+200,00	Km 12+300,00	-18,1553	-18,1561	2,98
12400	26/02/2022	Km 12+300,00	Km 12+400,00	-18,1545	-18,1553	3,02
12500	26/02/2022	Km 12+400,00	Km 12+500,00	-18,1537	-18,1545	3,13
12600	26/02/2022	Km 12+500,00	Km 12+600,00	-18,1529	-18,1537	2,97
12700	26/02/2022	Km 12+600,00	Km 12+700,00	-18,1521	-18,1529	3,24
12800	26/02/2022	Km 12+700,00	Km 12+800,00	-18,1504	-18,1521	11,19

Figura 58**Valores IRI del carril derecho (ingreso) - Muestra 7**

En el proceso de cálculo para la Muestra 7 con progresiva Km 12+000,00 al Km 12+800,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 58).

4.1.8 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 1

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 14.

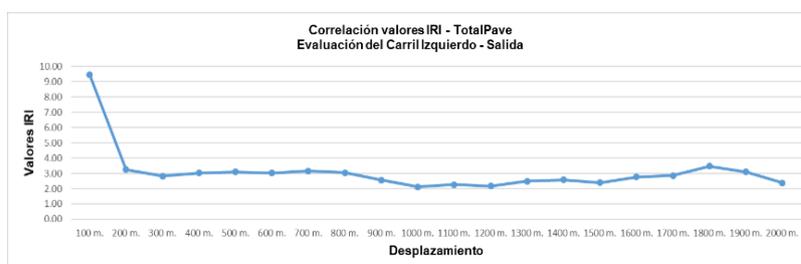
Tabla 14

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 1

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
100	26/02/2022	Km 0+0,00	Km 0+100,00	-18,1504	-18,1521	9,44
200	26/02/2022	Km 0+100,00	Km 0+200,00	-18,1521	-18,1529	3,26
300	26/02/2022	Km 0+200,00	Km 0+300,00	-18,1529	-18,1537	2,83
400	26/02/2022	Km 0+300,00	Km 0+400,00	-18,1537	-18,1545	3,02
500	26/02/2022	Km 0+400,00	Km 0+500,00	-18,1545	-18,1553	3,10
600	26/02/2022	Km 0+500,00	Km 0+600,00	-18,1553	-18,1561	3,02
700	26/02/2022	Km 0+600,00	Km 0+700,00	-18,1561	-18,1569	3,16
800	26/02/2022	Km 0+700,00	Km 0+800,00	-18,1569	-18,1577	3,04
900	26/02/2022	Km 0+800,00	Km 0+900,00	-18,1577	-18,1586	2,56
1000	26/02/2022	Km 0+900,00	Km 1+000,00	-18,1586	-18,1594	2,12
1100	26/02/2022	Km 1+000,00	Km 1+100,00	-18,1594	-18,1602	2,26
1200	26/02/2022	Km 1+100,00	Km 1+200,00	-18,1602	-18,1610	2,17
1300	26/02/2022	Km 1+200,00	Km 1+300,00	-18,1610	-18,1618	2,49
1400	26/02/2022	Km 1+300,00	Km 1+400,00	-18,1618	-18,1626	2,59
1500	26/02/2022	Km 1+400,00	Km 1+500,00	-18,1626	-18,1634	2,39
1600	26/02/2022	Km 1+500,00	Km 1+600,00	-18,1634	-18,1643	2,77
1700	26/02/2022	Km 1+600,00	Km 1+700,00	-18,1643	-18,1651	2,86
1800	26/02/2022	Km 1+700,00	Km 1+800,00	-18,1651	-18,1659	3,47
1900	26/02/2022	Km 1+800,00	Km 1+900,00	-18,1659	-18,1667	3,11
2000	26/02/2022	Km 1+900,00	Km 2+000,00	-18,1667	-18,1675	2,37

Figura 59

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 1



En el proceso de cálculo para la Muestra 1 con progresiva Km 0+000,00 al Km 2+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 59).

4.1.9 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 2

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 15.

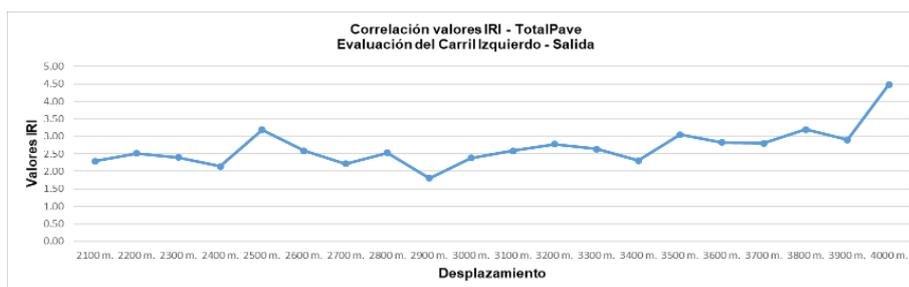
Tabla 15

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 2

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
2100	26/02/2022	Km 2+000,00	Km 2+100,00	-18,1675	-18,1683	2,29
2200	26/02/2022	Km 2+100,00	Km 2+200,00	-18,1683	-18,1691	2,51
2300	26/02/2022	Km 2+200,00	Km 2+300,00	-18,1691	-18,1700	2,40
2400	26/02/2022	Km 2+300,00	Km 2+400,00	-18,1700	-18,1708	2,14
2500	26/02/2022	Km 2+400,00	Km 2+500,00	-18,1708	-18,1716	3,19
2600	26/02/2022	Km 2+500,00	Km 2+600,00	-18,1716	-18,1724	2,59
2700	26/02/2022	Km 2+600,00	Km 2+700,00	-18,1724	-18,1732	2,22
2800	26/02/2022	Km 2+700,00	Km 2+800,00	-18,1732	-18,1740	2,53
2900	26/02/2022	Km 2+800,00	Km 2+900,00	-18,1740	-18,1748	1,81
3000	26/02/2022	Km 2+900,00	Km 3+000,00	-18,1748	-18,1756	2,38
3100	26/02/2022	Km 3+000,00	Km 3+100,00	-18,1756	-18,1765	2,59
3200	26/02/2022	Km 3+100,00	Km 3+200,00	-18,1765	-18,1773	2,78
3300	26/02/2022	Km 3+200,00	Km 3+300,00	-18,1773	-18,1781	2,64
3400	26/02/2022	Km 3+300,00	Km 3+400,00	-18,1781	-18,1789	2,31
3500	26/02/2022	Km 3+400,00	Km 3+500,00	-18,1789	-18,1797	3,05
3600	26/02/2022	Km 3+500,00	Km 3+600,00	-18,1797	-18,1805	2,83
3700	26/02/2022	Km 3+600,00	Km 3+700,00	-18,1805	-18,1814	2,80
3800	26/02/2022	Km 3+700,00	Km 3+800,00	-18,1814	-18,1822	3,20
3900	26/02/2022	Km 3+800,00	Km 3+900,00	-18,1822	-18,1830	2,90
4000	26/02/2022	Km 3+900,00	Km 4+000,00	-18,1830	-18,1838	4,48

Figura 60

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 2



En el proceso de cálculo, para la Muestra 2 con progresiva Km 2+000,00 al Km 4+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 60).

4.1.10 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 3

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 16.

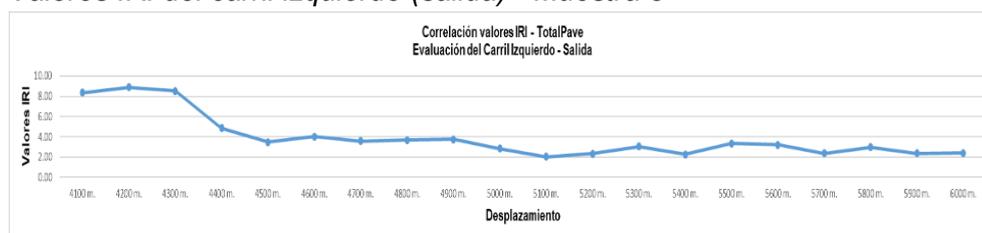
Tabla 16

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 3

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
4100	26/02/2022	Km 4+000,00	Km 4+100,00	-18,1838	-18,1846	8,35
4200	26/02/2022	Km 4+100,00	Km 4+200,00	-18,1846	-18,1854	8,91
4300	26/02/2022	Km 4+200,00	Km 4+300,00	-18,1854	-18,1863	8,52
4400	26/02/2022	Km 4+300,00	Km 4+400,00	-18,1863	-18,1871	4,85
4500	26/02/2022	Km 4+400,00	Km 4+500,00	-18,1871	-18,1879	3,48
4600	26/02/2022	Km 4+500,00	Km 4+600,00	-18,1879	-18,1887	4,01
4700	26/02/2022	Km 4+600,00	Km 4+700,00	-18,1887	-18,1895	3,58
4800	26/02/2022	Km 4+700,00	Km 4+800,00	-18,1895	-18,1903	3,69
4900	26/02/2022	Km 4+800,00	Km 4+900,00	-18,1903	-18,1911	3,74
5000	26/02/2022	Km 4+900,00	Km 5+000,00	-18,1911	-18,1920	2,85
5100	26/02/2022	Km 5+000,00	Km 5+100,00	-18,1920	-18,1928	2,03
5200	26/02/2022	Km 5+100,00	Km 5+200,00	-18,1928	-18,1936	2,33
5300	26/02/2022	Km 5+200,00	Km 5+300,00	-18,1936	-18,1944	3,04
5400	26/02/2022	Km 5+300,00	Km 5+400,00	-18,1944	-18,1952	2,28
5500	26/02/2022	Km 5+400,00	Km 5+500,00	-18,1952	-18,1960	3,36
5600	26/02/2022	Km 5+500,00	Km 5+600,00	-18,1960	-18,1968	3,22
5700	26/02/2022	Km 5+600,00	Km 5+700,00	-18,1968	-18,1976	2,36
5800	26/02/2022	Km 5+700,00	Km 5+800,00	-18,1976	-18,1985	2,96
5900	26/02/2022	Km 5+800,00	Km 5+900,00	-18,1985	-18,1993	2,36
6000	26/02/2022	Km 5+900,00	Km 6+000,00	-18,1993	-18,2001	2,41

Figura 61

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 3



En el proceso de cálculo para la Muestra 3 con progresiva Km 4+000,00 al Km 6+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 61).

4.1.11 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 4

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 17.

Tabla 17

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 4

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
6100	26/02/2022	Km 6+000,00	Km 6+100,00	-18,2001	-18,2009	3,03
6200	26/02/2022	Km 6+100,00	Km 6+200,00	-18,2009	-18,2017	2,60
6300	26/02/2022	Km 6+200,00	Km 6+300,00	-18,2017	-18,2025	3,50
6400	26/02/2022	Km 6+300,00	Km 6+400,00	-18,2025	-18,2034	2,25
6500	26/02/2022	Km 6+400,00	Km 6+500,00	-18,2034	-18,2042	2,33
6600	26/02/2022	Km 6+500,00	Km 6+600,00	-18,2042	-18,2051	2,32
6700	26/02/2022	Km 6+600,00	Km 6+700,00	-18,2051	-18,2059	2,73
6800	26/02/2022	Km 6+700,00	Km 6+800,00	-18,2059	-18,2067	2,21
6900	26/02/2022	Km 6+800,00	Km 6+900,00	-18,2067	-18,2076	2,97
7000	26/02/2022	Km 6+900,00	Km 7+000,00	-18,2076	-18,2084	2,90
7100	26/02/2022	Km 7+000,00	Km 7+100,00	-18,2084	-18,2092	2,63
7200	26/02/2022	Km 7+100,00	Km 7+200,00	-18,2092	-18,2101	1,85
7300	26/02/2022	Km 7+200,00	Km 7+300,00	-18,2101	-18,2109	1,81
7400	26/02/2022	Km 7+300,00	Km 7+400,00	-18,2109	-18,2117	2,55
7500	26/02/2022	Km 7+400,00	Km 7+500,00	-18,2117	-18,2126	3,37
7600	26/02/2022	Km 7+500,00	Km 7+600,00	-18,2126	-18,2134	2,75
7700	26/02/2022	Km 7+600,00	Km 7+700,00	-18,2134	-18,2142	2,01
7800	26/02/2022	Km 7+700,00	Km 7+800,00	-18,2142	-18,2151	2,38
7900	26/02/2022	Km 7+800,00	Km 7+900,00	-18,2151	-18,2159	2,25
8000	26/02/2022	Km 7+900,00	Km 8+000,00	-18,2159	-18,2167	2,20

Figura 62

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 4



En el proceso de cálculo para la Muestra 4 con progresiva Km 6+000,00 al Km 8+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 62).

4.1.12 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 5

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 18.

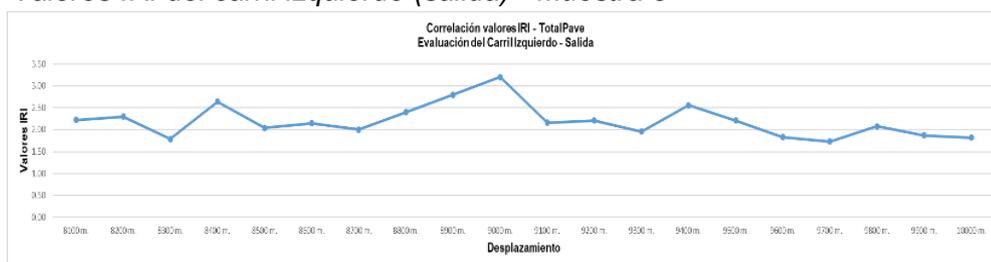
Tabla 18

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 5

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
8100	26/02/2022	Km 8+000,00	Km 8+100,00	-18,2167	-18,2176	2,22
8200	26/02/2022	Km 8+100,00	Km 8+200,00	-18,2176	-18,2184	2,30
8300	26/02/2022	Km 8+200,00	Km 8+300,00	-18,2184	-18,2192	1,79
8400	26/02/2022	Km 8+300,00	Km 8+400,00	-18,2192	-18,2201	2,64
8500	26/02/2022	Km 8+400,00	Km 8+500,00	-18,2201	-18,2209	2,04
8600	26/02/2022	Km 8+500,00	Km 8+600,00	-18,2209	-18,2218	2,15
8700	26/02/2022	Km 8+600,00	Km 8+700,00	-18,2218	-18,2226	2,00
8800	26/02/2022	Km 8+700,00	Km 8+800,00	-18,2226	-18,2234	2,40
8900	26/02/2022	Km 8+800,00	Km 8+900,00	-18,2234	-18,2243	2,80
9000	26/02/2022	Km 8+900,00	Km 9+000,00	-18,2243	-18,2251	3,20
9100	26/02/2022	Km 9+000,00	Km 9+100,00	-18,2251	-18,2259	2,16
9200	26/02/2022	Km 9+100,00	Km 9+200,00	-18,2259	-18,2268	2,21
9300	26/02/2022	Km 9+200,00	Km 9+300,00	-18,2268	-18,2276	1,96
9400	26/02/2022	Km 9+300,00	Km 9+400,00	-18,2276	-18,2284	2,56
9500	26/02/2022	Km 9+400,00	Km 9+500,00	-18,2284	-18,2293	2,21
9600	26/02/2022	Km 9+500,00	Km 9+600,00	-18,2293	-18,2301	1,83
9700	26/02/2022	Km 9+600,00	Km 9+700,00	-18,2301	-18,2309	1,73
9800	26/02/2022	Km 9+700,00	Km 9+800,00	-18,2309	-18,2318	2,08
9900	26/02/2022	Km 9+800,00	Km 9+900,00	-18,2318	-18,2326	1,87
10000	26/02/2022	Km 9+900,00	Km 10+000,00	-18,2326	-18,2334	1,82

Figura 63

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 5



En el proceso de cálculo para la Muestra 5 con progresiva Km 8+000,00 al Km 10+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 63).

4.1.13 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 6

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 19.

Tabla 19

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 6

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
10100	26/02/2022	Km 10+000,00	Km 10+100,00	-18,2334	-18,2343	1,84
10200	26/02/2022	Km 10+100,00	Km 10+200,00	-18,2343	-18,2351	1,86
10300	26/02/2022	Km 10+200,00	Km 10+300,00	-18,2351	-18,2359	1,84
10400	26/02/2022	Km 10+300,00	Km 10+400,00	-18,2359	-18,2368	1,80
10500	26/02/2022	Km 10+400,00	Km 10+500,00	-18,2368	-18,2376	2,13
10600	26/02/2022	Km 10+500,00	Km 10+600,00	-18,2376	-18,2384	2,28
10700	26/02/2022	Km 10+600,00	Km 10+700,00	-18,2384	-18,2393	2,60
10800	26/02/2022	Km 10+700,00	Km 10+800,00	-18,2393	-18,2401	2,81
10900	26/02/2022	Km 10+800,00	Km 10+900,00	-18,2401	-18,2409	2,14
11000	26/02/2022	Km 10+900,00	Km 11+000,00	-18,2409	-18,2418	1,78
11100	26/02/2022	Km 11+000,00	Km 11+100,00	-18,2418	-18,2426	2,28
11200	26/02/2022	Km 11+100,00	Km 11+200,00	-18,2426	-18,2434	1,90
11300	26/02/2022	Km 11+200,00	Km 11+300,00	-18,2434	-18,2442	2,13
11400	26/02/2022	Km 11+300,00	Km 11+400,00	-18,2442	-18,2450	1,83
11500	26/02/2022	Km 11+400,00	Km 11+500,00	-18,2450	-18,2459	2,29
11600	26/02/2022	Km 11+500,00	Km 11+600,00	-18,2459	-18,2467	2,57
11700	26/02/2022	Km 11+600,00	Km 11+700,00	-18,2467	-18,2475	2,09
11800	26/02/2022	Km 11+700,00	Km 11+800,00	-18,2475	-18,2483	2,29
11900	26/02/2022	Km 11+800,00	Km 11+900,00	-18,2483	-18,2491	2,31
12000	26/02/2022	Km 11+900,00	Km 12+000,00	-18,2491	-18,2500	2,37

Figura 64

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 6



En el proceso de cálculo, para la Muestra 6 con progresiva Km 10+000,00 al Km 12+000,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 64).

4.1.14 Valores IRI del carril izquierdo (salida) – Muestra 7

Se observa el registro del aplicativo TotalPave en la Tabla 20.

Tabla 20

Registro del aplicativo TotalPave carril izquierdo (salida) – Muestra 7

Desplazamiento (m)	Fecha de Evaluación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Valor IRI m/km
12100	26/02/2022	Km 12+000,00	Km 12+100,00	-18,2500	-18,2508	2,30
12200	26/02/2022	Km 12+100,00	Km 12+200,00	-18,2508	-18,2516	2,25
12300	26/02/2022	Km 12+200,00	Km 12+300,00	-18,2516	-18,2524	2,23
12400	26/02/2022	Km 12+300,00	Km 12+400,00	-18,2524	-18,2532	3,06
12500	26/02/2022	Km 12+400,00	Km 12+500,00	-18,2532	-18,2541	2,79
12600	26/02/2022	Km 12+500,00	Km 12+600,00	-18,2541	-18,2549	2,64
12700	26/02/2022	Km 12+600,00	Km 12+700,00	-18,2549	-18,2556	4,10
12800	26/02/2022	Km 12+700,00	Km 12+800,00	-18,2556	-18,2560	4,37

Figura 65

Valores IRI del carril izquierdo (salida) - Muestra 7



En el proceso de cálculo para la Muestra 7 con progresiva Km 12+000,00 al Km 12+800,00 se tiene una correlación de valores IRI - TotalPave (Figura 65).

De los valores del IRI registrados con la aplicación TotalPave se puede generar un gráfico del comportamiento de la rugosidad de ambos carriles, derecho e izquierdo.

Figura 66

Comportamiento de los valores IRI del carril derecho (ingreso)

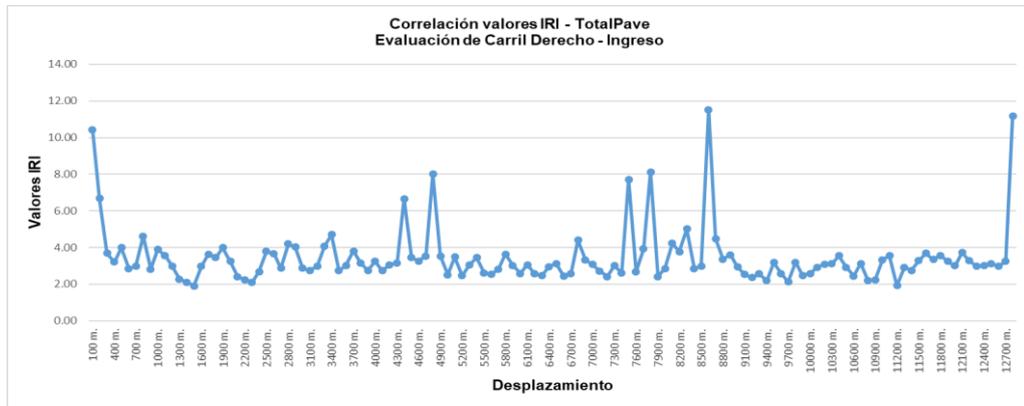
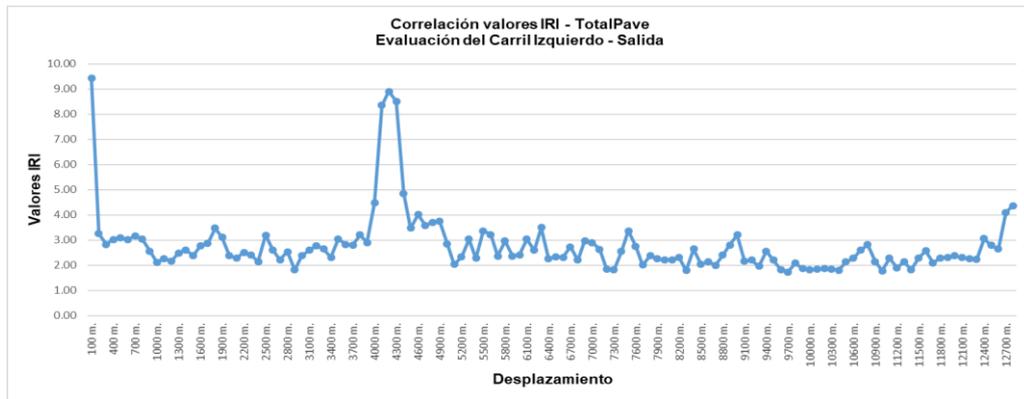


Figura 67

Comportamiento de los valores IRI del carril izquierdo (salida)



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1 Análisis de resultados del IRI elaborados con el aplicativo TotalPave

Para el análisis del tramo de la Carretera Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, se utilizó la aplicación TotalPave en un smartphone Samsung Galaxy Note 10, con ello se han obtenido los valores IRI promedio del carril derecho de ingreso igual a 3,52 m/km y para el carril izquierdo de salida igual a 2,79 m/km, obteniendo un ponderado de los dos carriles del IRI = 3,16 m/km podemos calificar la condición del pavimento asfáltico como regular, con una distancia de 12,800.00 metros por carril y una sección de la calzada que varía entre 6.60 m. y 7.20 m.

En el presente estudio del recorrido de a vía se determinó la condición del pavimento asfáltico aplicando los valores del IRI promedio de cada tramo, indicando tramos de mediano deterioro, donde se evidenciaron tipos de daños mínimos como piel de cocodrilo, baches y parcheo en diferentes zonas de la carretera.

La Tabla 21 y Tabla 22 nos muestra los resultados de rugosidad y estado del pavimento por cada progresiva obtenidos mediante la aplicación TotalPave de los carriles derecho e izquierdo respectivamente.

Tabla 21

Cuadro de Resumen de la Rugosidad, Carril Derecho

Progresiva	Rugosidad (m/km)	Calificación del Pavimento
km 0+000,0 al km 2+000,0	3,77	Regular
km 2+000,0 al km 4+000,0	3,21	Regular
km 4+000,0 al km 6+000,0	3,48	Regular
km 6+000,0 al km 8+000,0	3,42	Regular
km 8+000,0 al km 10+000,0	3,53	Regular
km 10+000,0 al km 12+000,0	3,01	Regular
km 12+000,0 al km 12+800,0	4,19	Regular
Valor IRI Promedio	3,52	

Tabla 22

Cuadro de Resumen de la Rugosidad, Carril Izquierdo

Progresiva	Rugosidad (m/km)	Calificación del Pavimento
km 0+000,0 al km 2+000,0	3,10	Regular
km 2+000,0 al km 4+000,0	2,68	Regular
km 4+000,0 al km 6+000,0	3,92	Regular
km 6+000,0 al km 8+000,0	2,53	Regular
km 8+000,0 al km 10+000,0	2,20	Regular
km 10+000,0 al km 12+000,0	2,16	Regular
km 12+000,0 al km 12+800,0	2,97	Regular
Valor IRI Promedio	2,79	

Para la calificación del estado del pavimento en la Carretera Tacna – Los Palos, se obtiene valores promedio de la rugosidad del carril derecho y el carril izquierdo y luego se calcula el valor ponderado de los dos carriles, siendo el IRI = 3,16 m/km, con el valor del IRI ponderado podemos calificar la condición del pavimento asfáltico de todo el tramo de la carretera en evaluación, por lo que la calificación de la condición del pavimento flexible es regular.

A nivel internacional se han fijado los valores del IRI que se muestran en la Tabla 23:

Tabla 23*Calificación del estado del pavimento*

País	Estado del Pavimento		
	Bueno	Regular	Malo
EE.UU.	< 2,4	2,4 – 4,7	> 4,7
Chile	0 – 3,0	3,0 – 4,0	> 4,0
Honduras	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0
Uruguay	< 3,9	4,0 – 4,6	> 4,6
Perú	< 2,5	2,5 – 4,5	> 4,5

Nota. (Alvarenga, 2002)

Los valores IRI promedio por cada carril o tramo y valor IRI ponderado de la carretera en estudio se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24*Resultados del Valor IRI Ponderado*

Calzada	Valor IRI	
Carril Derecho - Ingreso, Carretera Tacna – Los Palos	3,52	m/km
Carril Izquierdo - Salida, Carretera Tacna – Los Palos	2,79	m/km
Valor IRI Ponderado	3,16	m/km

Los valores picos o altos del IRI fueron, del carril derecho de ingreso del Tramo 1 igual a 10,44 m/Km, Tramo 3 igual a 8 m/km, Tramo 5 igual a 11,53 m/km, el Tramo 7 igual a 11,19 m/km y el carril izquierdo de salida del Tramo 1 igual a 9,44 m/km, Tramo 3 igual a 8,35 m/km, 8,91 m/km y 8,52 m/km, calificando el estado del pavimento en los estándares peruanos como malo; habiendo deterioro con severidad alta, baches en la carpeta asfáltica, fisuras de severidad alta y desprendimiento de agregados en los puntos mencionados del pavimento.

En el carril derecho de la carretera en estudio se visualiza un resultado igual a 10,44 m/km de la progresiva 0+000 – 0+100,00; el estado de la calzada es “malo” se debe a que presenta un desgaste mayor en la carpeta de rodamiento (Figura 02).

El estado del pavimento asfáltico de esta investigación en el tramo de la carretera Tacna – Los Palos, se puede observar que ciertas unidades de muestra en el carril derecho de la calzada se califican como malo, es el caso de las progresivas 4+700 – 4+800 del tramo 3, 8+500 – 8+600 del tramo 5 y 12+700 – 12+800 del tramo 7, donde se observa la presencia de huecos o baches y fisuras de severidad alta (Figura 03 y Figura 05).

En la progresiva 0+000 – 0+100 del tramo 1 del carril izquierdo se puede observar que la calzada acorta su ancho a un carril debido a las restauraciones que ha sufrido la carpeta asfáltica y afectan la mitad del carril, esta restauración es de menor calidad comparado con el asfalto de la vía lo que ha ocasionado una deformación a pesar del parchado (Figura 04).

En la progresiva 4+000 – 4+100, 4+100 – 4+200 y 4+200 – 4+300 del tramo 3 del carril izquierdo, la calificación de rugosidad alcanza un nivel “malo”, En las progresivas de muestra se observa deterioro con severidad alta, severo desprendimiento del pavimento y desgaste de nivel de carpeta asfáltica de la carretera Tacna – Los Palos (Figura 06).

5.2 Determinación del nivel de transitabilidad

La transitabilidad de la Carretera Tacna – Los Palos, se determina mediante el valor de los PSI calculados; después de analizar los resultados del IRI promedio de cada carril y el IRI ponderado de la calzada en estudio, se realiza la calificación de la transitabilidad, tomando el valor del IRI ponderado de la calzada utilizamos y reemplazamos en las fórmulas de William Paterson, D. Dujisin y A. Arroyo obteniendo resultados del PSI = 2,81.

WILLIAM PATERSON 1987

$$PSI = 5,85 - 1,68(IRI^{0.5})$$

WILLIAM PATERSON 1987

$$PSI = 4,182 - 0,455(IRI)$$

D.DUJISIN Y A. ARROYO 1995

$$PSI = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5,5}}}$$

Reemplazamos en las fórmulas el valor IRI ponderado 3,16 m/km y calculamos el PSI promedio igual a 2,81, calificando el recorrido de la vía en estudio como una transitabilidad regular como se muestra en la Tabla 25 y La Tabla 26 nos muestra las escalas de calificación de la transitabilidad.

Tabla 25

Calificación del Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI)

Valor IRI Ponderado	Valor del PSI mediante el IRI	Calificación del PSI
3,16 m/km	2,81	Transitabilidad Regular

Tabla 26*Calificación de la transitabilidad*

PSI	Transitabilidad
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy Buena

Nota. (Sachún, 2016).

CONCLUSIONES

Se ha determinado la evaluación funcional donde muestran las deficiencias que afectan la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la Carretera Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Distrito de La Yarada-Los Palos, donde utilizando el aplicativo TotalPave en un smartphone, se evidenciaron tipos de daños mínimos como piel de cocodrilo, baches y parcheo en diferentes zonas de la carretera, obteniendo valores promedio de la rugosidad del carril derecho y el carril izquierdo, determinando el valor del IRI ponderado de ambos carriles, ayudándonos a calificar el estado del pavimento, definiéndose en nuestra investigación la condición del pavimento asfáltico como regular y en la calificación de la transitabilidad en función del IRI se concluye que es una transitabilidad regular.

Se realizó el cálculo del valor de la rugosidad en el recorrido de la vía en estudio usando la aplicación TotalPave en un smartphone Samsung Galaxy Note 10 con velocidades de 60 a 70 km/h, a lo largo de 12,800.00 metros por carril, obteniendo valores del IRI promedio del carril derecho de ingreso equivalente a 3,52 m/km y el carril izquierdo de salida equivalente a 2,79 m/km, finalmente para la calificación de la condición del pavimento se determina el valor IRI ponderado de ambos carriles de la carretera en estudio, considerando el aplicativo TotalPave el resultado del IRI ponderado es equivalente a 3,16 m/km, por lo que la calificación del estado del pavimento flexible es regular.

Se determinó la transitabilidad de la Carretera Tacna – Los Palos, en función del IRI y los valores PSI calculados utilizando el aplicativo TotalPave, luego de la evaluación de los valores del IRI ponderado en el recorrido de la vía en estudio, realizamos la calificación de la transitabilidad, tomando el valor del IRI ponderado equivalente a 3,16 m/km, reemplazamos en las fórmulas de William Paterson, D. Dujisin y A. Arroyo obteniendo un PSI promedio dando como resultado el valor de PSI = 2,81, calificando la transitabilidad como regular.

RECOMENDACIONES

Recomendamos a los Gobiernos Locales y Gobierno Regional de Tacna, utilizar la aplicación TotalPave en smartphones para realizar el cálculo del valor de la rugosidad del pavimento asfáltico y determinar la calificación de la transitabilidad de las vías en estudio, porque estos resultados ayudan a planificar el método de la intervención, ya sea renovación, mantenimiento o reconstrucción necesario, no se requiere personal calificado para elaborar los valores del IRI con el aplicativo TotalPave.

Siendo la Carretera Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, una vía que pertenece a la zona del Distrito de La Yarada-Los Palos, se recomienda como referencia utilizar los valores IRI obtenidos de la aplicación TotalPave para determinar y realizar labores de renovación, mantenimiento, reparación y/o restauración, como el tratamiento superficial bicapa que es un método de mantenimiento seguro y económico para extender la duración del servicio de la vía, que consiste en la distribución de una bicapa de emulsiones asfálticas, siendo el uso del aplicativo TotalPave una método fiable de alto rendimiento y económico, considerando el valor del IRI ponderado de ambos carriles que califica un pavimento regular.

Se recomienda el uso de la aplicación TotalPave en smartphone, debido que la aplicación tiene una variedad de funciones que se actualizan constantemente que contribuirán a elaborar resultados fiables de alto productividad y económico, es un aplicativo que favorecerá a futuros trabajos de investigación en el análisis de la condición funcional de los pavimentos, serviciabilidad y transitabilidad vehicular, básicamente en vías donde se puede incrementar velocidades constantes entre 90 km/h a 100 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. (2002). *Determinacion del Indice de Regularidad Internacional IRI*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Alvarenga, E. (2002). *Indices de medición de la regularidad de un pavimento*. Republica del El Salvador: Ministerio de Obras Publicas, transporte, vivienda y desarrollo urbano.
- ASTM, E.-0. (2012). *Standard Terminology Relating to Vehicle Pavement Systems*.
- Camacho P, S. (2018). *Evaluacion y analisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres Velásquez.
- Camacho, S. (2018). *Evaluación y análisis de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Puno aplicando el método ROADROID y el rugosímetro de MERLIN*. Juliaca - Puno: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez.
- Carhuapoma, J. (2019). *Evaluación del nivel de servicio mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando el rugosímetro MERLIN en el pavimento flexible de la carretera Cerro de Pasco - Yanahuanca - 2019*. Cerro de Pasco - Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Caro, F.; Peña, G. (2012). Análisis y criterios para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) en vias urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica. *Inteknia*, 57-72.
- Chavez A. y Peñarreta L. (2019). *Desarrollo de la correlación entre dos indicadores de la condición de la superficie del pavimento*. Cuenca - Ecuador: Universidad de Cuenca.

- Del Aguila, P. (1999). *Metodología para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos*. Lima.
- Forslôf, L. (2013). *Roadroid - Continuous Road Condition Monitoring with Smartphone*. Ljusdal, Sweden.
- Forslôf, L.; Jones, H. (2015). Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 9, 485-496, doi: 10.17265/1934-7359/2015.04.012 .
- García A. (2015). *Diseño de Pavimento Asfáltico por el Método AASHTO-93*. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- 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*. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Gonzalo, J., & Beingolea, H. (2021). *Aplicacion del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Instituto Nacional de Vías. (2008). *Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras*. Bogotá.
- Latorre, F. (2019). *Aplicación del Sistema Roadroid utilizando smartphone para diagnosticar la uniformidad superficial del pavimento en el centro urbano de Chiclayo*. Chiclayo - Perú: Universidad Cesar Valejo.
- Laura, D. (2016). *Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco - Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Lloclla, A., Sánchez, K. (2019). *Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone ROADROID, rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A y rugosímetro de MERLIN*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Medina R. y Farro D. (2017). *Evaluación Superficial y de Rugosidad del pavimento en la Av. Circunvalación Oeste, tramo Ovalo Transportes - Ovalo Cuzco,*

Distrito de Tacna, Provincia de Tacna, Tacna - 2017. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Glosario de Término de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial.* Lima: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1556.pdf.

Mozo B., W. (2019). *Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) y ROADROID en el circuito Humedal Lucre-Huacarpay.* Cusco: Universidad Andina del Cusco.

Perera, K. (2002). *Equipo para la medición el Índice Internacional de Rugosidad.* Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Pomasonco de la Cadena, R. (2010). *Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera Cañete-Huancayo Km. 110+000 al Km. 112+000.* Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Ramirez, B. (2017). *Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey - Casma de la carretera Panamericana Norte.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Reyes, B. (2020). *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el Rugosímetro de Merlín.* Manabí - Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Roadroid. (2014). *Roadroid - continuous road condition monitoring with smartphones. A multi-disciplinary approach to improve capacity & safety for road transport in Africa.* South Africa: Pretoria.

Roadroid. (2020). *Roadroid, Road Surveys using smartphones, Essential for professionals. Essential Guide Pro2.* Suecia: Essential Guide Pro2.

Román, F. (2020). *Metodología para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y su aplicación en pavimentos flexibles de Guatemala.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Sachún, J. (2016). *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte-Zona Trujillo, para su mantenimiento*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sayers, M. & Karamidas, S. (1988). *The Little Book of Profiling*. Michigan USA.
- Sayers, M. ; Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Secretaría de Comunicaciones Y Transportes. (1998). *Índice Interncional de Rugosidad en la Red Carretera de México*. México: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>.
- Sologorre, J. (2005). *Evaluación de la rugosidad de Pavimentos con uso del BUMP Integrator*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tingal, H. (2021). *Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca - Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlín*. Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- TotalPave. (2014). *TotalPave - continuous road condition monitoring with smartphones. A multi-disciplinary approach to improve capacity & safety for road transport in Africa*. South Africa: Pretoria.
- TOTALPAVE. (2020). *Manual ABAKAL IRI Investigaciones en la obra civil*. España: ABAKAL ingenieros consultores, S.L.
- TotalPave. (2020). *Roadroid, Road Surveys using smartphones, Essential for professionals. Essential Guide Pro2*. Suecia: Essential Guide Pro2.
- Zeballos G. y Vizcarra C. (2020). *Aplicacion de telefonos inteligentes y el rugosímetro de MERLIN para la determinación de la rugosidad del pavimento flexible en la carretera TA-615, tramo: Puente El Peligro - Emp. PE-40, Tacna - 2020*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.

ANEXO. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “EVALUACIÓN FUNCIONAL Y TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA CARRETERA TACNA – LOS PALOS, TRAMO: Emp. PE-1SD – LOS PALOS, TACNA - 2022”

TESISTA: BACH. JUVER JOEL JIMENEZ JALIRE Y BACH. GIOVANNI JESÚS CUTIPA LEGUA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</p> <p>¿Cuáles son las características de la evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos - Tacna, 2022 ?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La determinación de la evaluación funcional muestra las imperfecciones que afectan la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022.</p>	<p style="text-align: center;">Variable Independiente(X)</p> <p>X1. Evaluación funcional del pavimento asfáltico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos • Tipos de pavimentos • Evaluación de pavimentos • Evaluación funcional 	<p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicada con enfoque cuantitativo. <p>Diseño de la Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptiva – exploratoria. <p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carpeta asfáltica de las Calles y carreteras del distrito La Yarada Los Palos <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carpeta asfáltica de la Carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos. <p>Técnicas de Recolección de datos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación. - Formato de campo. - Metodología del aplicativo en Smartphone TotalPave. <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Samsung Galaxy Note 10. - Soporte para el smartphone. - Metodología TotalPave. - Automovil Toyota Tercel 95. - Reportes del TotalPave. - Cámara fotográfica.
<p>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</p> <p>a) ¿Cómo se determina el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna-2022 ?</p> <p>b) ¿Cómo se determina la transitabilidad vehicular en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna – 2022 ?</p>	<p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar el valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico utilizando el aplicativo TotalPave en Smartphone de la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos.</p> <p>b) Determinar la transitabilidad vehicular en función del IRI obtenido con el aplicativo TotalPave en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos.</p>	<p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) La determinación del valor de la rugosidad en el pavimento asfáltico utilizando el aplicativo TotalPave en Smartphone de la carretera Tacna - Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD - Los Palos, es deficiente.</p> <p>b) La determinación de la transitabilidad vehicular utilizando el aplicativo TotalPave en la carretera Tacna – Los Palos, tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, permitirá caracterizar las imperfecciones superficiales.</p>	<p style="text-align: center;">Variable Dependiente(Y)</p> <p>Y1. Transitabilidad vehicular</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transitabilidad • Serviciabilidad • Rugosidad • Transitabilidad en función del IRI • Aplicativo TotalPave en Smartphone. • Cálculo del IRI según TotalPave 	