

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



TESIS

**“ANÁLISIS MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA
CARRETERA TA-644, TRAMO: CARRETERA NACIONAL PE-1S
– Emp. TA-642, PARA MEJORA DE LA TRANSITABILIDAD
VEHICULAR, TACNA – 2023”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. JHONY JUAN CHINO HUISA
Bach. EDGAR JESÚS MAMANI URUCHI**

**TACNA – PERÚ
2024**

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

TESIS

**“ANÁLISIS MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA
CARRETERA TA-644, TRAMO: CARRETERA NACIONAL PE-1S
– Emp. TA-642, PARA MEJORA DE LA TRANSITABILIDAD
VEHICULAR, TACNA – 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de abril de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

SECRETARIO : Mtro. MILTON CESAR GORDILLO MOLINA

VOCAL : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

ASESOR : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Jhony Juan Chino Huisa y Edgar Jesús Mamani Uruchi, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 73011942 y 47797245 respectivamente, así como Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez con DNI 00794213; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Análisis mediante ensayos no destructivos de la carretera ta-644, tramo: carretera nacional pe-1s – Emp. ta-642, para mejora de la transitabilidad vehicular, Tacna – 2023*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

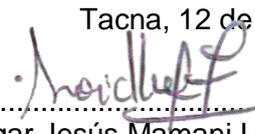
En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 12 de abril de 2024


.....
Jhony Juan Chino Huisa
DNI: 73011942


.....
Edgar Jesús Mamani Uruchi
DNI: 47797245


.....
Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez
DNI: 00794213

DEDICATORIA

A mis padres, Daniel y Dina por sus mensajes de aliento, paciencia y amor incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado. Apoyándome en cada paso que doy. Sin ustedes no lo hubiera logrado. Son mi ejemplo a seguir.

Jhony Juan Chino Huisa

DEDICATORIA

A mis padres Lucrecia y Jesús, porque ellos han dado razón a mi vida, por su paciencia, consejos y apoyo incondicional, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mis hermanos María, Miguel y Osvaldo, que más que hermanos son mis legítimos amigos, por motivarnos y darnos la mano cuando sentíamos que el camino se terminaba.

A toda mi familia y amigos, que es lo más valioso que Dios me ha concedido.

Edgar Jesús Mamani Uruchi

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento primordialmente a Dios, quien nos brindó la fortaleza para perseverar y no rendirnos durante todo este tiempo. A mi abuelo Fortunato Huisa mi agradecido hacia el cielo ya que fue inspiración para permitir superar los innumerables desafíos enfrentados durante este periodo.

Jhony Juan Chino Huisa

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a nuestro asesor, Mtro. Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez, quien con su experiencia y profesionalismo estuvo guiándonos académicamente, gracias por su paciencia y confianza incondicional que nos impulsó cumpliendo nuestros objetivos para esta presente tesis.

Edgar Jesús Mamani Uruchi

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	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 e importancia	6
1.3.1 Justificación social	6
1.3.2 Justificación práctica	7
1.3.3 Justificación metodológica	7
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Hipótesis	8
1.5.1 Hipótesis general	8
1.5.2 Hipótesis específica	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes de la investigación	9

2.1.1 Artículos científicos	9
2.1.2 Tesis	11
2.2 Bases teóricas	13
2.2.1 Transitabilidad.....	13
2.2.2 Serviciabilidad	13
2.2.3 Estado de conservación del pavimento	15
2.2.4 Método pavement condition index.....	17
2.2.5 Aplicación de los teléfonos inteligentes.	22
2.3 Definición de términos.....	27
2.3.1 Índice de transitabilidad.....	27
2.3.2 ABAKAL IRI	27
2.3.3 Evaluación superficial.....	27
2.3.4 Índice de condición	27
2.3.5 Índice de rugosidad	27
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	28
3.1 Diseño de la investigación.....	28
3.1.1 Tipo de investigación	28
3.1.2 Nivel de investigación.....	28
3.1.3 Diseño de investigación	29
3.2 Acciones y actividades.....	29
3.3 Materiales y/o Instrumentos	32
3.3.1 Materiales	32
3.3.2 Instrumentos	32
3.4 Población y muestra de estudio	32
3.4.1 Población	32
3.4.2 Muestra.....	33
3.5 Operacionalización de variables.....	33
3.6 Técnicas e instrumentos y análisis estadístico	34

3.6.1 Técnicas.....	34
3.6.2 Instrumentos	34
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	35
4.1 Cálculo del PCI	35
4.1.1 Resultados de la densidad y valor deducido según el método PCI	42
4.1.2 Resultados del valor PCI obtenido con el método PCI	48
4.2 Resultados del índice de rugosidad internacional obtenido del aplicativo ABAKAL IRI	55
4.2.1 Resultados del aplicativo ABAKAL IRI carril de bajada	56
4.2.2 Resultados del aplicativo ABAKAL IRI carril de subida.....	57
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	61
5.1 Análisis de los resultados PCI.....	61
5.2 Análisis de la rugosidad obtenidos con el aplicativo ABAKAL IRI.....	63
5.3 Análisis de la transitabilidad en función del valor PCI y valor IRI.....	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango del PSI	13
Tabla 2. Rango de transitabilidad.....	14
Tabla 3. Valor IRI específico por país.....	14
Tabla 4. Rangos valor PCI	17
Tabla 5. Hoja de registro PCI	20
Tabla 6. Formato para obtener el valor máximo deducido ajustado.....	21
Tabla 7. Intervención en función del PCI	21
Tabla 8. Archivo IRI2.csv. resultados	26
Tabla 9. Operacionalización de variables	33
Tabla 10. Unidad de muestra 1	36
Tabla 11. Unidad de muestra 21	37
Tabla 12. Unidad de muestra 41	37
Tabla 13. Unidad de muestra 61	37
Tabla 14. Unidad de muestra 81	38
Tabla 15. Unidad de muestra 101	38
Tabla 16. Unidad de muestra 121	38
Tabla 17. Unidad de muestra 141	39
Tabla 18. Unidad de muestra 161	39
Tabla 19. Unidad de muestra 181	40
Tabla 20. Unidad de muestra 201	40
Tabla 21. Unidad de muestra 221	40
Tabla 22. Unidad de muestra 241	41
Tabla 23. Unidad de muestra 261	41
Tabla 24. Unidad de muestra 281	42
Tabla 25. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-1.....	42

Tabla 26. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-21.....	43
Tabla 27. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-41.....	43
Tabla 28. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-61.....	43
Tabla 29. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-81.....	44
Tabla 30. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-101.....	44
Tabla 31. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-121.....	45
Tabla 32. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-141.....	45
Tabla 33. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-161.....	45
Tabla 34. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-181.....	46
Tabla 35. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-201.....	46
Tabla 36. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-221.....	47
Tabla 37. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-241.....	47
Tabla 38. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-261.....	47
Tabla 39. Cálculo de la densidad y valor deducido - unidad de muestra U-281.....	48
Tabla 40. PCI y calificación - unidad de muestra U-1	49
Tabla 41. PCI y calificación - unidad de muestra U-21	49
Tabla 42. PCI y calificación - unidad de muestra U-41	50
Tabla 43. PCI y calificación - unidad de muestra U-61	50
Tabla 44. PCI y calificación - unidad de muestra U-81	50
Tabla 45. PCI y calificación - unidad de muestra U-101	51
Tabla 46. PCI y calificación - unidad de muestra U-121	51
Tabla 47. PCI y calificación - unidad de muestra U-141	52
Tabla 48. PCI y calificación - unidad de muestra U-161	52
Tabla 49. PCI y calificación - unidad de muestra U-201	53
Tabla 50. PCI y calificación - unidad de muestra U-221	53
Tabla 51. PCI y calificación - unidad de muestra U-241	54
Tabla 52. PCI y calificación - unidad de muestra U-261	54
Tabla 53. PCI y calificación - unidad de muestra U-281	55

Tabla 54. Valores IRI carril de bajada hasta 8,9 km	56
Tabla 55. Valores IRI, carril de subida.....	58
Tabla 56. Resumen valores PCI en tramo de evaluación	61
Tabla 57. Valor IRI obtenido mediante la herramienta ABAKAL IRI.....	63
Tabla 58. Resultados del PSI determinado en función del valor PCI e IRI.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio TA-644, L = 9,8 km.	3
Figura 2. Zona de estudio, en falla presentes - huecos	3
Figura 3. Zona de estudio, aparición de huecos	4
Figura 4. Zona de estudio, aparición de huecos	4
Figura 5. Zona de estudio, cruce de línea férrea	5
Figura 6. Zona de estudio, condiciones de la calzada - berma	5
Figura 7. Usuarios que se conecta a internet utilizando el smartphone	22
Figura 8. Modelo de cuarto de coche	23
Figura 9. Aplicación ABAKAL	23
Figura 10. Formas de cálculo, estadístico y máximos	24
Figura 11. Archivo IRI.csv.	25
Figura 12. Archivo IRI.kml.	26
Figura 13. Unidad vehicular utilizado en la obtención del valor IRI con el aplicativo ABAKAL IRI.	30
Figura 14. Montaje del teléfono inteligente en la unidad vehicular.....	30
Figura 15. Configuración de la aplicación ABAKAL IRI.....	31
Figura 16. Evaluación del valor IRI usando ABAKAL IRI.	31
Figura 17. Recorrido utilizando el aplicativo ABAKAL IRI.	57
Figura 18. Evaluación del carril de subida carretera TA-644, valores IRI se muestran por colores.	60
Figura 19. Desplazamiento del valor PCI por progresivas en la calzada total.....	62

RESUMEN

Este estudio investigó la condición superficial del pavimento asfáltico en la carretera TA-644 utilizando ensayos no destructivos. El tramo de investigación abarca 9,8 km de longitud con una calzada de 7,20 m de ancho. El objetivo principal es evaluar el estado de la carretera TA-644, específicamente desde la carretera nacional PE-1S hasta el Empalme TA-642, para proponer mejoras en la transitabilidad vehicular. Se empleó el método PCI para identificar fallas superficiales en la capa de rodadura, utilizando 15 unidades de muestra para calcular el PCI. Además, se usó el aplicativo ABAKAL IRI para medir la rugosidad cada 100 m. Este estudio pertenece al ámbito de la investigación aplicada con enfoque cuantitativo, orientado a resolver problemas relacionados con pavimentos. Los resultados indican que el PCI ponderado para la carretera TA-644 es de 25,18 %, lo cual califica el estado del pavimento como malo y la transitabilidad como deficiente. Asimismo, el valor obtenido con ABAKAL IRI de 4,93 m/km también indica un estado deficiente tanto del pavimento como de la transitabilidad. En conclusión, basándose en la evaluación del estado del pavimento y la transitabilidad, se recomienda considerar una propuesta de rehabilitación para mejorar la capa de rodadura en la carretera TA-644.

Palabras claves: Transitabilidad; ABAKAL; índice de condición; índice de rugosidad; evaluación superficial e IRI.

ABSTRACT

The present research work analyzes by non-destructive testing the surface condition of the asphalt pavement surface layer of the TA-644 road, the length of the research section is 9,8 km. and the width of the roadway is 7,20 m. The objective of the research is to carry out an analysis by means of non-destructive tests of the TA-644 road, section: national road PE-1S - Emp. TA-642, to propose an improvement of the vehicular trafficability, for this purpose the PCI method was used to determine the presence of functional surface failures in the wearing course, 15 sample units were needed to determine the PCI value and on the other hand, using the ABAKAL IRI application, roughness values every 100 m were determined. The type of research is applied with a quantitative approach, because it seeks to generate knowledge applying to pavement problems, with the sole objective of expanding the knowledge for the qualification of the pavement condition and the trafficability of the road, considering a descriptive-explanatory design, The results of the weighted PCI for the TA-644 road equal to 25,18 %, defining a pavement condition qualification as bad and poor trafficability, while the result obtained with the ABAKAL IRI equal to 4,93 m/km, also qualifies the pavement condition as bad and poor trafficability. It is concluded that according to the pavement condition and trafficability ratings, they help to define a rehabilitation proposal for the wearing course of road TA-644.

Keywords: trafficability; ABAKAL; condition index; roughness index; surface evaluation and IRI.

INTRODUCCIÓN

Es fundamental realizar ensayos no destructivos en el pavimento flexible de la carretera TA-644 para mejorar la transitabilidad vehicular. El método PCI se emplea para detectar diversas fallas en la capa asfáltica, mientras que el aplicativo ABAKAL IRI proporciona datos sobre la rugosidad. Estos valores ponderados ayudan a evaluar las condiciones de la carretera y la facilidad de tránsito, y sugieren opciones de tratamiento como reparaciones basadas en los índices de condición y rugosidad. La carretera TA-644 conecta con la carretera TA-642 y la vía costera, facilitando el acceso a las regiones de Moquegua, Arequipa y otras del norte del país. El aumento en el tráfico es notable, especialmente de camiones pesados de tres o cuatro ejes, que según encuestas locales del gobierno de La Yarada - Los Palos y el gobierno regional de Tacna, pueden deteriorar la estructura del pavimento.

La carretera TA-644 no fue diseñada para este tipo de tráfico, por lo que la capa asfáltica se deteriora y sufre diversos tipos de fallos. Para colmo, el camino no recibe ningún tipo de mantenimiento, por lo que el deterioro del firme es evidente. Esto en última instancia resultará en la rehabilitación y/o reconstrucción de la vía TA-644.

El estudio se organiza en cinco capítulos. El capítulo I describe y plantea el problema, y establece los objetivos y las hipótesis. El capítulo II aborda el marco teórico, incluyendo antecedentes de artículos científicos, trabajos nacionales y regionales, fundamentos teóricos y definiciones de términos. En el capítulo III se presenta el marco metodológico, detallando el diseño de la investigación, el tipo y nivel de investigación, acciones y actividades, materiales, población y muestra de estudio, operacionalización de variables, y el procesamiento y análisis de datos. El capítulo IV expone los resultados, incluyendo los cálculos de PCI e IRI. Finalmente, el capítulo V analiza los resultados obtenidos y proporciona conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

Mantener en buenas condiciones de transitabilidad las vías vecinales como la TA-644 toma importancia para el desarrollo económico social de un distrito, donde el transporte de carga y personas se convierte en un factor que afecta la economía de una región, ya sea una zona urbana o rural. Entonces, es necesario desarrollar programas de ejecución y mantenimiento de infraestructura vial, considerando un buen diseño estructural y una adecuada ejecución en los procesos constructivos de acuerdo a la normativa vigente de proyectos viales, garantizando la operación y mantenimiento para prolongar la vida útil del pavimento ejecutando un adecuado mantenimiento de las vías.

Actualmente la carretera TA-644 es utilizada para el ingreso de los turistas chilenos que transitan semanalmente hacia el litoral tacneño, mediante el transporte de personas y mercancías desde Chile a la capital del distrito de La Yarada - Los Palos, los balnearios de Boca del Rio pasando hasta los balnearios de Ilo en la región Moquegua y Arequipa, la vía utilizada es de una calzada de 7,20 m. de dos carriles, uno por sentido con un ancho de 3,60 m.

La carretera TA-644 está interconectada con la carretera TA-642 y la vía costanera el cual es transitada hacia la región de Moquegua, región Arequipa y el resto del norte de nuestro país. Se evidencia el incremento de los flujos vehiculares, por otro lado, también hay que analizar los productores de olivos, sandías, caña de azúcar, naranjas, paltas y otros frutales de exportación, así como el consumo regional local, los envíos de exportación a Chile utilizan camiones pesados de tres o cuatro ejes, deteriorando más fácilmente la carretera TA-644, porque el tráfico de los camiones daña fácilmente la estructura del pavimento, de acuerdo a investigaciones efectuadas en el gobierno local de Yarada Los Palos y el Gobierno Regional de Tacna (mantenimiento periódico efectuado el año 2011), la carretera TA-644, no está diseñado para ese tipo de tráfico, por eso la capa asfáltica se ve deteriorada con presencia de varios tipos de fallas, peor aún la carretera no presentan ningún tipo de mantenimiento por lo que el deterioro del pavimento es evidente, lo que culminará en una rehabilitación y/o reconstrucción de la carretera TA-644.

La capa asfáltica de la carretera TA-644 desde el cruce de la Carretera Nacional PE-1S hasta el cruce con la TA-642 ha experimentado daños y deterioro considerables, por lo que su identificación y análisis será uno de los objetivos de la investigación,

obteniendo su estado del pavimento y el índice de rugosidad. El valor del IRI determina en última instancia la transitabilidad del vehículo, para lo cual utilizaremos el método de índice del estado de la carretera y uso de software ABAKAL IRI para teléfonos inteligentes.

La figura 1 muestra el tramo correspondiente a la zona de estudio TA-644

Figura 1

Zona de estudio TA-644, L = 9,8 km



Nota. Tramo de estudio resaltado de tonalidad azul, tomado del Google Earth.

A continuación, en las figuras 2,3,4,5 y 6, se evidencia las fallas más representativas del tramo de estudio TA-644,

Figura 2

Zona de estudio, en fallas presentes - huecos



Nota. Inicio de la zona de investigación TA-644.

Figura 3

Zona de estudio visualización de huecos de alta severidad



Nota. Falla típica presente en toda la zona de investigación.

Figura 4

Zona de estudio, aparición de huecos



Nota. Tipo de falla predominante a lo largo de la calzada.

Figura 5

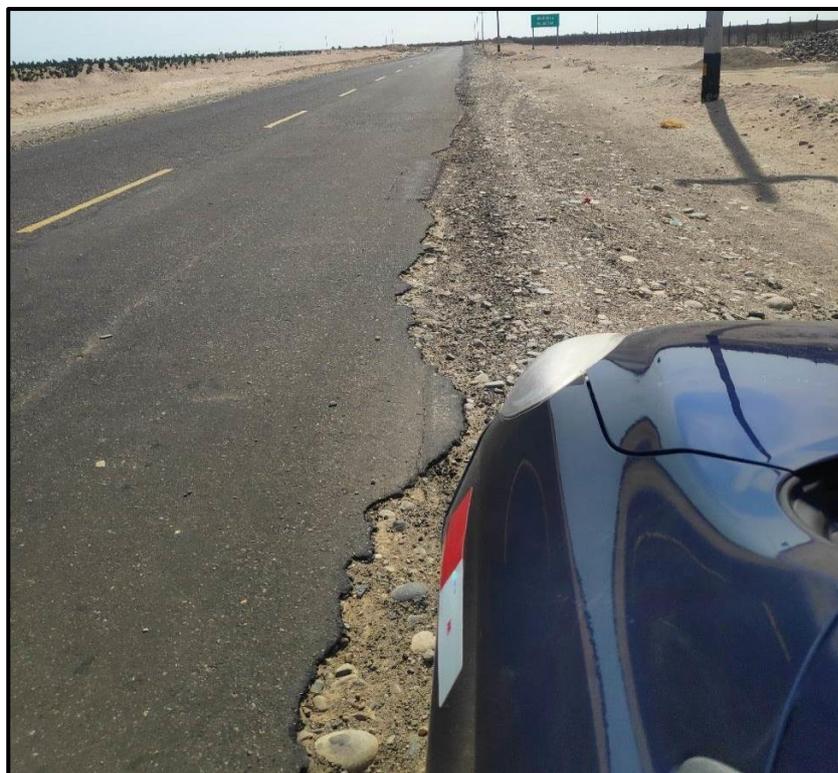
Zona de estudio, cruce de línea férrea



Nota. Se observa deterioro superficial de severidad alta.

Figura 6

Zona de estudio, condiciones de la calzada - berma



Nota. Se visualiza daños de grieta de borde a lo largo de la calzada.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo afecta la condición actual mediante ensayos no destructivos de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, en la mejora de la transitabilidad vehicular, Tacna - 2023?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿Cómo la metodología del PCI permitirá la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023?
- b. ¿Cómo la metodología del ABAKAL IRI permitirán la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023?
- c. ¿Cómo el valor de la transitabilidad vehicular determinado permite su mejora en función del valor PCI y el valor IRI calculado en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023?

1.3 Justificación e importancia

Este estudio se centra en el análisis de las fallas y la rugosidad de la capa de rodadura de la carretera TA-644, en el tramo desde el empalme con la carretera nacional PE-1S hasta el empalme con el TA-642. El objetivo es obtener el PCI y el IRI, indicadores que ayudarán a determinar la transitabilidad vehicular y a generar programas de intervención, incluyendo la rehabilitación y/o reconstrucción de la vía.

La utilización de la aplicación para teléfonos inteligentes debe ser utilizados como la metodología moderna que conllevan a obtener el valor IRI en tiempo y costo bajísimo, los cuales deben ser operados por los ingenieros carreteros como un método eficiente en la determinación del valor IRI.

1.3.1 Justificación social

Basado en la evaluación del estado del pavimento, se proponen soluciones para mejorar la deficiente conservación de la carretera TA-644, con el objetivo de aumentar el confort y la seguridad de los usuarios de la vía.

1.3.2 Justificación práctica

El uso de los aplicativos ABAKAL IRI y otros deben ser manejados por los ingenieros civiles, por que determinan valores confiables en sus resultados, que ayudan a analizar la transitabilidad vehicular para proponer alternativas de solución en el diseño, en la rehabilitación y en la reconstrucción de carreteras. Las fallas significativas en la capa de la carretera pueden llevar a un aumento en el consumo de combustible y al desgaste de los vehículos que transitan por ella.

1.3.3 Justificación metodológica

En línea con los objetivos de este estudio, se utilizó la CE-010 manual de pavimentos y protección vial urbana, seguido de las metodologías del pavement condition index y la metodología del ABAKAL IRI, que viene a ser una aplicación para smartphone, que ayudan a determinar el valor PCI y el valor IRI, donde los resultados contribuyen a la solución de mejora en la transitabilidad vehicular.

- a. El estudio es viable, porque se cuenta con el conocimiento teórico y práctico de las metodologías, los equipos de campo y la asesoría técnica para desarrollar las actividades para determinar los resultados del estudio.
- b. El estudio es viable, porque cuenta con el financiamiento que se requiere para desarrollar el trabajo de campo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la condición del pavimento mediante ensayos no destructivos de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, para proponer mejoras en la transitabilidad vehicular, Tacna - 2023”.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Determinar el valor PCI para la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.

- b. Determinar el valor IRI para la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.
- c. Determinar el valor de la transitabilidad vehicular en función del valor PCI y el valor IRI para su mejora en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La aplicación de ensayos no destructivos permitirá una evaluación de la condición del pavimento de la carretera TA- 644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, proponiendo soluciones efectivas para mejorar la transitabilidad vehicular, Tacna - 2023.

1.5.2 Hipótesis específica

- a. La determinación del valor PCI presenta deterioros significativos que afectan la transitabilidad vehicular de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp- TA-642, Tacna - 2023.
- b. La determinación del valor IRI presenta deterioros significativos que afectan la transitabilidad vehicular de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp- TA-642, Tacna - 2023.
- c. El valor de la transitabilidad vehicular determinado mediante el valor PCI y valor IRI en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp- TA-642, Tacna, 2023, permitirán caracterizar el tipo de mantenimiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Los antecedentes referidos al estudio mediante la revisión bibliográfica de artículos científicos, tesis de pregrado, para la evaluación de fallas superficiales y estructurales utilizando métodos PCI y la aplicación ABAKAL IRI para teléfonos inteligentes como se muestra a continuación:

2.1.1 Artículos científicos

En el artículo científico titulado “Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en la metodología del rugosímetro de MERLIN” publicado en scielo, donde define que la determinación del valor IRI, es decir el índice de rugosidad donde considera importante la ayuda para determinar la clasificación de la condición de la capa de rodadura. Considerando las pruebas ejecutadas por el MERLIN se obtuvieron resultados satisfactorios, reduciendo los costos de operación y el tiempo para procesar los datos (Alvarez y Rivero, 2021).

En el artículo científico titulado “SmartRoadSense”. La evaluación de las condiciones superficiales de una carretera es fundamental actividad en la gestión vial. La mayoría de los métodos utilizan sensores costosos integrados en vehículos. En este artículo, describimos el diseño de un sistema de colaboración seguimiento de la calidad de la superficie de la carretera. La arquitectura general abarca la integración de una aplicación móvil personalizada, un sistema de base de datos georreferenciado y un front-end de visualización. La condición superficial de la carretera se obtiene utilizando algoritmos de procesamiento que se ejecutan en teléfonos inteligentes. El enfoque propuesto introduce un sistema completamente integrado adecuado para la monitorización de aplicaciones en un entorno colaborativo y escalable (Alessandroni, 2014).

En el artículo científico titulado “Medición de la rugosidad del pavimento mediante una aplicación de teléfono inteligente basado en Android”, donde determina el valor IRI de la capa superficial y ellos afectan negativamente la calidad de conducción de un vehículo. La rugosidad afecta los tiempos de demora de los vehículos, mayor consumo de combustible, y desgaste de las llantas y los costos de mantenimiento. La rugosidad se caracteriza principalmente por el índice de rugosidad internacional (IRI), que a menudo se mide con perfiladores inerciales. Los perfiladores inerciales están

equipados con acelerómetros sensibles, un láser de medición de altura y un instrumento de medición de distancia para medir los datos de aceleración vertical del vehículo y el perfil del pavimento. Los teléfonos inteligentes modernos están equipados con varios sensores, incluido un acelerómetro de tres ejes, que se utilizó en este proyecto para recopilar datos de aceleración del vehículo con una aplicación basada en android. Los resultados de la validación inicial sugieren que la aplicación para teléfonos inteligentes recientemente desarrollada puede medir el IRI con una buena correspondencia con el perfilador inercial y con una buena repetibilidad. Sin embargo, la calibración es necesaria para las secciones de pavimento más rugosas porque las técnicas de análisis actuales no tienen en cuenta directamente la amortiguación de la aceleración resultante de los sistemas de suspensión de los vehículos según (Islam et al., 2014).

En el artículo científico titulado “Medición de la rugosidad del pavimento mediante una aplicación de teléfono inteligente basado en Android”, indica que todos los teléfonos inteligentes de hoy en día están integrados con muchos sensores útiles. Los sensores están diseñados originalmente para hacer que la interfaz de usuario y las aplicaciones de los teléfonos inteligentes sean más convenientes y atractivas. Este estudio explora el uso de datos recopilados por sensores de teléfonos inteligentes en entornos dentro de un vehículo en movimiento, para evaluar su relación con la rugosidad real del pavimento de la carretera. Se ha realizado un experimento para recopilar información de los sensores de aceleración y GPS del smartphone. Se ha revelado que los datos de los acelerómetros de teléfonos inteligentes tienen una relación lineal con la condición de aspereza de la carretera, mientras que la fuerza de la relación varía en diferentes rangos de frecuencia. Los resultados de este documento también confirman que los sensores de los teléfonos inteligentes tienen un gran potencial para determinar la condición superficial del pavimento (Douangphachanh y Oneyama, 2013).

En el artículo científico titulado “Estudo da condição de superfície em rodovias por meio do uso de aplicativo para smartphone”, determina las condiciones de la superficie de las carreteras pavimentadas y no pavimentadas con hormigón asfáltico se analizaron utilizando un aplicativo para smartphone denominado roadroid. Las características de condición superficial consideradas están relacionadas con la textura y el deterioro de la capa de rodadura. También se observó que las condiciones de la superficie analizadas por la aplicación del teléfono inteligente eran similares a las proporcionadas por las agencias de carreteras y los tramos de la carretera con mayores valores de coeficiente de variación tenían un alto número de fallas, especialmente parches y baches. Se espera de este análisis resultados fiables mediante el uso de

teléfonos inteligentes, para la buena toma de decisiones según (Cavalcante et al., 2018).

2.1.2 Tesis

Según Niño y Torres (2021), “Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la Av. Sáenz Peña, JLO”. Investigación que busca utilizar el IRI y PCI para realizar evaluaciones de superficie de pavimentos flexibles y hacer recomendaciones de reparación o mantenimiento para evitar molestias al tráfico de vehículos. Según los resultados obtenidos mediante el método PCI para evaluar el pavimento, se identificaron 8 tipos de fallas, siendo la más común la pérdida de agregado del pavimento, la cual representó el 34,00 % y tuvo una severidad baja. El valor del PCI se determinó en 39,39 %, clasificándolo como malo. Utilizando el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un valor IRI de la superficie de 5,46 m/km, indicando una rugosidad deficiente. Ambos métodos coinciden en calificar el estado del pavimento como malo.

Según Huacre y Simarra (2021), “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular debido al deterioro del pavimento rígido en avenida Aviación, distrito Manantay - Coronel Portillo – Ucayali 2021”. Investigación que busca el mejoramiento del tránsito vehicular en el boulevard aviación debido al deterioro del pavimento rígido resultó en un 60,94 % de deterioro de juntas, un 26,56 % de grietas superficiales y, en el caso del deterioro superficial, un 0,68 % de paneles. El 18,75 % encontró fallas por otras degradaciones, siendo la falla más significativa el levantamiento local, con un 60,94 % y un 17,97 % presentando articulaciones y un 9,38 % presentando articulaciones desprendiéndose. Entre las grietas, las grietas de las esquinas representaron el 26,56 %, las grietas superficiales representaron el 10,94 % y las grietas transversales representaron el 15,63 %. hacer recomendaciones para solucionar estos fallos.

Según Staniek (2021), “Road pavement condition diagnostics using Smartphone-Based data crowdsourcing in smart cities”. La investigación tiene como objetivo utilizar datos de teléfonos inteligentes en los sistemas de tráfico para analizar las condiciones de la superficie de la carretera. Las herramientas desarrolladas por los autores en su investigación pueden identificar y evaluar los defectos de la superficie analizando la dinámica de los movimientos de vehículos en la red vial. Los usuarios del sistema de transporte que poseen teléfonos inteligentes pueden recopilar datos sobre la aceleración lineal, velocidad y posición del vehículo, y enviar esta información a los servidores de datos RCT, donde se procesa para evaluar el estado funcional de la

carretera. La solución permite un monitoreo global continuo del estado de la infraestructura vial para muchos usuarios del sistema de transporte, asegurando evaluaciones actualizadas.

Según Gonzalo y Beingolea (2021), "Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de MERLIN para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la Av. Internacional, Tacna - 2021". El objetivo del estudio es evaluar la rugosidad de un pavimento flexible utilizando la aplicación ABAKAL en teléfonos inteligentes y el rugosímetro MERLIN. Se obtuvo un valor de IRI de 4,07 m/km para la vía derecha y de 5,14 m/km para la vía izquierda, con un IRI ponderado de 4,60 m/km, lo cual clasifica la rugosidad como mala. Para obtener los valores IRI con la aplicación ABAKAL, se utilizó un dispositivo Samsung Galaxy Note 10, obteniendo valores de IRI de 4,38 m/km para la calzada derecha y de 4,44 m/km y 4,49 m/km para la calzada izquierda. Demostrar la confiabilidad de los valores IRI obtenidos por la aplicación y compararlos con MERLIN.

Según Guzmán (2017), "Evaluación superficial del pavimento flexible de la Av. Jorge Basadre Grohmann del distrito de Pocollay tramo Av. Jorge Basadre Grohmann Este – Av. Basadre y Forero, aplicando el método del PCI". El método PCI comienza recopilando visualmente datos sobre la patología y la severidad. Luego, esta información se procesa mediante ecuaciones y un ábaco para obtener un valor numérico de 0 a 100. Según este valor, el estado de la carretera se clasifica como insatisfactorio, malo, muy malo, regular, muy bueno o excelente. Se ha determinado el estado del pavimento flexible en Av. Jorge Basadre Grohmann Este – Av. Basadre y Forero, tramo 1 en buen estado, tramo 2 en buen estado, tramo 3 en buen estado, tramo 4 en muy buen estado, la sección 5 en buen estado, la sección 2 está en buen estado, la sección 1 está en buen estado, la sección 2 está en buen estado, la sección 3 está en mal estado, la sección 4 está en regular estado, la sección 5 está en regular estado, La sección 6 está en buenas condiciones.

Según Zapata (2017), "Determinación y evaluación de las patologías del pavimento flexible de la calle Lima del asentamiento humano San Pedro, distrito Piura, provincia de Piura y departamento de Piura, noviembre 2017". Su propósito es evaluar y determinar la incidencia de los daños existentes en el pavimento flexible de la calle Lima en el asentamiento humano de San Pedro, distrito de Piura, con el fin de obtener un índice del estado actual y condición del pavimento. Para evaluar la condición patológica del pavimento flexible de la calle Lima, el área de estudio se fragmentó en 21 muestras, cada una abarcando 228,6 metros cuadrados. Se aplicó el método PCI para evaluar estas unidades, llevando a cabo un análisis visual detallado para identificar todos los tipos de defectos presentes en el pavimento, evaluando tanto el área afectada

como la gravedad de los mismos. El PCI fue del 56,14 % y la capa de rodadura se encontraba en buen estado. El principal fallo del pavimento flexible es el pulido de los áridos, que tiene un impacto menor en la degradación del pavimento.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Transitabilidad

"Transitabilidad" se refiere a la condición en la que un camino específico está abierto para su uso, lo que significa que no está cerrada al tráfico público debido a "emergencias viales". Durante estas situaciones, uno o más puntos a lo largo de la ruta pueden estar cerrados debido a graves daños causados por fuerzas naturales como deslizamientos de tierra provocados por saturación de agua (huaicos), caída de rocas, pérdida de la estructura vial, erosión, entre otros. Estos problemas tienen un gran impacto en la vida de las personas en el país y suelen ocurrir con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias (Pomasonco de la Cadena, 2010).

2.2.2 Serviciabilidad

La capacidad de servicio del pavimento se refiere al nivel de satisfacción percibido por los usuarios. Por lo tanto, es crucial considerar sus opiniones para evaluar la calidad del pavimento. Medir la calidad de un pavimento presenta desafíos conceptuales porque varía según la evaluación que se realice, ya sea enfocándose en su condición estructural o funcional de la superficie. Incluso si se aborda este problema, si no se utilizan herramientas o métodos de evaluación estandarizados, los resultados pueden no ser comparables con mediciones realizadas por otros.

Tabla 1

Rango del PSI

PSI	Calidad
5	Muy buena
4	Muy buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota. Se observa rangos que son tomados de la guía AASHTO.

Para evaluar el desempeño en servicio de un pavimento utilizamos un parámetro llamado PSI (serviciabilidad), que determina la condición superficial actual en servicio del pavimento. Este concepto fue introducido en 1957 por las pruebas de carreteras de la AASTHO. En la tabla 1, se evalúa el PSI utilizando un rango de 0 a 5, correspondiendo las condiciones óptimas al valor máximo según Pomasonco de la Cadena (2010).

2.2.2.1 Determinación de la serviciabilidad en función del IRI

Los datos de campo de la sección estudiada deben ser recolectados según el intervalo de desviación especificado. Posteriormente, se calcula el rango "D" para entender cómo están distribuidas las lecturas obtenidas, y se aplican los factores de corrección adecuados según la calibración del equipo utilizado. (Sologorre, 2005).

Tabla 2, presenta los valores IRI de los diferentes países

Tabla 2

Rango de transitabilidad

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

Nota. Escala del PSI tomada de Sachún (2016)

2.2.2.2 Escalas en función del IRI

Tabla 3

Rango IRI específico por país

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

Nota. Dato estadístico por país tomado de Alvarenga (2002)

El IRI se mide en m/km y oscila entre 0 y 20 m/km, en la tabla 3 se presenta el rango de rugosidad de 0 m/km superficie de carretera perfecta y 20 m/km superficie de carretera muy mala.

2.2.3 Estado de conservación del pavimento

La referencia al pavimento considera a la estructura cuya finalidad es absorber las fuerzas del tránsito debido al movimiento de los vehículos. Se entiende que cuando el tráfico vehicular aumenta por diversas razones, genera un daño de la capa de rodadura, lo que resulta en un deterioro (Yang, 2004).

2.2.3.1 Evaluación de pavimentos

La evaluación nos permite detectar y corregir el deterioro de la superficie para mejorar la transitabilidad para los usuarios.

Realizar evaluaciones periódicas de pavimentos también ayuda a prever la durabilidad de tu red vial. Además, una evaluación temprana del pavimento puede optimizar los costos de reparación, ya que al abordar las fallas rápidamente se prolonga la vida útil, lo que genera ahorros significativos (Martínez, 2015).

2.2.3.2 Importancia de evaluación de pavimentos

La evaluación nos permite ser conscientes del deterioro presente en la superficie y corregirlo de forma que proporcione la mejor transitabilidad al usuario.

Realizando evaluaciones periódicas de los pavimentos predice el nivel de vida de tu red vial. Una evaluación del pavimento también puede optimizar los costos de reparación porque si la falla se aborda tempranamente, la vida útil se extenderá, lo que resultará en mayores ahorros (Salvatierra, 2017).

2.2.3.3 Tipo de fallas en los pavimentos

Los deterioros del pavimento pueden ser clasificados en dos categorías principales: deterioros superficiales y deterioros estructurales (Quintanilla, 2018).

a) Mantenimiento

Se refieren a actividades y acciones periódicas, programadas o de emergencia, que tienen como objetivo asegurar que la infraestructura vial mantenga las

condiciones necesarias en términos de superficie, funcionamiento, estructura y seguridad, para asegurar la satisfacción general de los usuarios y gestionar el tráfico de manera efectiva (Vidal, 2015).

- **Mantenimiento rutinario**

Pequeñas actividades y obras, permanentes y frecuentes, que tienen como finalidad preservar principalmente la capa de rodadura que es la parte superficial de la vía, aportando al cumplimiento de su vida útil de diseño, sin causar impactos significativos sobre la infraestructura vial. La evolución natural de una estructura que reduce su capacidad debido a requisitos de carga previstos por el diseño u otros factores (Martínez, 2015).

- **Mantenimiento periódico**

Obras temporales, infrecuentes, preventivas y de gran envergadura realizadas según lo previsto o en determinadas condiciones predeterminadas para retrasar en el tiempo la evolución natural del estado estructural, el estado funcional o el deterioro del estado estructural. La calidad del proceso de desgaste y la seguridad del estado de la infraestructura vial permiten prolongar su vida útil más allá del período para el cual fue diseñada inicialmente. El mantenimiento regular incluye el tratamiento y renovación de las superficies de rodadura (Martínez, 2015).

- **Rehabilitación**

Actividades requeridas para restaurar una estructura de pavimento a las condiciones de carga cuando se construyó originalmente y a los niveles de servicio en términos de seguridad y comodidad. Los pavimentos pueden presentar dos tipos de mantenimiento: superficial y estructural.

Por lo tanto, el objetivo de la repavimentación es colocar una delgada capa de mezcla asfáltica, ya sea en frío o en caliente, sobre la superficie actual. Esta solución es rápida de implementar y causa un impacto mínimo en los usuarios de la vía. Las reparaciones estructurales pueden conducir a una reconstrucción integral (Martínez, 2015).

2.2.4 Método pavement condition index

2.2.4.1 Método PCI

El índice de condición del pavimento (PCI) es el método de modelado de gestión de carreteras más completo disponible actualmente para la evaluación objetiva y calificación de pavimentos flexibles y rígidos. La implementación de este método es sencilla y no requiere herramientas especializadas distintas a las que constituyen el sistema.

El deterioro de la estructura del pavimento está vinculado al tipo, la severidad y la cantidad o densidad de los daños, como se detalla en la tabla 4. El desarrollo de un índice que considere estos tres factores ha sido desafiante debido a la diversidad de situaciones posibles.

Para superar esta dificultad, se introdujeron "valores derivados" como factores de ponderación prototipo para indicar en qué medida las combinaciones de los tipos de daño, severidad y densidad afecta la condición del pavimento (Vásquez, 2002).

Tabla 4

Rangos valor PCI

PCI	Clasificación
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Nota. Niveles de calificación según su rango que determina Vásquez (2002)

Los valores PCI se derivan de un examen visual de las condiciones del pavimento, el cual evalúa la categoría, gravedad y cantidad de cada tipo de daño. El PCI se ha diseñado para proporcionar un índice que refleje la integridad estructural y la

salud del pavimento. Este método ofrece información sobre las fallas del pavimento y cómo estas se relacionan con el tráfico o el clima (Vásquez, 2002).

2.2.4.2 Severidad

Según Corros (2015), La severidad indica la gravedad del deterioro; cuanto más grave sea, más necesario será realizar correcciones. Por lo tanto, es crucial evaluar la calidad del viaje, es decir, la percepción de los usuarios que se desplazan a velocidades normales en vehículos. En este sentido, se presentan directrices generales que ayudan a determinar la gravedad del tráfico:

- **Bajo (L):** Se sienten vibraciones en el vehículo, no es necesario reducir la velocidad por motivos de seguridad y comodidad. La presencia de hoyos individuales puede hacer que el vehículo rebote ligeramente pero no causarán molestias.
- **Medio (M):** Cuando hay vibraciones notables, es importante disminuir la velocidad para asegurar la seguridad y el confort. También se mencionan baches individuales que causan incomodidad.
- **Alto (H):** Por motivos de comodidad y seguridad, una vibración excesiva puede reducir significativamente la velocidad. Saltos personales que causan gran molestia y peligro o daños graves al vehículo.

2.2.4.3 Extensión

Vásquez (2002), recomienda que, durante las operaciones de campo, el camino se divida en tramos y no excederá de $230\text{m}^2 + - 93\text{ m}^2$ bajo ninguna circunstancia.

2.2.4.4 Cálculo de unidades de muestras mínimas

Para obtener suficientes datos estadísticamente significativos, emplee la fórmula para calcular el número mínimo de unidades de muestra "n" que se examinarán en una sección específica y luego redondee este valor "n" al siguiente número entero (Vásquez, 2002).

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \quad (1)$$

Dónde:

n: Número de muestras mínimas

N: Número total de muestras.

e: Error admisible (e= 5 %).

σ : Desviación estándar del PCI, valor 10

Si el número de unidades de muestreo es menor a 5, todas las unidades deben ser seleccionadas para su evaluación.

2.2.4.5 Cálculo de intervalo de muestreo

Vásquez (2002), dice que una vez determinado el número de unidades de muestra a inspeccionar, se debe utilizar una muestra aleatoria sistemática para calcular el espaciado de las unidades.

Las muestras deben estar colocadas de manera uniforme a lo largo de toda la sección, comenzando con la selección aleatoria de la primera muestra. El espaciado "i" entre las unidades de muestreo se calculará utilizando la fórmula proporcionada, y el resultado se redondeará al entero más pequeño siguiente.

$$i = \frac{N}{n} \quad (2)$$

Dónde:

N: Número total de muestras.

n: Número mínimo de muestras.

i: Intervalo entre muestras.

2.2.4.6 Determinación de VD

Según Vásquez (2002), la inspección de la unidad elegida debe ser registrada de manera individual, y se deben anotar el tipo, la gravedad y el número de fallas

detectadas en un formulario de campo. Este proceso se repite para cada unidad de muestra, tal como se detalla en la tabla 5.

Tabla 5

Hoja de registro PCI

N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido (VD)
3	AB	H	45,10	12,25			
7	GB	H	8,00	4,00			
9	DCB	M	20,00				
10	GLT	H	4,00	8,00			
11	PA	H	4,54	4,85	2,00		
12	PUA	M	96,00				
13	BA	H	4,00				

Nota. Ejemplo de valores registrados en campo según Vásquez (2002).

- **Determinación del m_i**

Organice los valores de deducción obtenidos previamente de mayor a menor, calcule el número máximo de valores de deducción (m) según la siguiente expresión y utilícelo como el nuevo número de valores de deducción (Vásquez, 2002).

$$m_i = 1,00 + \frac{9}{98}(100,00 - HDV_i) \quad (3)$$

Para:

Mi: Número máximo permitido de valores derivados (incluidas fracciones) por cada unidad de muestra.

HDVi: Máximo valor deducido.

2.2.4.7 Determinación valor máximo VDC

Este valor se calcula mediante un proceso iterativo que implica determinar el número de valores derivados que superan 2, denominado "q" (volumen de datos), y luego sumar todos los valores derivados para obtener el valor total. Para obtener el valor de VDC, se utiliza la tabla 6 y se repite el proceso reduciendo gradualmente los valores más bajos hasta que todos los valores sean igual o mayores a 2. Luego, se utiliza un ábaco para calcular el correspondiente valor de VDC, combinándolo con una tabla adicional para seleccionar el valor máximo estimado corregido (DC) (Vásquez, 2002).

Tabla 6

Formato para obtener el valor máximo deducido ajustado

N°	Valores Deducidos	VDT	q	Valor deducido corregido
#				

Nota. Detalles de variables mínimas para determinar el VDC según Vásquez (2002).

2.2.4.8 Determinación PCI por unidad de muestra

El máximo valor VDC permite determinar el PCI utilizando la expresión siguiente:

$$PCI = 100 - \text{máx. CDV} \quad (4)$$

Dónde:

máx. CDV = Máximo valor deducido corregido

PCI = Índice de condición de pavimento.

2.2.4.9 Calificación del pavimento en función del valor PCI

Resumida las acciones a considerar en función de los valores de PCI calculados para cada tramo. También se tiene en cuenta el estado del firme asociado a este mismo valor, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Intervención en función del PCI

PCI	Estado	Intervención		
AB	H	45,10	12,25	
GB	H	8,00	4,00	
DCB	M	20,00		
GLT	H	4,00	8,00	
PA	H	4,54	4,85	2,00
PUA	M	96,00		
BA	H	4,00		

Nota. Determinado por Shahin (2005).

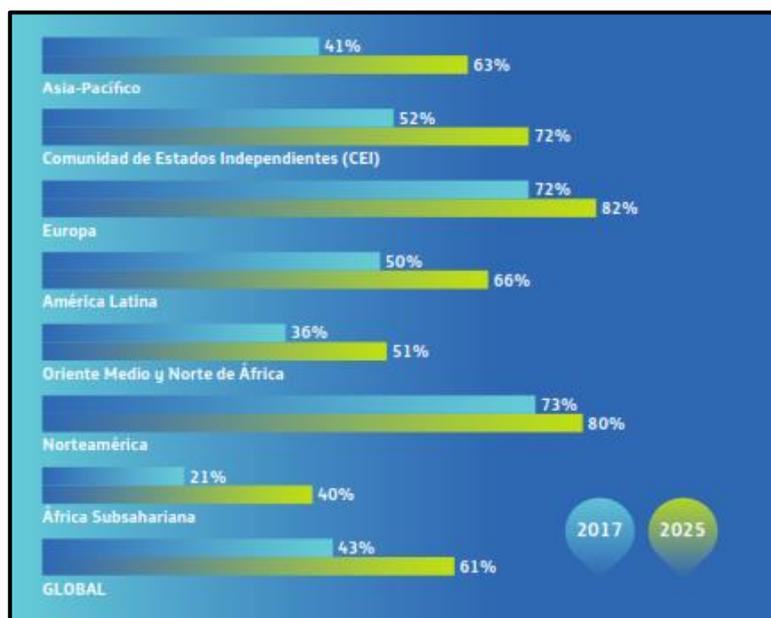
2.2.5 Aplicación de los teléfonos inteligentes

En los últimos diez años, el crecimiento en la adopción de teléfonos inteligentes ha resultado en más personas accediendo a Internet mediante dispositivos móviles en lugar de computadoras fijas.

Se proyecta que para 2025, más del 60 % de la población mundial estará conectada a través de teléfonos móviles. En regiones como Europa (82 %) o América del Norte (80 %), se espera que esta cifra sea aún más alta según las previsiones (Telefónica, 2019)

Figura 7

Usuarios que se conecta a internet utilizando el smartphone



Nota. Diagrama de barras obtenido de GSMA (2021).

En julio de 2008, Apple lanzó la App Store en iTunes, seguida por Google, que abrió Google Play (antes conocido como Android Market) en octubre del mismo año.

Estas plataformas en línea permiten a los usuarios de los sistemas operativos iOS y Android descargar una amplia variedad de programas o aplicaciones para dispositivos móviles, algunas gratuitas y otras de pago.

En la actualidad, las aplicaciones para teléfonos inteligentes son parte integral de nuestra vida diaria. Nos permiten jugar, hacer operaciones bancarias, comprar en línea, interactuar en redes sociales, pedir comida a domicilio, monitorear nuestra actividad física, solicitar servicios de transporte con conductor, realizar cálculos estadísticos, calcular materiales de construcción, entre muchas otras funciones útiles. (Telefónica, 2019)

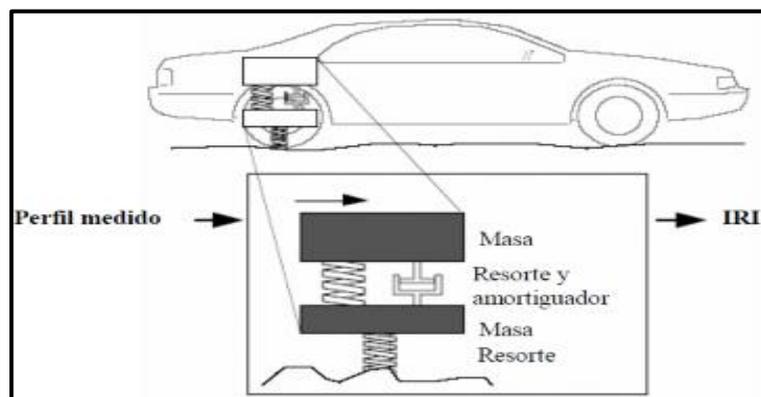
2.2.5.1 Aplicación ABAKAL IRI

Según ABAKAL (2020), aplicativo Android, establece que en el cálculo de la rugosidad se utilizó un sensor de aceleración y el GPS Android del teléfono inteligente, y los resultados obtenidos fueron un informe de valores de IRI por 100 m. y un gráfico en Google Maps.

El modelo empleado para calcular la rugosidad es el de cuarto de coche, que simula las ruedas traseras utilizando masas estándar, amortiguadores y muelles con coeficientes estándar. Este modelo representa la masa total del vehículo, las masas individuales de las ruedas, la amortiguación y la flexibilidad de los neumáticos, como se ilustra en las Figuras 8 y 9. El modelo mide el desplazamiento vertical debido a las irregularidades en el perfil longitudinal.

Figura 8

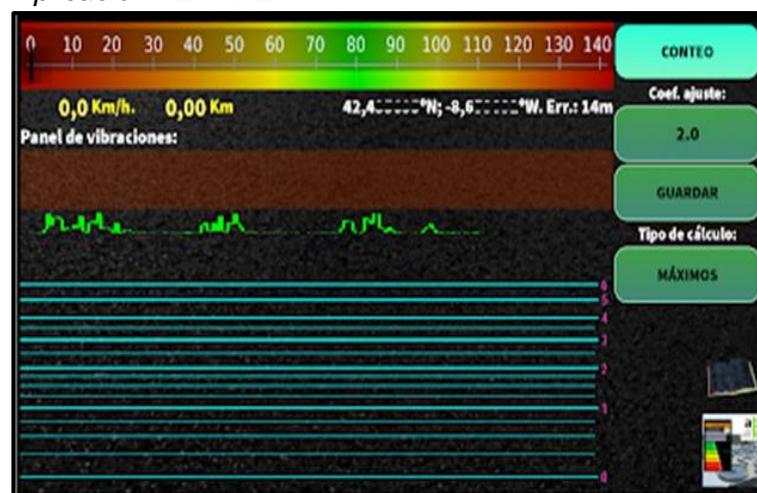
Modelo de cuarto de coche



Nota. Parámetros para definir el IRI según Sayers y Karamihis (1998).

Figura 9

Aplicación ABAKAL.



Nota. Pantalla principal del aplicativo ABAKAL (2020).

a) Velocidad de ensayo

Mantener constante y centrado entre 60 km/h y 80 km/h, por lo que el velocímetro marca en verde el perímetro de dicha velocidad.

b) Ubicación del Smartphone en el vehículo

Coloque su teléfono inteligente contra el parabrisas para su operación, calibración, ajuste y recopilación de datos mediante métodos estadísticos o en la mayor medida posible.

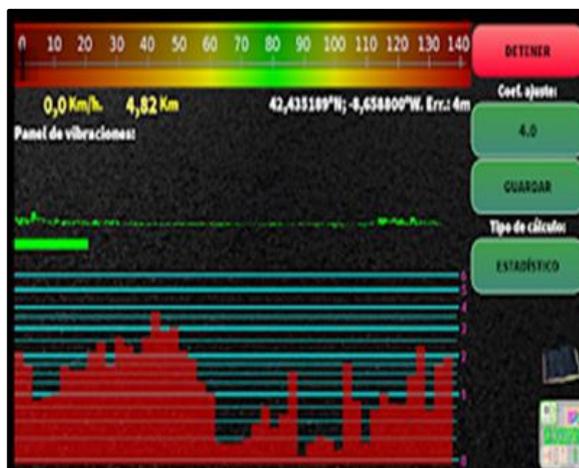
c) Tipos de calculo

Al determinar los valores de IRI a través de la aplicación ABAKAL se utiliza el método máximo, que establece límites por los cuales se ponderan las pruebas. Reducir las restricciones implica incrementar las pruebas correspondientes. Por lo tanto, el factor de ajuste varía de manera inversamente proporcional al peso de las pruebas. En contraste, los métodos estadísticos se fundamentan en los pesos relativos de primer y segundo orden de las vibraciones transmitidas desde el vehículo al dispositivo. El factor de ajuste modifica el peso de manera creciente o decreciente.

Es difícil determinar cuál sistema es superior para los sistemas tandem de vehículo a smartphone. Por consiguiente, es esencial comparar los resultados con otro IRI externo y seleccionar el sistema más óptimo en cada situación. Si se cambia de vehículo o smartphone, es necesario repetir estos procedimientos. La representación se encuentra en una escala logarítmica vertical en el gráfico posterior.

Figura 10

Formas de cálculo, estadístico y máximos.



Nota. Pantalla principal obtenida de aplicativo ABAKAL (2020).

d) Resultados de la aplicación ABAKAL

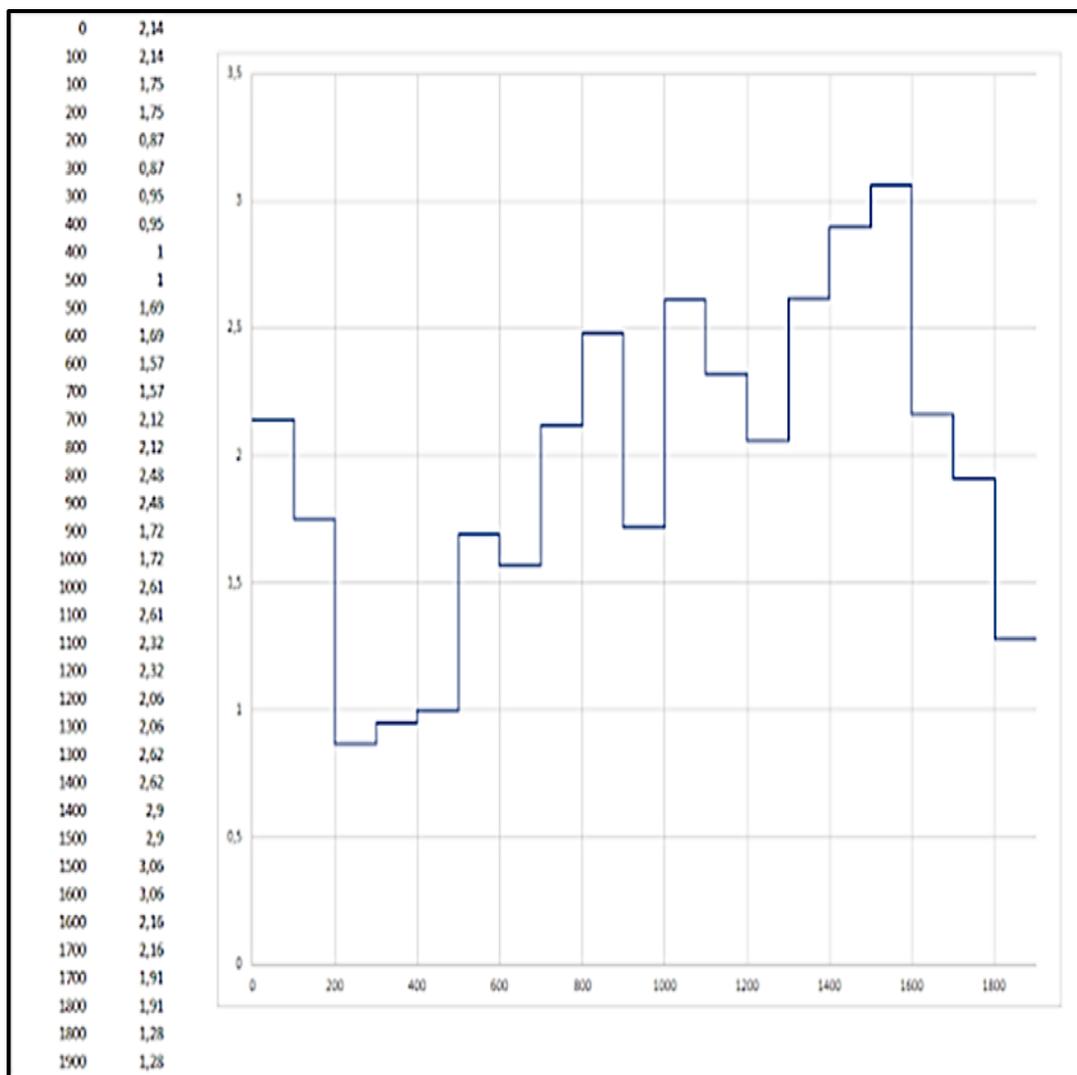
La aplicación ABAKAL genera tres tipos de archivos que se almacenan en el directorio "/storage/0/Abakal/IRI".

En la Figura 11, se presenta el archivo de informe IRI.csv, el cual puede ser abierto como una hoja de cálculo en Excel, lo que es crucial porque permite representarlo gráficamente.

El archivo IRI.kml se puede visualizar como un gráfico en Google Earth.

Figura 11

Archivo IRI.csv.



Nota. Registro brindado por el manual del aplicativo ABAKAL (2020).

En la tabla 8 se exhibe el archivo de informe IRI2.csv, presentado en formato de tabla de control

Tabla 8

Archivo IRI2.csv. resultados

Latitud	Longitud	Altitud	Velocidad	Desplazamiento	Valor IRI
42,453633	-8,677348	110	75,35	0	2,14
42,454028	-8,676213	108	75,82	100	1,75
42,454396	-8,675086	114	72,00	200	0,87
42,454814	-8,673987	119	73,30	300	0,95
42,455341	-8,672945	124	76,32	400	1
42,456012	-8,671988	129	80,24	500	1,69
42,456741	-8,671048	137	78,12	600	1,57
42,457411	-8,670161	142	71,78	700	1,59
42,458005	-8,669230	146	73,55	800	2,12

Nota. Determinación del IRI por cada 100 m. predefinido por el aplicativo ABAKAL (2020).

La figura 12 representa el archivo de informe IRI.kml como una gráfica visualizada en Google Earth

Figura 12

Archivo IRI.kml.



Nota. Imagen de acuerdo al nivel de severidad brindada por el aplicativo ABAKAL (2020).

2.3 Definición de términos

2.3.1 Índice de transitabilidad

Condición del pavimento superficial o rígido percibido por el usuario en un tiempo determinado (Vásquez, 2002).

2.3.2 ABAKAL IRI

Aplicación creada para smartphone, para medir la rugosidad de la carpeta asfáltica (ABAKAL, 2018).

2.3.3 Evaluación superficial

Viene a ser la irregularidad longitudinal y transversal de la rasante del pavimento (Yang H. Haung, 2004).

2.3.4 Índice de condición

Viene a ser la calificación superficial o estructural del pavimento (Shahin, 2005).

2.3.5 Índice de rugosidad

Parámetro de la rugosidad más característico de la condición superficial de la capa de rodadura de un pavimento (Leguía y Pacheco, 2016).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

Esta investigación pertenece a la investigación aplicada con enfoque cuantitativo porque su propósito es orientar la realización de nuevos conocimientos de manera sistemática y metódica, y su único objetivo es ampliar el conocimiento.

3.1.1 Tipo de investigación

Aplicada, porque se orienta a la resolución de problemas específicos utilizando conocimientos y teorías existentes. Su objetivo principal es encontrar soluciones prácticas y efectivas que puedan implementarse en situaciones reales. En el contexto de la carretera TA-644, la investigación busca mejorar la transitabilidad vehicular mediante el uso de ensayos no destructivos para evaluar y proponer mejoras en el pavimento. La investigación aplicada se enfoca en obtener resultados que tengan una utilidad directa y práctica, a diferencia de la investigación básica que se centra en expandir el conocimiento teórico sin una aplicación inmediata

3.1.2 Nivel de investigación

Este nivel de investigación descriptivo se dedica a la descripción precisa y detallada de las características de un fenómeno. No se enfoca en explicar las causas o consecuencias, sino en documentar cómo es el fenómeno en cuestión. En la evaluación del pavimento de la carretera TA-644, el nivel descriptivo se encargará de documentar las condiciones actuales del pavimento, incluyendo su estructura, apariencia, y estado general. Esta descripción detallada es esencial para establecer una base de datos que refleje la situación actual del pavimento.

Este nivel de investigación explicativo, va más allá de la descripción, intentando entender las causas y los efectos de los fenómenos observados. En el caso de la carretera TA-644, la investigación explicativa buscará identificar los factores que contribuyen al deterioro del pavimento y cómo estos factores afectan la transitabilidad vehicular. Se trata de descubrir las relaciones de causa-efecto que expliquen el estado actual del pavimento y los problemas asociados.

3.1.3 Diseño de investigación

En el diseño no experimental, el investigador no manipula deliberadamente las variables independientes. En su lugar, observa los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. Este tipo de diseño es adecuado para estudios donde es imposible o poco ético manipular las variables. En la evaluación del pavimento de la carretera TA-644, se utilizarán métodos de ensayos no destructivos para recoger datos sobre el estado del pavimento sin alterarlo ni intervenir en su funcionamiento natural.

El diseño transversal se caracteriza por la recolección de datos en un solo punto en el tiempo. Esto permite obtener una "instantánea" del estado actual del fenómeno en estudio. Para la carretera TA-644, se realizarán ensayos no destructivos en un momento específico para evaluar la condición del pavimento y los factores de deterioro presentes en ese momento. Este enfoque es útil para realizar un diagnóstico actual y planificar intervenciones basadas en datos contemporáneos.

3.2 Acciones y actividades

Se utilizó el método del Índice de Estado de la Vía para determinar el PCI, utilizando un teléfono inteligente Samsung Note 10 Pro con la aplicación ABAKAL IRI. Inicialmente, se evaluó el índice de condición de la vía y posteriormente se determinó el índice de rugosidad de la vía y su impacto en la transitabilidad vehicular. Estos resultados fueron analizados para evaluar las mejoras necesarias en la carretera TA-644.

Para la ejecución del estudio, se seleccionó inicialmente una zona de investigación que mostrara deterioros en el pavimento que afectaran la transitabilidad vehicular, facilitando así la evaluación del índice de condición y de rugosidad.

Se determinó 15 unidades de muestra: 1, 21, 41, 61, 81, 101, 121, 141, 161, 181, 201, 221, 241, 261 y 281, de acuerdo a la metodología PCI, levantando datos de campo por unidades de muestra como se ve en las figuras, considerando para determinar el valor PCI en longitud total de 9,8 km. y longitud por unidad de muestra de 32 m. y ancho de calzada total de 7,20 m. donde se califica el estado superficial del pavimento y su mejora en la transitabilidad vehicular. La evaluación se efectuó el día 6 de junio de 2023 a partir de las 5:00 horas en la carretera TA-644.

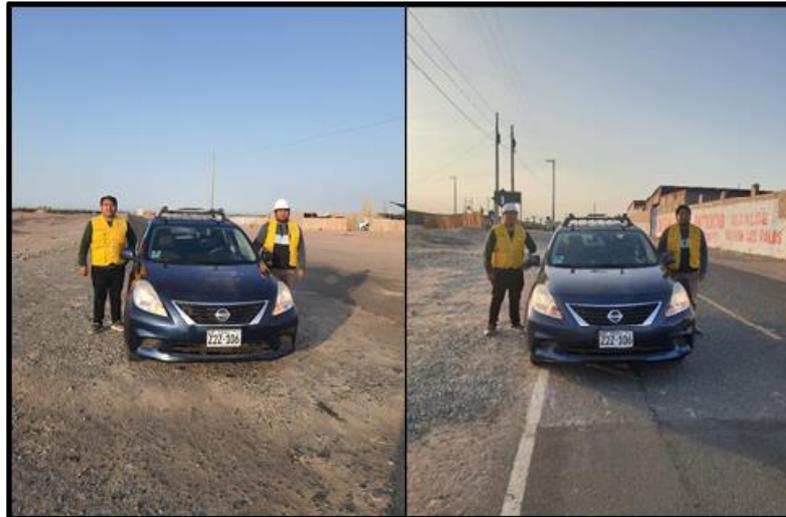
Posterior a lo ejecutado de la metodología PCI, en la determinación del estado de la rugosidad se utilizó la aplicación del ABAKAL IRI para la carretera TA-644, donde se obtiene el valor IRI cada 100 m. en el carril izquierdo y carril derecho de 3,60 m. en

una longitud de 9,8 km, finalmente un ponderado del valor IRI para determinar la transitabilidad vehicular.

En la figura 13, se puede visualizar el punto inicial y final de evaluación en la carretera TA-644.

Figura 13

Unidad vehicular utilizado en la obtención de valor IRI con el aplicativo ABAKAL IRI



Nota. Registro fotográfico del tramo inicial y final de tramo TA-644

En la figura 14, se observa cómo se coloca el teléfono en el parabrisas del vehículo para comenzar la evaluación utilizando la aplicación ABAKAL IRI.

Figura 14

Montaje del teléfono inteligente en la unidad vehicular



Nota. Tipo de posicionamiento suspendido o anclado al parabrisas

En la figura 15, se puede visualizar el aplicativo para la configuración del inicio de la evaluación cada 100 m.

Figura 15

Configuración de la aplicación ABAKAL IRI

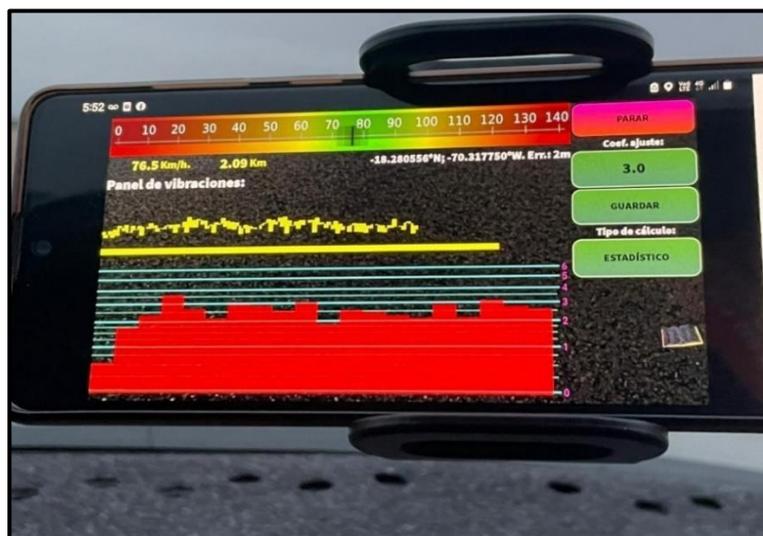


Nota. Tipo de celular usado Samsung Galaxy Note 10 Pro

En la Figura 16, se presenta cómo está configurado el método de cálculo estadístico y el coeficiente de ajuste fijado en 3 en la aplicación ABAKAL IRI

Figura 16

Evaluación del valor IRI usando ABAKAL IRI.



Nota. Registrando la rugosidad a velocidad constante de 60 km/h

Levantado la información de los datos de campo usando un teléfono inteligente mediante la aplicación ABAKAL IRI registra los valores del índice de rugosidad y mediante el método PCI los índices de condición, con lo que podemos determinar la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, posteriormente el tipo de intervención para la mejora.

3.3 Materiales y/o instrumentos

3.3.1 Materiales

- PC, más impresora
- Wincha para mediciones manualmente 50 o 100 m.
- Regla metálica o aluminio
- Plano de muestreo por unidad
- Fichas de observación para PCI

3.3.2 Instrumentos

- Teléfono inteligente Samsung Galaxy Note 10 Pro
- Aplicación ABAKAL
- Guías y formatos de campo
- Cámara fotográfica
- Automóvil para el aplicativo

3.4 Población y muestra de estudio

3.4.1 Población

La población para el estudio viene a ser las carreteras del distrito de la Yarada los Palos, TA-644 y TA-642, vías que se comunican con la ciudad de Tacna, vía costanera sur y la carretera nacional PE-1S el cual comunica al vecino país de Chile, de los cuales es importante analizar las condiciones de transitabilidad vehicular.

3.4.2 Muestra

La muestra de estudio es la carretera local conocida como TA-644, que consiste en una vía de una sola calzada de 7,20 m de ancho total y carriles individuales de 3,60 m cada uno. La longitud evaluada es de 9,8 km, abarcando un tramo donde la capa asfáltica muestra desgaste y diversas fallas que afectan la transitabilidad vehicular. Es relevante realizar un inventario del estado de la vía utilizando dos metodologías: la primera consiste en evaluar el valor PCI, y la segunda en medir el valor IRI de la capa asfáltica mediante la aplicación ABAKAL IRI. Estos análisis permitirán determinar la capacidad de transitabilidad vehicular y proponer soluciones alternativas adecuadas.

3.5 Operacionalización de variables

A continuación, se continua con la tabla 9, que desglosa las variables.

Tabla 9

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Indicadores
Variable independiente:	Definición conceptual: Comportamiento del pavimento, identificando la relación con el nivel de servicio.	– Transitabilidad o serviciabilidad – Análisis funcional
Mejora de la transitabilidad vehicular.	Definición operacional: En función al valor PCI e IRI, utilizando la ecuación de Williams Paterson se determina la transitabilidad.	– Mantenimiento de pavimento – Ciclo de vida del pavimento – Transitabilidad en función del PCI e IRI
Variable dependiente:	Definición conceptual: Métodos que determinan el PCI e IRI, que ayudan al análisis de la transitabilidad vehicular.	– Metodología PCI – Determinación del valor PCI en unidades de muestra
Análisis mediante ensayos no destructivos.	Definición operacional: El aplicativo ABAKAL IRI calcula rugosidad del pavimento.	– Teléfono inteligente – Método ABAKAL IRI – Índice ABAKAL IRI

Nota. Se define la variable independiente y dependiente, así como también sus respectivos indicadores e definición conceptual

3.6 Técnicas e instrumentos y análisis estadístico

En base a los datos de campo mediante los reportes en los formatos de observación de la metodología pavement condition index y los reportes obtenidos de la aplicación ABAKAL IRI considerando los índices de condición y los índices de la rugosidad, se procesan mediante la hoja electrónica excel para determinar la transitabilidad vehicular.

Para obtener el índice de condición utilizando el método PCI en toda la calzada de la carretera TA-644 mediante unidades de muestra determinados de acuerdo a la metodología, por otro lado, el valor IRI utilizando la aplicación ABAKAL IRI evaluando ambos carriles cada 100 m. para ello también utilizamos en el procesamiento de los datos en excel.

Al final, utilizando los datos del PCI y del valor IRI, seremos capaces de evaluar las condiciones de transitabilidad vehicular en la carretera TA-644 ubicada en el distrito de Yarada - Los Palos.

3.6.1 Técnicas

- Observación directa
- Utilización de formatos de campo
- Aplicación método PCI

3.6.2 Instrumentos

- Formulario de observación
- Guías y formatos de campo
- Informes generados por PCI
- Informes de campo método PCI
- Odómetro manual
- Regla de medición
- Conos de seguridad
- Plano detallado del área de estudio

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Cálculo del PCI

a) Determinación del tamaño de la muestra

Utilizando un ancho de calzada de 7,20 m.

$$\text{Longitud de muestra (interpolación)} = \frac{35,4 - x}{35,4 - 31,5} \quad (5)$$

$$\text{Longitud de muestra (interpolación)} = \frac{6,50 - 7,20}{6,50 - 7,3}$$

$$\text{Longitud de muestra (interpolación)} = 32,00 \text{ m.}$$

b) Cálculo de cada muestra

Utilizando la fórmula:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \quad (6)$$

Dónde:

n: Número de muestras mínimas

N: Número total de muestras.

e: Error admisible (e = 5 %).

σ : Desviación estándar (10) para pavimento flexible

c) Calculamos valor del N

$$N = \frac{\text{Longitud total de la vía (m.)}}{\text{longitud de la unidad de muestra (m.)}} \quad (7)$$

Dónde:

N: Total de muestra.

$$N = \frac{9\ 800\ 00 \text{ m.}}{32 \text{ m.}} = 15$$

d) Cálculo del intervalo de las unidades de muestra.

Utilizamos la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n} \quad (8)$$

Donde:

n : Dato mínimo de muestra.

N : Total de muestras.

i : Intervalo entre muestra.

Como resultado obtenemos:

$$N = \frac{306}{15}$$

$$N = 20$$

Finalmente se determina un intervalo de evaluación entre muestras igual a 20 unidades en toda la calzada, determinándose las siguientes unidades de muestra: 1, 21, 41, 61, 81, 101, 121, 141, 161, 181, 201, 221, 241, 261 y 281.

e) Datos de campo por unidades de muestra (calzada completa)

En la tabla 10, se presenta la muestra 1, se evaluó fallas presentes, como baches, parcheo, grietas longitudinales y transversales y pulimento de agregados, considerando severidades media y alta.

Tabla 10

Unidad de muestreo 1

Falla		Área:				230,40 m ²				Total	Densidad	Valor deducido
13M	4,00	2,00							6,00			
11M	1,44	0,16	0,27	0,2					2,11			
10M	0,6	1,4	1,1	0,6					3,7			
12M	4,5								4,5			
11H	1,04	0,63	1,05						2,72			
10H	21,6								21,6			

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 11 se muestra la muestra 21, en la cual se evaluaron fallas presentes, como parches y huecos, con una severidad media y alta.

Tabla 11

Unidad de muestreo 21

Falla		Área:			230,40 m ²	Total	Densidad	Valor deducido
Falla		Cantidad						
11M	9,72	0,3	0,45	6,65		17,13		
13H	3	1				4		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 12 se muestra el muestreo 41, en la cual se evaluaron fallas presentes, como grietas de borde, parches y huecos, con una severidad media y alta.

Tabla 12

Unidad de muestreo 41

Falla		Área:			230,40 m ²	Total	Densidad	Valor deducido
Falla		Cantidad						
7M	30					30		
11M	0,06	0,17	0,22	0,85		1,29		
11H	0,84	0,11	0,23	0,24		1,41		
13M	6	2				8		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 13 se muestra la muestra 61, en la cual se evaluaron fallas presentes como grietas de borde, parches y huecos, con una severidad media y alta.

Tabla 13

Unidad de muestreo 61

Falla		Área:			230,40 m ²	Total	Densidad	Valor deducido
Falla		Cantidad						
7H	35,3	38				73,3		
11M	0,28					0,28		
13H	1	4				5		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 14 se muestra la unidad 81, en la cual se evaluaron fallas presentes, como grietas de borde y huecos, con una severidad media y alta.

Tabla 14

Unidad de muestreo 81

Área:		230,40 m²				
Falla	Cantidad			Total	Densidad	Valor deducido
7M	38,00	35,00		73,00		
13H	3,00			3,00		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 15 se muestra la unidad 101, en la cual se evaluaron fallas presentes, como grietas de borde, grietas longitudinales y transversales, parches y huecos, con una severidad media y alta.

Tabla 15

Unidad de muestreo 101

Área:		230,40 m²				
Falla	Cantidad			Total	Densidad	Valor deducido
7M	40	32		72		
10M	6	4		10		
11H	22			22		
13H	2			2		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

Tabla 16

Unidad de muestreo 121

Área:		230,40 m²				
Falla	Cantidad			Total	Densidad	Valor deducido
7M	20	2,00		40		
11M	0,3	0,17	0,18	0,66	1,30	
11H	0,23	0,11	0,06	0,58	0,97	
13H	1	1	2	1	5	
13M	4			4		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 16, se presenta la muestra 121, se evaluó fallas presentes como, grietas de borde, parcheo y huecos con severidades medias y altas.

En la tabla 17, se presenta la muestra 141, se evaluó fallas presentes como, grietas de borde, parcheo y huecos con severidades medias y altas

Tabla 17

Unidad de muestreo 141

Falla		Área: 230,40 m ²			Cantidad	Total	Densidad	Valor deducido
7H	12	16	10	8		46		
11M	40					40		
13H	1					1		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 18, se presenta la muestra 161, se evaluaron fallas presentes como, grietas de borde, grietas de reflexión de junta, parcheo y huecos de severidades M y H

Tabla 18

Unidad de muestreo 161

Falla		Área: 230,40 m ²			Cantidad	Total	Densidad	Valor deducido
7M	40					40		
8M	6					6		
11M	0,38					0,38		
13H	1					1		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 19, se presenta la En la muestra 181, se evaluaron fallas presentes como, grietas longitudinales y transversales, parcheo, huecos y cruce de línea férrea, con severidades M y H.

En la tabla 20 se muestra la unidad 201, en la cual se evaluaron fallas presentes, como agrietamiento en bloque, grietas de borde, desnivel entre carril y berma, grietas longitudinales y transversales, parches, pulimento de agregados y huecos, con

severidades M y H.

Tabla 19

Unidad de muestreo 181

Área:		230,40 m ²				Total	Densidad	Valor deducido
Falla	Cantidad							
10H	4	2	2	1	8	17		
11M	2,02	0,5	1,71	34,4	0,7	39,39		
11H	0,11	0,31	0,17	0,22	11,9	12,71		
13M	6					6		
14M	9					9		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

Tabla 20

Unidad de muestreo 201

Área:		230,40 m ²				Total	Densidad	Valor deducido
Falla	Cantidad							
3H	2,15	2,56				4,71		
7M	40	40				80		
9M	2					2		
10M	5	4	6	4		19		
11H	32,1	25,12	15,65	5,18		78,05		
12M	192					192		
13M	5					5		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

Tabla 21

Unidad de muestreo 221

Área:		230,40 m ²				Total	Densidad	Valor deducido
Falla	Cantidad							
3H	62					62		
7H	5	4	3			12		
9M	8					8		
10M	6	4				10		
11H	15,56	5,18	4,64	1,98		27,36		
12M	96					96		
13M	2					2		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 21 se muestra la unidad 221, en la cual se evaluaron fallas presentes, como agrietamiento en bloque, grietas de borde, desnivel entre carril y berma, grietas longitudinales y transversales, parches, pulimento de agregados y huecos, con severidades M y H.

En la tabla 22, se presenta la muestra 241, se evaluó fallas presentes como, agrietamiento en bloque, grietas de borde, grietas longitudinales y transversales, parcheo y huecos, con severidad M y H.

Tabla 22

Unidad de muestreo 241

Falla		Área:		230,40 m ²		Total	Densidad	Valor deducido
		Cantidad						
3H	32,15					32,15		
7H	38	8				46		
10M	6	8	4			18		
11H	96					96		
13H	1					1		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 23, se presenta la muestra 261, se evaluó fallas presentes como, agrietamiento en bloque, grietas de borde, grietas longitudinales y transversales, parcheo y huecos, con severidad media y alta.

Tabla 23

Unidad de muestreo 261

Falla		Área:		230,40 m ²		Total	Densidad	Valor deducido
		Cantidad						
3H	32,15					32,15		
7H	38	8				46		
10M	6	8	4			18		
11H	96					96		
13H	1					1		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

En la tabla 24, se presenta la muestra 281, se evaluó fallas presentes como agrietamiento en bloque, grietas de borde, desnivel carril y berma, grietas longitudinales y transversales, parcheo, pulimento de agregados y huecos, con severidad media y alta.

Tabla 24

Unidad de muestreo 281

		Área:		230,40 m ²			
Falla			Cantidad		Total	Densidad	Valor deducido
3H	45,1	12,25			57,35		
7H	8	4			12		
9M	20				20		
10H	4	8	2		14		
11H	4,54	4,85			9,39		
12M	96				96		
13H	4	2	2		8		

Nota. Parte inicial para el registro de cantidades determinando el total de las fallas según severidad

4.1.1 Resultados de la densidad y valor deducido según el método PCI

En la tabla 25 se muestra la Unidad 1, en la cual se determina el valor deducido máximo de 51,44 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 25

Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-1

		Area:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
13	BA	M	4	2			6	2,6	51,44
11	PA	M	1,44	0,16	0,27	0,24	2,11	0,92	9,76
10	GLT	M	0,6	1,4	1,1	0,6	3,7	1,61	4,28
12	PUA	M	4,5				4,5	1,95	0
11	PA	H	1,04	0,63	1,05		2,72	1,18	21,08
10	GLT	H	21,6				21,6	9,38	32,37
							Total VD:		118,93

Nota. Se determina VD de 118,93. Apoyándose de tabla 8 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 26, se presenta la muestra 21, se determina el máximo valor deducido igual a 63,05 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 26*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-21*

		Área:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
11	PA	M	9,72	0,3	0,45	6,65	17,13	7,13	27,28
13	BA	H	3	1			4	1,74	63,05
							Total VD:	90,33	

Nota. Se determina VD de 90,33. Apoyándose de tabla 9 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 27, se presenta la muestra 41, se determina el máximo valor deducido igual a 58,35 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 27*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-41*

		Área:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
7	GB	M	30				30	13,02	15,67
11	PA	M	0,06	0,17	0,22	0,85	1,29	0,56	7,19
11	PA	H	0,84	0,11	0,23	0,24	1,41	0,61	15,95
13	BA	M	6	2			8	3,47	58,35
							Total VD:	97,16	

Nota. Se determina VD de 97,16. Apoyándose de tabla 10 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 28, se presenta la muestra 61, se determina el máximo valor deducido igual a 68,45 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 28*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-61*

		Área:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
7	GB	H	35,30	38,00			73,30	31,81	39,28
11	PA	M	0,28				0,28	0,21	3,87
13	BA	H	1,00	4,00			5,00	2,17	68,45
							Total VD:	111,60	

Nota. Se determina VD de 111,60. Apoyándose de tabla 11 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 29, se presenta la muestra 81, se determina el máximo valor deducido igual a 56,71 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 29

Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-81

		Área:		230,40 m ²				
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido	
7	GB	M	38	35	73	31,68	23,14	
13	BA	H	3		3	1,30	56,71	
					Total VD:	79,85		

Nota. Se determina VD de 79,85. Apoyándose de tabla 12 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 30, se muestra la unidad 101, donde se determina un valor deducido máximo de 50,60 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 30

Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-101

		Área:		230,40 m ²				
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido	
7	GB	M	40	32	72	31,68	23,05	
10	GLT	M	6	4	10	4,34	10,64	
11	PA	H	22		22	9,55	50,6	
13	BA	H	2		3	0,87	49,70	
					Total VD:	133,99		

Nota. Se determina VD de 13,399. Apoyándose de tabla 13 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 31, se muestra la unidad 121, donde determina el MVD igual a 68,45 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

En la tabla 32, se presenta la muestra 141, se determina el máximo valor deducido igual a 39,23 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

En la tabla 33, se presenta la muestra 161, se determina el máximo valor deducido igual a 37,69 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 31*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-121*

		Área:		230,40 m ²						
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido	
7	GB	M	20	20			40	17,36	18,36	
11	PA	M	0,3	0,17	0,18	0,66	1,3	0,56	7,22	
11	PA	H	0,23	0,11	0,06	0,58	0,97	0,42	13,22	
13	BA	H	1	1	2	1	5	2,17	68,45	
13	BA	M	4				4	1,74	42,31	
Total VD:								149,56		

Nota. Se determina VD de 149,56. Apoyándose de tabla 14 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

Tabla 32*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-141*

		Área:		230,40 m ²						
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido	
7	GB	M	12	16	10	8	46	19,97	19,98	
11	PA	M	40				40	17,36	39,23	
13	BA	H	1				1	0,43	37,69	
Total VD:								96,90		

Nota. Se determina VD de 96,90. Apoyándose de tabla 15 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

Tabla 33*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-161*

		Área:		230,40 m ²						
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido	
7	GB	M	40				40	17,36	18,36	
8	GJ	M	6				6	2,6	5,27	
11	PA	M	0,38				0,38	0,16	4,22	
13	BA	H	1				1	0,43	37,69	
Total VD:								65,54		

Nota. Se determina VD de 65,54. Apoyándose de tabla 16 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 34, se presenta la muestra 181, se determina el máximo valor deducido igual a 51,44 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 34*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-181*

		Área:		230,40 m ²							
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales					Total	Densidad (%)	Valor deducido	
10	AB	H	4	2	2	1	8	17	7,38	28,29	
11	GB	M	2,02	0,5	1,71	34,47	0,7	39,39	17,1	38,95	
11	DCB	H	0,11	0,31	0,17	0,22	11,9	12,71	5,51	39,74	
13		M	6					6	2,6	51,44	
14		M	9					9	3,91	21,76	
								Total VD:		180,19	

Nota. Se determina VD de 180,19. Apoyándose de tabla 17 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 35, se presenta la muestra 201, se determina el máximo valor deducido igual a 76,36 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 35*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-201*

		Área:		230,40 m ²							
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales					Total	Densidad (%)	Valor deducido	
3	AB	H	2,15	2,56				4,71	2,04	11,24	
7	GB	M	40	40				80	34,72	23,74	
9	DCB	M	2					2	0,87	0	
10	GLT	M	5	4	6	4		19	8,25	16,12	
11	PA	H	32,1	25,12	15,65	5,18		78,05	33,88	76,36	
12	PUA	M	192					192	83,33	18,07	
13	BA	M	5					5	2,17	47,53	
								Total VD:		193,07	

Nota. Se determina VD de 193,07. Apoyándose de tabla 18 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 36, se presenta la muestra 221, se determina el máximo valor deducido igual a 55,02 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

En la tabla 37, se presenta la muestra 241, se determina el máximo valor deducido igual a 78,52 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

En la tabla 38, se presenta la muestra 261, se determina el máximo valor deducido igual a 68,86 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 36*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-221*

		Área:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
3	AB	H	62				62	26,91	44,3
7	GB	H	5	4	3		12	5,21	16,49
9	DCB	M	8				8	3,47	4,64
10	GLT	M	6	4			10	3,34	10,64
11	PA	H	15,56	5,18	4,64	1,98	27,36	11,88	55,02
12	PUA	M	96				96	41,67	10,45
13	BA	M	2				2	0,87	29,3
Total VD:								170,83	

Nota. Se determina VD de 170,83. Apoyándose de tabla 19 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

Tabla 37*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-241*

		Área:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
3	AB	H	32,15				32,15		13,95
7	GB	H	38	8			46		19,97
10	GLT	M	6	8	4		18		7,81
11	PA	H	96				96		41,67
13	BA	H	1				1		0,43
Total VD:								83,83	

Nota. Se determina VD de 83.83. Apoyándose de tabla 20 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

Tabla 38*Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-261*

		Área:		230,40 m ²					
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Densidad (%)	Valor deducido
3	AB	H	32,15				32,15	8,17	26,42
7	GB	H	38	8			46	34,72	23,74
10	GLT	M	6	8	4		18	11,28	35,7
11	PA	H	96				96	21,07	68,86
13	BA	H	1				1	2,17	47,53
Total VD:								202,26	

Nota. Se determina VD de 202.26. Apoyándose de tabla 21 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

En la tabla 39, se presenta la muestra 281, se determina el máximo valor deducido igual a 79,02 para obtener el número máximo admisible de valores deducidos.

Tabla 39

Determinación de la densidad y VD - unidad de muestra U-281

		Área: 230,40 m ²							
N°	Falla	Severidad	Cantidades parciales			Total	Densidad (%)	Valor deducido	
3	AB	H	45,1	12,25		57,35	24,89	42,93	
7	GB	H	8	4		12	5,21	16,49	
9	DCB	M	20			20	8,68	7,24	
10	GLT	H	4	8	2	14	6,08	25,56	
11	PA	H	4,54	4,85		9,39	4,08	35,06	
12	PUA	M	96			96	41,67	10,45	
13	BA	H	4		2	8	3,47	79,02	
						Total VD:	216,75		

Nota. Se determina VD de 216.75. Apoyándose de tabla 22 y el uso de ábacos según cada tipo de falla

4.1.2 Resultados del valor PCI obtenido con el método PCI

En la determinación del valor PCI, se utilizaron la hoja de registro de las fallas, su severidad, determinación de la densidad, determinar VD para cada unidad de muestra desde U-1 a U-281, considerando un ancho de la vía de 7,20 m. en carriles de 3,60 m. y área de evaluación por unidad de muestra igual a 230,40 m².

En la tabla 40, se presenta la muestra 1, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 67,90 para determinar el valor PCI igual a 32,10 obteniendo una calificación del pavimento como malo.

En la tabla 41, se presenta la muestra 21, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 65,00 para determinar el valor PCI igual a 35,00 obteniendo una calificación del pavimento como malo.

En la tabla 42, se presenta la muestra 41, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 64,40 para determinar el valor PCI igual a 35,60 obteniendo una calificación del pavimento como malo.

En la tabla 43, se presenta la muestra 61, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 75,84 para determinar el valor PCI igual a 24,16 obteniendo una calificación del pavimento como muy malo.

En la tabla 44, se presenta la unidad 81, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 58,70 para determinar el valor PCI igual a 41,30 obteniendo una calificación del pavimento como regular.

Tabla 40

PCI y calificación - unidad de muestra U-1

N	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	51,44	32,37	21,08	4,28	118,9	5	61,95
2	51,44	32,37	21,08	2	116,7	4	66,72
3	51,44	32,37	21,08	2	108,9	3	67,9
4	51,44	32,37	2	2	89,8	2	63,88
5	51,44	2	2	2	59,4	1	59,4
Máx. VDC							67,90

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)

32,10%

Calificación Estado del pavimento:

Malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 67,90. Continuación de tabla 23, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "malo"

Tabla 41

PCI y calificación - unidad de muestra U-21

N	Valores Reducidos		VDT	q	VDC
1	63,05	27,28	90,3	2	64,2
2	63,05	2	65	1	65
Máx, VDC					65

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)

35,00%

Calificación estado del Pavimento:

Malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 35. Continuación de tabla 24, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "malo"

Tabla 42*PCI y calificación - unidad de muestra U-41*

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	58,35	15,95	15,67	7,19	97,2	4	55,62
2	58,35	15,95	15,67	2	92	3	58,2
3	58,35	15,95	2	2	78,3	2	58,2
4	58,35	2	2	2	64,4	1	64,4
Máx. VDC							64,40

Valor (PCI):

$PCI = 100 - (\text{Máx. VDC})$
35,60

Calificación estado del pavimento:**Malo**

Nota. Se obtiene Max VDC de 64,40. Continuación de tabla 25, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "malo"

Tabla 43*PCI y calificación - unidad de muestra U-61*

N	Valores Reducidos			VDT	q	VDC
1	68,45	39,28	3,87	111,6	3	69,33
2	68,45	39,28	2	109,7	2	75,84
3	68,45	2	2	72,4	1	72,4
Máx. VDC						75,84

Valor (PCI):

$PCI = 100 - (\text{Máx. VDC})$
24,16

Calificación estado del pavimento:**Muy malo**

Nota. Se obtiene Max VDC de 75,84. Continuación de tabla 26, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "muy malo"

Tabla 44*PCI y calificación - unidad de muestra U-81*

N	Valores Reducidos		VDT	q	VDC
1	56,71	23,14	79,9	2	57,86
2	56,71	2	58,7	1	58,7
Máx. VDC					58,70

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
41,30

Calificación estado del pavimento:

Regular

Nota. Se obtiene Max VDC de 41,30. Continuación de tabla 27, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "regular"

En la tabla 45, se presenta la unidad 101, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 76,29 para determinar el valor PCI igual a 23,71 obteniendo una calificación del pavimento como muy malo

Tabla 45*PCI y calificación - unidad de muestra U-101*

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	50,6	49,7	23,05	10,64	134	4	75,26
2	50,6	49,7	23,05	2	125,4	3	76,29
3	50,6	49,7	2	2	104,3	2	73,04
4	50,6	2	2	2	56,6	1	56,6
Máx. VDC							76,29

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
23,71

Calificación estado del pavimento:

Muy malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 23,71. Continuación de tabla 28, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "muy malo"

En la tabla 46, se presenta la unidad 121, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 79,16 para determinar el valor PCI igual a 20,84 obteniendo una calificación del pavimento como muy malo.

Tabla 46*PCI y calificación - unidad de muestra U-121*

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	68,45	42,31	18,36	13,22	142,34	4	78,5
2	68,45	42,31	18,36	2	131,1	3	79,16
3	68,45	42,31	2	2	114,8	2	78,64
4	68,45	2	2	2	74,5	1	74,4
Máx. VDC							79,16

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
20,84

Calificación estado del pavimento:

Muy malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 20,84. Continuación de tabla 29, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "muy malo"

En la tabla 47, se presenta la unidad 141, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 61,14 para determinar el valor PCI igual a 38,86 obteniendo una calificación del pavimento como malo.

Tabla 47

PCI y calificación - unidad de muestra U-141

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	39,23	37,69	19,98		96,9	3	61,14
2	39,23	37,69	2		78,9	2	57,23
3	39,23	2	2		43,2	1	43,2
Máx. VDC							61,14

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
38,86

Calificación estado del pavimento:

Malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 38,86. Continuación de tabla 30, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "malo"

En la tabla 48, se presenta la unidad 161, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 44,07 para determinar el valor PCI igual a 55,93 obteniendo una calificación del pavimento como bueno.

Tabla 48

PCI y calificación - unidad de muestra U-161

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	37,69	18,36	5,27	4,22	65,5	4	36,6
2	37,69	18,36	5,27	2	63,3	3	40,15
3	37,69	18,36	2	2	60,1	2	44,07
4	37,69	2	2	2	43,7	1	43,7
Máx. VDC							44,07

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
55,93

Calificación estado del pavimento:

Bueno

Nota. Se obtiene Max VDC de 55,93. Continuación de tabla 31, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "bueno"

En la tabla 49, se presenta la unidad 201, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 88,53 para determinar el valor PCI igual a 11,47 obteniendo una calificación del pavimento como muy malo.

Tabla 49

PCI y calificación - unidad de muestra U-201

N°	Valores Reducidos						VDT	q	VDC
1	76,36	47,53	23,74	3,07			150,7	4	83,28
2	76,36	47,53	23,74	2			149,6	3	88,13
3	76,36	47,53	2	2			127,9	2	85,06
4	76,36	2	2	2			82,4	1	82,4
Máx. VDC									88,13

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
11,87

Calificación estado del pavimento:

Muy malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 11,87. Continuación de tabla 33, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "muy malo"

En la tabla 50, se presenta la unidad 221, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 82,25 para determinar el valor PCI igual a 17,75 obteniendo una calificación del pavimento como muy malo.

Tabla 50

PCI y calificación - unidad de muestra U-221

N°	Valores Reducidos						VDT	q	VDC
1	55,02	44,3	29,3	16,49	10,64	1,36	157,1	5	79,7
2	55,02	44,3	29,3	16,49	2	1,36	148,5	4	82,25
3	55,02	44,3	29,3	2	2	1,36	130,6	3	80,9
4	55,02	44,3	2	2	2	1,36	106,7	2	74,28
5	55,02	2	2	2	2	1,36	64,4	1	64,4
Máx. VDC									82,25

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
17,75

Calificación estado del pavimento:

Muy malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 17,75. Continuación de tabla 34, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "muy malo"

La tabla 51, presenta la unidad 241, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 87,87 para determinar el valor PCI igual a 12,13 obteniendo una calificación del pavimento como muy malo.

Tabla 51

PCI y calificación - unidad de muestra U-241

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	78,52	37,69	32,75		149	3	87,87
2	78,52	37,69	2		118,2	2	80,51
3	78,52	2	2		82,5	1	82,5
Máx. VDC							87,87

Valor (PCI):

PCI = 100 - (Máx. VDC)
12,13

Calificación estado del pavimento:

Muy malo

Nota. Se obtiene Max VDC de 12,13. Continuación de tabla 35, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "muy malo"

La tabla 52, presenta la unidad 261, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 92,49 para determinar el valor PCI igual a 7,51 obteniendo una calificación del pavimento como fallado.

Tabla 52

PCI y calificación - unidad de muestra U-261

N°	Valores Reducidos				VDT	q	VDC
1	68,86	47,53	35,7	22,72	174,8	4	92,49

2	68,86	47,53	35,7	2	154,1	3	90,23
3	68,86	47,53	2	2	120,4	2	81,68
4	68,86	2	2	2	74,9	1	74,9
Máx. VDC							92,49

Valor (PCI):

$$PCI = 100 - (\text{Máx. VDC})$$

7,51

Calificación estado del pavimento:

Fallado

Nota. Se obtiene Max VDC de 7,51. Continuación de tabla 36, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "fallado"

La tabla 53, presenta la unidad 281, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 90,46 para determinar el valor PCI igual a 9,54 obteniendo una calificación del pavimento como fallado.

Tabla 53

PCI y calificación - unidad de muestra U-281

N°	Valores Reducidos			VDT	q	Valor deducido corregido
1	79,02	42,93	32,6	154,6	3	90,46
2	79,02	42,93	2	124	2	83,26
3	79,02	2	2	83	1	83
Máx. VDC						90,46

Índice de condición del pavimento (PCI):

$$PCI = 100 - (\text{Máx. VDC})$$

9,54

Clasificación según el PCI:

Fallado

Nota. Se obtiene Max VDC de 9,54. Continuación de tabla 37, se ordena los VD totales en columnas con valores descendente y usando ábacos establecidos por cada valor de "q" definido, también se determina el PCI que según la tabla 4, obteniéndose una clasificación de "fallado"

4.2 Resultados del índice de rugosidad internacional obtenido del aplicativo ABAKAL IRI

Los datos de campo se obtuvieron mediante el uso de la aplicación ABAKAL IRI, colocados en un auto sedan Nissan con velocidades promedio de evaluación entre 50 a 60 km/h debido a que la zona existen presencia de baches y huecos visibles, se obtienen resultados de la rugosidad cada 100 m.

La Tabla 54, presenta los resultados del aplicativo ABAKAL IRI carril de bajada hasta 8,9 km.

4.2.1 Resultados del aplicativo ABAKAL IRI carril de bajada

Tabla 54

Valores IRI carril de bajada hasta 8,9 km

Latitudo	Longitud	Altitude	V (m/s)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,20083	-70,32878	181,97	44,48	0	4,29
-18,20122	-70,32973	180,67	53,85	100	4,53
-18,2016	-70,33066	179,5	56,36	200	4,32
-18,20199	-70,33164	178,29	58,11	300	5,57
-18,20239	-70,33263	177,47	57,6	400	6,8
-18,20279	-70,33362	176,17	59,38	500	6,24
-18,20315	-70,33449	175,41	60,34	600	5,38
-18,20355	-70,33548	174,95	56,98	700	7
-18,20402	-70,33635	175,37	50,75	800	6,23
-18,20481	-70,3371	177,1	26,63	900	6,2
-18,20557	-70,33771	173,37	43,99	1000	6,53
-18,20628	-70,3383	171,54	54,17	1100	6,2
-18,20705	-70,33893	170,41	57,22	1200	6,86
-18,20785	-70,3396	169,32	58,62	1300	5,66
-18,20865	-70,34027	168,17	58,24	1400	5,29
-18,20946	-70,34094	167,39	59,14	1500	4,9
-18,21017	-70,34153	166,15	61,3	1600	5,6
-18,21089	-70,34213	164,87	60,28	1700	4,46
-18,2116	-70,34273	163,55	60,49	1800	4,91
-18,21243	-70,34341	162,51	60,9	1900	4,14
-18,21315	-70,34401	161,43	62,3	2000	4,58
-18,2139	-70,34463	160,18	63,49	2100	4,51
-18,21465	-70,34525	159,2	64,03	2200	5,77
-18,21539	-70,34587	158,1	62,11	2300	5,25
-18,24383	-70,37589	114,81	57,06	6400	4,28
-18,24453	-70,37663	113,93	57,84	6500	4,2
-18,24527	-70,37742	112,95	61,73	6600	4,2
-18,24593	-70,37813	111,72	63,94	6700	4,2
-18,24661	-70,37886	110,69	64,56	6800	4,76
-18,24726	-70,37956	109,74	60,23	6900	5,27
-18,24795	-70,3803	108,87	53,77	7000	4,63
-18,24867	-70,38107	107,67	50,78	7100	4,14

Latitudo	Longitud	Altitude	V (m/s)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,24938	-70,38182	106,41	51,43	7200	5,28
-18,25003	-70,38252	105,4	52,93	7300	5,2
-18,25066	-70,3832	104,41	46,83	7400	4,79
-18,25131	-70,38389	103,35	48,3	7500	4,83
-18,25203	-70,38467	102,26	53,65	7600	5,12
-18,25268	-70,38536	101,15	51,74	7700	5,02
-18,25337	-70,3861	100,03	47,65	7800	5,15
-18,25402	-70,38686	99,02	49,3	7900	5,51
-18,25464	-70,38769	97,87	49,79	8000	5,27
-18,25522	-70,38856	97,37	51,7	8100	4,88
-18,25581	-70,38944	96,81	49,03	8200	4,88
-18,25639	-70,39031	96,01	51,35	8300	5,14
-18,25695	-70,39115	95,11	46,57	8400	5,4
-18,25751	-70,392	94,13	42,6	8500	5,12
-18,25803	-70,39279	93,32	44,3	8600	5,17
-18,25797	-70,39348	92,26	40	8700	4,56
-18,25798	-70,39247	91,78	43	8800	4,89
-18,25745	-70,39166	89,76	40	8900	4,78

Nota. Valores IRI obtenido del aplicativo ABAKAL IRI

Figura 17

Recorrido utilizando el aplicativo ABAKAL IRI



Nota. Se visualiza de acuerdo al color el nivel de severidad de bajada, en el cual los colores rojos representan un estado malo, amarillo medio y verde bueno

4.2.2 Resultados de la aplicación ABAKAL IRI carril de subida

La tabla 55, presenta los resultados del aplicativo ABAKAL IRI carril de subida hasta 8,9 km.

Tabla 55*Valores IRI, carril de subida*

Latitudo	Longitud	Altitude	V (m/s)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,25797	-70,39348	89,76	39,57	0	4,2
-18,25798	-70,39247	91,78	42,05	100	5
-18,25745	-70,39166	93,61	45,58	200	7
-18,25687	-70,39084	94,94	50,35	300	5
-18,25635	-70,39001	96,23	55,57	400	5,71
-18,25579	-70,38917	97,24	56,62	500	5,79
-18,25521	-70,3883	98,08	57,68	600	5,2
-18,25464	-70,38746	98,93	52,98	700	5
-18,25408	-70,3867	99,98	53,64	800	4,64
-18,25344	-70,38597	100,94	56,42	900	4,78
-18,25275	-70,38523	102,02	55,65	1000	4,14
-18,25207	-70,3845	103,04	55,23	1100	4,14
-18,25139	-70,38378	103,97	55,03	1200	4,57
-18,25075	-70,3831	104,85	50,76	1300	4,22
-18,25007	-70,38238	105,86	47,33	1400	5,01
-18,24943	-70,3817	106,87	53,74	1500	4,2
-18,24879	-70,38102	107,78	49,32	1600	4,14
-18,24814	-70,38034	108,69	54,17	1700	4,2
-18,2475	-70,37965	109,81	46,19	1800	4,21
-18,2468	-70,3789	110,86	54,53	1900	4,2
-18,24609	-70,37814	112,08	58,21	2000	4,2
-18,24536	-70,37737	113,37	59,44	2100	4,2
-18,24465	-70,3766	114,4	56,37	2200	4,2
-18,24397	-70,37588	115,4	54,33	2300	4,2
-18,24327	-70,37512	116,64	45,21	2400	4,75
-18,24259	-70,3744	117,14	48,75	2500	4,44
-18,24187	-70,37362	118,25	49,34	2600	4,2
-18,24122	-70,37294	119,32	36,39	2700	4,88
-18,24054	-70,37221	120,01	46,89	2800	4,2
-18,23988	-70,37151	121,14	48,16	2900	4,87
-18,23916	-70,37074	122,01	53,01	3000	4,44
-18,23851	-70,37005	123	51,8	3100	5,21
-18,2378	-70,36929	123,38	50,76	3200	6,31
-18,23716	-70,3686	124,2	52,07	3300	5,21
-18,23649	-70,3679	125,33	56,58	3400	5,58
-18,23582	-70,36718	126,22	52,15	3500	5,49
-18,23517	-70,36648	127,34	54,02	3600	4,79
-18,23451	-70,36577	128,57	53,59	3700	4,29
-18,23384	-70,36505	129,56	55,39	3800	4,43
-18,23315	-70,36431	130,56	56,52	3900	4,21
-18,23245	-70,36357	131,49	57,13	4000	4,36

Latitude	Longitud	Altitude	V (m/s)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,23177	-70,36284	132,52	54,53	4100	4,78
-18,23112	-70,36215	133,4	52,77	4200	4,57
-18,23047	-70,36145	134,95	52,82	4300	5,43
-18,2298	-70,36073	136,01	55,01	4400	4,36
-18,22916	-70,36004	137,37	53,16	4500	4,7
-18,22848	-70,35931	138,64	56,97	4600	4,79
-18,22775	-70,35854	139,54	59,44	4700	4,15
-18,22704	-70,35778	140,21	56,55	4800	4,92
-18,22637	-70,35706	141,35	52,64	4900	6
-18,22571	-70,35636	142,12	54,13	5000	6
-18,22503	-70,35562	143,08	41,43	5100	7
-18,22434	-70,35489	144,37	48,77	5200	6,72
-18,22361	-70,35411	145,04	53,61	5300	6,51
-18,22294	-70,35339	145,96	55,39	5400	6,57
-18,22227	-70,35267	146,91	52,95	5500	5,29
-18,22163	-70,35199	148,1	51,52	5600	5,21
-18,22099	-70,35131	149,02	52,89	5700	5
-18,22032	-70,35058	150,36	55,95	5800	4,57
-18,21964	-70,34986	151,31	53,93	5900	4,57
-18,21898	-70,34916	152,6	53,6	6000	4,93
-18,21832	-70,34844	154,05	55,02	6100	4,86
-18,21765	-70,34775	155,43	53,87	6200	4,21
-18,21692	-70,34705	156,41	59,5	6300	5
-18,21623	-70,34643	156,97	58,62	6400	5
-18,21543	-70,34576	157,99	59,26	6500	4,57
-18,21464	-70,3451	159,06	56,01	6600	4,72
-18,21387	-70,34446	160,07	55,8	6700	4,71
-18,2131	-70,34382	161,38	56,01	6800	4,57
-18,21237	-70,34321	162,46	48,31	6900	4,14
-18,21153	-70,34257	163,47	47,33	7000	4,85
-18,21079	-70,34198	164,49	48,66	7100	4,18
-18,21008	-70,34139	165,64	50,46	7200	4,2
-18,20928	-70,34072	167,01	54,42	7300	4,44
-18,20851	-70,34009	167,32	56,28	7400	4,21
-18,20778	-70,33948	168,51	50,68	7500	4,29
-18,20706	-70,33888	169,5	54,69	7600	4,57
-18,20634	-70,33828	170,27	52,36	7700	5,38
-18,20559	-70,33766	171,3	54,64	7800	4,5
-18,20487	-70,33706	172,9	51,76	7900	4,86
-18,20417	-70,33645	173,61	52,43	8000	4,79
-18,20367	-70,33564	174,57	51,79	8100	4,5
-18,20328	-70,33469	175,46	48,36	8200	4,81
-18,20293	-70,3338	176,14	55,64	8300	5,22
-18,20254	-70,33285	177,5	56,4	8400	4,36

Latitud	Longitud	Altitud	V (m/s)	Desplazamiento (m)	Valor IRI
-18,20215	-70,33188	178,46	57,16	8500	4,86
-18,20176	-70,33092	179,73	56,35	8600	5,21
-18,20137	-70,32997	180,92	56,27	8700	5,29
-18,20099	-70,32904	181,87	53,03	8800	4,64
-18,20064	-70,32816	182,93	49,06	8900	4,21

Nota. Valores IRI obtenido del ABAKAL IRI

En la figura 18, se muestra el tramo completo de la carretera TA-644 que se ha recorrido a cada 100 m.

Figura 18

Evaluación del carril de subida carretera TA-644, valores IRI se muestran por colores.



Nota. Se visualiza de acuerdo al color el nivel de severidad de subida, en el cual los colores rojos representan un estado malo, amarillo medio y verde bueno

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1 Análisis de los resultados PCI

En la totalidad de la calzada, se observan los resultados individuales del PCI obtenidos para cada unidad de muestra. Es esencial calcular un valor ponderado para todo el tramo, el cual se determina como 25,18 % según se muestra en la tabla 59. Este valor contribuye a clasificar el estado del pavimento, que ha sido evaluado con diversas fallas, resultando en una calificación general de "malo" según la tabla 4.

En la tabla 56, se detallan los valores del PCI por cada tramo evaluado, lo que permite calcular el PCI ponderado de 25,18 % y clasificar el pavimento como "malo". Estos resultados son cruciales para el análisis y la discusión comparativa con otros estudios que utilizan metodologías y obtienen resultados similares.

Tabla 56

Resumen valores PCI en tramo de evaluación

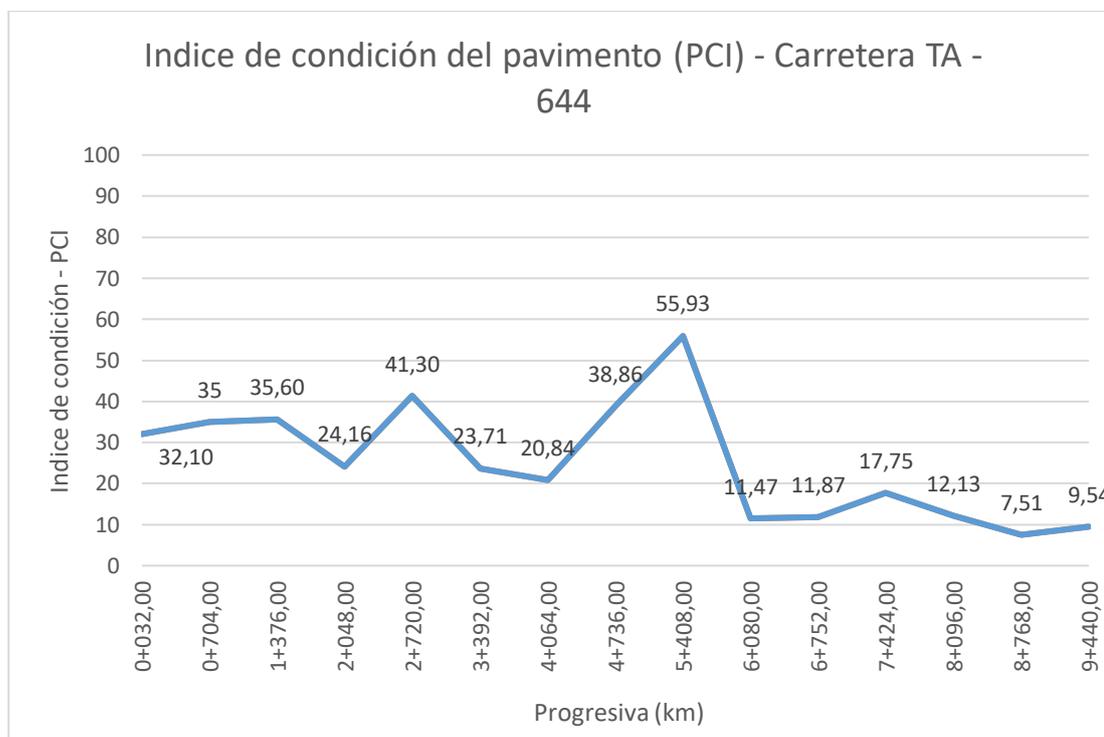
Carretera TA - 644						
Calzada total	Unidad de muestra	Progresiva inicial (Km)	Progresiva final (Km)	Longitud de muestra (m)	Valor PCI	Calificación
Calzada total	U-01	0+000,00	0+032,00	32,00	32,10	Malo
	U-21	0+672,00	0+704,00	32,00	35,00	Malo
	U-41	1+344,00	1+376,00	32,00	35,60	Malo
	U-61	2+016,00	2+048,00	32,00	24,16	Muy malo
	U-81	2+688,00	2+720,00	32,00	41,30	Regular
	U-101	3+360,00	3+392,00	32,00	23,71	Muy malo
	U-121	4+032,00	4+064,00	32,00	20,84	Muy malo
	U-141	4+704,00	4+736,00	32,00	38,86	Malo
	U-161	5+376,00	5+408,00	32,00	55,93	Bueno
	U-181	6+048,00	6+080,00	32,00	11,47	Muy malo
	U-201	6+720,00	6+752,00	32,00	11,87	Muy malo
	U-221	7+392,00	7+424,00	32,00	17,75	Muy malo
	U-241	8+064,00	8+096,00	32,00	12,13	Muy malo
	U-261	8+736,00	8+768,00	32,00	7,51	Fallado
	U-281	9+408,00	9+440,00	32,00	9,54	Fallado
				Promedio	25,18	Malo

Nota. Tabla resumen indicando las 15 muestras y su progresiva, donde se determina el rango PCI y su respectiva calificación

A continuación, en la figura 20, se resume el valor PCI determinado de acuerdo a las 15 muestras representativas establecidas para la carretera TA-644.

Figura 19

Desplazamiento del valor PCI por progresivas en la calzada total



Nota. La siguiente figura indica respecto a la progresiva el comportamiento del PCI

El PCI resultante de 25,18 %, como se muestra en la tabla 54, indica que el estado del pavimento es deficiente, lo cual requiere una intervención en forma de rehabilitación para la carretera TA-644. Por lo tanto, es fundamental desarrollar una propuesta que incluya espesores adecuados para la estructura del pavimento.

Es necesario determinar la transitabilidad en la carretera TA-644, porque necesitamos conocer la calidad de servicio brindado en el momento de la evaluación, en función del valor PCI, es posible calcular el PSI tomando el PCI promedio igual a 25,18 % y dividiéndolo por 20 se obtiene el valor representativo de la transitabilidad igual a 1,26 (ver tabla 2), valor que permite determinar la calificación de la transitabilidad como transitabilidad mala.

5.2 Análisis del valor IRI obtenidos con la aplicación ABAKAL IRI

Se empleó un teléfono inteligente Android Samsung Galaxy Note 10 para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo. Se obtuvieron valores IRI de 5,02 m/km y 4,83 m/km para los carriles de bajada y subida, respectivamente. Para obtener un valor IRI único para todo el tramo, se ponderaron los resultados de ambos carriles, lo que arrojó un valor IRI final de 4,93 m/km, como se muestra en la tabla 57.

Tabla 57

Valor IRI obtenido mediante la herramienta ABAKAL IRI

Carril	IRI
Carril de bajada	5,02 m/km
Carril de subida	4,83 m/km
IRI	4,93 m/km

Nota. Determinación del IRI por cada carril y su respectivo promedio

5.3 Análisis de la transitabilidad en función del valor PCI y valor IRI

El estado del pavimento en la carretera TA-644 se calificó como "Malo" utilizando un valor IRI ponderado de 4,93 m/km obtenido con la aplicación ABAKAL IRI. Este valor de IRI indica un estado deficiente del pavimento.

La transitabilidad de la carretera, evaluada en el mismo momento, se determinó como "Mala" usando la segunda ecuación de Williams Paterson. Este resultado se traduce en un PSI (Índice de Pavimento Superficial) de 1,94, lo que confirma la baja calidad de la superficie vehicular (ver tabla 58).

Tabla 58

Resultados del PSI determinado en función del valor PCI e IRI

Carril	Valor PCI e IRI	Valor PSI	Clasificación de la transitabilidad
Calzada total	25,18 %	1,26	Mala
Carril de bajada	5,02 m/km	1,90	
Carril de subida	4,83 m/km	1,98	
PSI promedio	4,93 m/km	1,94	Mala

Nota. Se identifica los valores de PCI e IRI, así como su respectivo valor de índice de serviciabilidad presente (PSI) y clasificación de la calzada en "malo"

Los valores obtenidos mediante el análisis utilizando técnicas de ensayos no destructivos en la carretera TA-644, como el método del PCI y la utilización de herramientas como ABAKAL IRI, muestran que el IRI promedio calculado con ABAKAL IRI es de 4,93 m/km y el PCI es de 25,18 %.

Estos valores permiten evaluar la situación real del pavimento y su capacidad de transitabilidad. Según el PCI, el pavimento se califica como deficiente y presenta una transitabilidad pobre. Por otro lado, los resultados de ABAKAL IRI también indican un estado deficiente del pavimento y una transitabilidad comprometida. Estos hallazgos son fundamentales para proponer medidas de reconstrucción o rehabilitación, especialmente enfocadas en la capa de rodadura.

Los resultados coinciden con los hallazgos de Niño y Torres (2021), quienes concluyen que el método PCI arroja un valor del 39,39 % para calificar el estado deficiente del pavimento, mientras que el rugosímetro MERLIN registra una rugosidad de 5,46 m/km, también calificando el estado del pavimento como malo. Esto subraya la eficacia de la aplicación para Smartphone ABAKAL IRI.

De manera similar, se observa congruencia con los resultados de Gonzalo y Beingolea (2021), quienes evaluaron la rugosidad del pavimento flexible utilizando tanto el aplicativo ABAKAL IRI como el rugosímetro MERLIN. Determinaron un IRI ponderado de 4,60 m/km para calificar el estado del pavimento como deficiente, y con ABAKAL IRI obtuvieron un IRI ponderado de 4,44 m/km, resultados que son consistentes y validan la confiabilidad del aplicativo ABAKAL IRI.

Además, los hallazgos de Zapata (2017) también concuerdan, donde la evaluación de las unidades de muestra mediante el método PCI reveló un índice del 56,14 % y clasificó el pavimento como bueno. Se realizó un estudio visual descriptivo para identificar las diversas fallas presentes en el pavimento, observando que el pulimento de agregados es la falla más predominante, con un impacto leve en el deterioro del pavimento flexible

CONCLUSIONES

Se realizó un análisis mediante ensayos no destructivos en la carretera TA-644, específicamente en el tramo que va desde la carretera nacional PE-1S hasta el Empalme TA-642, con el objetivo de mejorar la transitabilidad vehicular. Se evaluó el estado superficial de la capa de rodadura y la transitabilidad utilizando el método PCI y la aplicación ABAKAL IRI en un tramo de 9,8 km.

Según el método PCI, se identificaron 15 unidades de muestra a lo largo de la carretera TA-644, desde la progresiva 0+000.00 de la carretera PE-1S hasta la 9+800.00 del Empalme TA-642. El valor ponderado del PCI fue del 25,18 %, lo cual califica el estado del pavimento como deficiente y la transitabilidad como problemática.

Mediante la aplicación ABAKAL IRI, se determinó el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) cada 100 metros a lo largo de los 9,8 km del tramo. Se obtuvo un valor de IRI de 5,02 m/km en el carril de ingreso y 4,83 m/km en el carril de salida. El IRI ponderado para todo el tramo fue de 4,93 m/km, indicando un estado deficiente del pavimento y una transitabilidad mala.

Los resultados obtenidos, evaluando la mejora de la transitabilidad según los valores de PCI e IRI, arrojaron un Índice de Servicio de Pavimento (PSI) de 1,26 y 1,94 respectivamente, clasificando la transitabilidad como deficiente en la carretera TA-644. Estos hallazgos son fundamentales para definir propuestas de reconstrucción o rehabilitación a nivel de la carpeta asfáltica.

RECOMENDACIONES

Se sugiere al Gobierno Regional de Tacna o al Instituto Vial Provincial de la Municipalidad Provincial de Tacna que incluyan en su programa de inversiones la planificación de una rehabilitación de la capa de rodadura en la carretera TA-644, basándose en los resultados obtenidos mediante ensayos no destructivos.

Considerando la evaluación del estado y la transitabilidad de la carretera TA-644 mediante el método PCI, se recomienda a la Municipalidad Distrital La Yarada – Los Palos que desarrolle planes de mantenimiento rutinario para asegurar un flujo vehicular sin problemas.

Asimismo, considerando la evaluación del estado y la transitabilidad de la carretera TA-644 mediante el aplicativo ABAKAL IRI, también se sugiere a la Municipalidad Distrital La Yarada – Los Palos que implemente planes de mantenimiento rutinario para garantizar un flujo vehicular eficiente.

Se aconseja a la Municipalidad Distrital La Yarada – Los Palos y al Instituto Vial Provincial de Tacna que mantengan una adecuada transitabilidad vehicular, utilizando los resultados de la investigación para definir propuestas de reconstrucción o rehabilitación de la capa de rodadura en la carretera TA-644

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAKAL. (2020). *Manual ABAKAL IRI: Investigaciones en la obra civil*. España: ABAKAL ingenieros consultores, S.L.
- Alessandroni, G. Klopfenstein, C. Delpriori, S. Dromedari, M. Luchetti, G. Paolini, B., ... Bogliolo, A. (2014). SmartRoadSense: *Collaborative Road Surface Condition Monitoring*. *UbiComm*, 210-215.
- Alvarenga, E. (2002). *Indíces de medición de la regularidad de un pavimento*. Republica del El Salvador: Ministerio de Obras Públicas, transporte, vivienda y desarrollo urbano.
- Alvarez, S. y Rivero, R. (2021). *Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático Merlin*. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27(1), 49-55.
- Cavalcante de Almeida, L. Lacerda de Oliveira, F. y Passos S. (2018). *Estudo da condicao de superficie em rodovias por meio do uso de aplicativo para smartphone*. *Transportes*. Volume 25 número 2, 70 - 83. <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1406>
- Corros, M. (2015). *Manual de Evaluación de Pavimentos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Douangphachanh, V. y Oneyama, H. (2013). *Estimación del estado de rugosidad de la carretera desde teléfonos inteligentes en entornos realistas*. 13ª Conferencia Internacional de Telecomunicaciones ITS (ITST), 433-439.
- 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: Universidad Privada de Tacna.
- GSMA. (2021). Estado de la conectividad de internet móvil. GSMA Asia Pacific: GSMA Association.
- Guzman, M. (2017). *Evaluación superficial del pavimento flexible de la Av. Jorge Basadre Grohmann del distrito de Pocollay tramo Av. Jorge basadre Grohmann Este- Av. Basadre y Forero, aplicando el Método del PCI*. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Huacre, J. y Simarra, F. (2021). *Mejoramiento de la transitabilidad vehiculkar debido al deterioro del pavimento rígido en avenida Aviación, distrito Manantay-Coronel Portillo - Ucayali 2021*. Callao: Universidad César Vallejo.

- Haung, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design - Second Edition*
109-120 <https://es.scribd.com/doc/130996028/Pavement-Analysis-and-Design-Second-Edition-2004-Latest-by-Yang-H-Haung>
- Islam, S. Buttler, W. Aldunate, R. y Vavrik, W. (2014). *Medición de la rugosidad del pavimento mediante una aplicación de teléfono inteligente basada en Android*. Sage Journals, Revista de la Junta de Investigación de transporte 2457(1), 30-38.
- Leguía, P. Pacheco, H. (2016). *Evaluación superficial del pavimento flexible por el metodo Pavemente Condition Index (PCI) en las vías arteriales: cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)*. Lima: Universidad de San Martín de Porres.
- Martínez, C. (2015) *Análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos*. Bogotá. Colombia 2015, 7-10.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15195/MartinezAlarcónCarlosAlberto2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Niño, E. y Torres, B. (2021). *Evaluación superficial del pavimento flexible mediante IRI, PCI y propuesta de rehabilitación para mejorar la transitabilidad vehicular de la Av. Sáenz Peña, JLO*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- 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.
- Quintanilla, E. (2018) *Estudio de fallas estructurales y superficiales del pavimento flexible de las vías correspondientes a los barrios Loma de Bolívar y San Miguel del municipio de Cúcuta*. Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cutuma, Colombia 57-63
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/2528>
- Sachún, J. (2016). *Estudio del Índice de Rugosidad Internacional de la Panamericana Norte-Zona Trujillo, para su mantenimiento*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Sayers, M. y Karamihas, S. (1998). *The Little book of profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*. Washington, USA.
- Shahin, M. (2005). *Pavement Management for Airports Roads and Parking Lots*. USA: Springer Science + Business Media. LLC 2° Edición.

- Sologorre, J. (2005). Evaluación de la rugosidad de Pavimentos con uso del BUMP Integrator. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Staniek, M. (2021). *Road pavement condition diagnostics using Smartphone-based data crowdssourcing in smart cities. Journal of traffic and transportation engineering*, 8(4) 554-567.
- Telefónica. (2019). *Teléfonos inteligentes. abriendo las puertas al mundo digital*. Fundación telefónica, 1-23. https://www.fundaciontelefonica.com/wp-content/uploads/2019/12/PROFESIONES_DIGITALES_5.pdf:
<https://www.fundaciontelefonica.com/>
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Manizales: INGEPAV.
- Vidal, Francisco (2015) *Implementación del mantenimiento vial en el Perú: situación actual y perspectivas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/582856>
- Zapata, A. (2017). *Determinación y evaluación de las patologías del pavimento flexible de la calle Lima del asentamiento humano San Pedro, distrito de Piura, provincia de Piura y departamento de Piura, noviembre 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Los Angeles Chimbote]. <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/8337>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>Formulación de problema general</p> <p>¿Cómo afecta la condición actual mediante ensayos no destructivos de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, en la mejora de la transitabilidad vehicular, Tacna - 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la condición del pavimento mediante ensayos no destructivos de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, para proponer mejoras en la transitabilidad vehicular, Tacna - 2023”.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aplicación de ensayos no destructivos permitirá una evaluación de la condición del pavimento de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, proponiendo soluciones efectivas para mejorar la transitabilidad vehicular, Tacna - 2023.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Análisis mediante ensayos no destructivos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Análisis superficial y estructural de pavimentos Metodología PCI (Pavement Condition Index). Determinación PCI de unidades de muestreo. Metodología ABAKAL IRI Índice ABAKAL IRI 	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada con enfoque cuantitativa</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>El nivel es Descriptivo - Explicativo</p>
<p>Formulación de problema específico</p> <p>a. ¿Cómo la metodología del PCI permitirá la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023?</p> <p>b. ¿Cómo la metodología del ABAKAL IRI permitirá la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023?</p> <p>c. ¿Cómo el valor de la transitabilidad vehicular determinado permite su mejora en función del valor PCI y el valor IRI calculado en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Determinar el valor PCI para la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.</p> <p>b. Determinar el valor IRI para la mejora de la transitabilidad vehicular en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.</p> <p>c. Determinar el valor de la transitabilidad vehicular en función del valor PCI y el valor IRI para su mejora en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a. La determinación del valor PCI presenta deterioros significativos que afectan la transitabilidad vehicular de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.</p> <p>b. La determinación del valor IRI presenta deterioros significativos que afectan la transitabilidad vehicular de la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023.</p> <p>c. El valor de la transitabilidad vehicular determinado mediante el valor PCI y valor IRI en la carretera TA-644, tramo: carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, Tacna - 2023, permitirán caracterizar el tipo de mantenimiento.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Mejora de la transitabilidad vehicular.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Pavimento flexible Análisis funcional Transitabilidad. Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Ciclo de vida de los pavimentos. Transitabilidad en función del IRI y PCI. 	<p>Diseño de investigación:</p> <p>No experimental – Transversal</p> <p>Ámbito de Estudio</p> <p>Carretera TA-644, tramo: Carretera nacional PE-1S – Emp. TA-642, distrito Yarada Los Palos, Tacna - 2023.</p> <p>Población</p> <p>Toda la carpeta asfáltica de la carretera en la Yarada Los Palos</p> <p>Muestra</p> <p>Carretera vecinal TA-644</p>