

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR  
MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS NO TRIPULADOS  
Y TELÉFONOS INTELIGENTES EN LA CARRETERA  
PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645,  
TACNA - 2022”

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. Luis Alfredo Curasi Trujillano**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

TACNA – PERÚ

2024


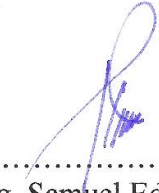

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR  
MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS NO TRIPULADOS Y TELÉFONOS  
INTELIGENTES EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A  
EMP. TA-645, TACNA - 2022”

Tesis sustentada y aprobada el día 27 de marzo de 2024 estando  
integrado el Jurado Calificador por:

**PRESIDENTE**  
: .....  
Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero**SECRETARIO**  
: .....  
Dr. Ing. Denny Geovanni Calderon Paniagua**VOCAL**  
: .....  
Mgr. Ing. Samuel Eduardo Amar Antezana**ASESOR DE TESIS**  
: .....  
Dr. Ing. Martín Paucara Rojas

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Dr. Ing. Martín Paucara Rojas**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 077-2023-FIAG/UNJBG de la tesis denominada: **“DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR MEDIANTE EL USO DE VEHÍCULOS NO TRIPULADOS Y TELÉFONOS INTELIGENTES EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645, TACNA - 2022”**, presentado por el Bachiller Luis Alfredo Curasi Trujillano, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software Antiplagio **TURNITIN** cuenta con el nivel de similitud cuyo porcentaje es 13%, por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

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

  
-----  
Firma de Asesor

DNI N°: 00451289

Nombre y apellidos del asesor: **Dr. Ing. Martín Paucara Rojas**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque es mi gran ayudador, y que ha permitido todo lo que he logrado al momento según sus propósitos eternos.

A mi madre, porque siempre ha confiado en mí, por enseñarme a amar y por su apoyo incondicional. A mi padre y mis hermanos, por ser parte de mi soporte y estar pendientes de mí.

A mis docentes que en varios momentos me impartieron conocimientos desde su experiencia profesional y de vida. Con especial mención a mi asesor Dr. Ing. Martín Paucara.

A los administrativos que me apoyaron de forma incondicional, la Sra. Juana Escobar, el Ing. César Avendaño, y a Juan, encargado de multimedia.

Y a mis amistades que se mostraron siempre amigos, y hasta aún más, como hermanos en estos últimos años. Haciendo mención especial a Daniel, Jonier, Crissbel, Ariadna y Elizabeth. Sin dejar de mencionar también a Juan Carlos, Samuel, Keyla, Claudia, Mayté, César y Yessica, Guido y Kerly, Luis Miguel, Yakelyn y mis amigos de la célula. Los tengo presentes, están en mis oraciones.

Luis Alfredo Curasi Trujillano

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien ha sido mi fortaleza en todo momento, por su gran amor que perdura para siempre.

A mis padres, mis hermanos y a todas mis amistades que me dieron soporte, consejo y palabras de ánimo.

Luis Alfredo Curasi Trujillano

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	4
DEDICATORIA.....	5
CONTENIDO.....	6
TABLAS.....	9
FIGURAS.....	12
RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	20
1.1. Antecedentes.....	20
1.1.1. Antecedentes Nacionales.....	20
1.1.2. Antecedentes Internacionales.....	25
1.2. Planteamiento del Problema.....	28
1.3. Formulación del Problema.....	31
1.3.1. Formulación Interrogativa del Problema General.....	31
1.3.2. Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos.....	31
1.4. Formulación de la Hipótesis.....	31
1.4.1. Hipótesis General.....	31
1.4.2. Hipótesis Específicas.....	32
1.5. Justificación.....	32
1.5.1. Justificación Técnico-Científica.....	33
1.5.2. Justificación Práctica.....	34
1.5.3. Justificación Económica.....	34
1.5.4. Justificación Social.....	34
1.6. Objetivos.....	35
1.6.1. Objetivo General.....	35
1.6.2. Objetivos Específicos.....	35
1.7. Operacionalización de Variables.....	36
1.7.1. Variable Dependiente.....	37

1.7.2. Variable Independiente .....	37
1.7.3. Escala de Medición .....	38
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>39</b>
2.1. Metodologías para Evaluación Superficial de Pavimento .....	39
2.1.1. Metodología PCI .....	39
2.1.2. Metodología IRI .....	41
2.2. Transitabilidad Vehicular .....	44
2.3. Correlación entre IRI y PSI .....	45
2.4. Uso de Fotografía Aérea para Evaluación de Pavimentos.....	47
2.5. Uso de Teléfonos Inteligentes para Evaluación de Pavimentos .....	47
2.5.1. IRI Regularidad Carreteras de ABAKAL .....	48
2.5.2. Total Pave IRI.....	51
2.5.3. Roadroid.....	51
2.5. Procesamiento de Imágenes Binarias para la Evaluación de Pavimentos .....	51
2.6. Procesamiento de Imágenes Tomadas por Fotogrametría para la Evaluación de Pavimentos.....	54
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>57</b>
3.1. Tipo de Investigación.....	57
3.2. Diseño de la Investigación .....	57
3.3. Población y Muestra de Estudio .....	58
3.3.1. Población.....	58
3.3.2. Muestra.....	58
3.4. Técnicas de Recolección de Datos.....	58
3.5. Materiales e Instrumentos .....	59
3.7. Análisis de Datos .....	60
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1. Resultados Obtenidos mediante el Cálculo de la Rugosidad con el Aplicativo ABAKAL IRI .....	61
4.1.1. Cálculo de la Rugosidad Obtenidos con el Aplicativo ABAKAL IRI.....	61
4.1.2. Imágenes Importadas de Evaluación del Aplicativo ABAKAL IRI.....	67
4.1.3. Cálculo del IRI Promedio y Clasificación del Estado de Pavimento Mediante el Índice IRI.....	68

4.1.4. Determinación de la Transitabilidad del Pavimento y Clasificación .....	69
4.2. Resultados Obtenidos con la Metodología PCI mediante ASTM D6433 Y	
Obtención de Imágenes.....	71
4.2.1. Cálculo de Unidades de Muestreo.....	71
4.2.2. Determinación de Unidades de Muestreo para Evaluación .....	72
4.2.3. Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección.....	73
4.2.4. Selección de Unidades de Muestreo Adicionales .....	75
4.2.5. Cálculo del PCI .....	75
4.2.5. Cuadro Resumen de Resultados y Cálculo del PCI Promedio.....	97
4.2.6. Cálculo del PCI Promedio de Toda la Sección de Pavimento .....	98
4.2.7. Determinación de la Transitabilidad del Pavimento y Clasificación .....	100
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	102
5.1. Calcular el Valor del Índice de Condición PCI Utilizando el Vehículo no Tripulado en la Carretera PE-1S, Tramo: TA-644 a TA-645 .....	102
5.2. Determinar la Transitabilidad Vehicular Utilizando un Vehículo no Tripulado en la Carretera PE-1S, Tramo: TA-644 a TA-645.....	103
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
5.1. Conclusiones .....	109
5.2. Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS .....	113
ANEXOS.....	119
Panel fotográfico.....	119
Resultados Obtenidos Utilizando el Formato PCI por Unidad de Muestra.....	123

## TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	36
<b>Tabla 2</b> <i>Rangos de clasificación del PCI</i> .....	40
<b>Tabla 3</b> <i>Tipos de fallas presentes en pavimento flexible</i> .....	41
<b>Tabla 4</b> <i>Estado vial, según la rugosidad</i> .....	44
<b>Tabla 5</b> <i>Escala de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)</i> .....	45
<b>Tabla 6</b> <i>Datos IRI de la Carretera Panamericana PE-1S utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, evaluados cada 100m. CALZADA DIRECCIÓN SUR</i> .....	61
<b>Tabla 7</b> <i>Datos IRI de la Carretera Panamericana PE-1S utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, evaluados cada 100m. CALZADA DIRECCIÓN NORTE</i> .....	63
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo ABAKAL</i> .....	68
<b>Tabla 9</b> <i>Calificación del estado del pavimento según la rugosidad</i> .....	69
<b>Tabla 10</b> <i>Calificación de la transitabilidad</i> .....	70
<b>Tabla 11</b> <i>Resultados de Transitabilidad</i> .....	71
<b>Tabla 12</b> <i>Unidades de muestras seleccionadas aleatoriamente para evaluar</i> .....	74
<b>Tabla 13</b> <i>Unidades de muestra adicionales</i> .....	75
<b>Tabla 14</b> <i>Proceso de fallas U-01</i> .....	76
<b>Tabla 15</b> <i>PCI y clasificación U-01</i> .....	76
<b>Tabla 16</b> <i>Proceso de fallas U-21</i> .....	77
<b>Tabla 17</b> <i>PCI y clasificación U-21</i> .....	77
<b>Tabla 18</b> <i>Proceso de fallas U-41</i> .....	78
<b>Tabla 19</b> <i>PCI y clasificación U-41</i> .....	78
<b>Tabla 20</b> <i>Proceso de fallas U-61</i> .....	79
<b>Tabla 21</b> <i>PCI y clasificación U-61</i> .....	79
<b>Tabla 22</b> <i>Proceso de fallas U-81</i> .....	80

<b>Tabla 23</b> <i>PCI y clasificación U-81</i> .....	80
<b>Tabla 24</b> <i>Proceso de fallas U-101</i> .....	81
<b>Tabla 25</b> <i>PCI y clasificación U-101</i> .....	81
<b>Tabla 26</b> <i>Proceso de fallas U-121</i> .....	82
<b>Tabla 27</b> <i>PCI y clasificación U-121</i> .....	82
<b>Tabla 28</b> <i>Proceso de fallas U-141</i> .....	83
<b>Tabla 29</b> <i>PCI y clasificación U-141</i> .....	83
<b>Tabla 30</b> <i>Proceso de fallas U-161</i> .....	84
<b>Tabla 31</b> <i>PCI y clasificación U-161</i> .....	84
<b>Tabla 32</b> <i>Proceso de fallas U-181</i> .....	85
<b>Tabla 33</b> <i>PCI y clasificación U-181</i> .....	85
<b>Tabla 34</b> <i>Proceso de fallas U-201</i> .....	86
<b>Tabla 35</b> <i>PCI y clasificación U-201</i> .....	86
<b>Tabla 36</b> <i>Proceso de fallas U-221</i> .....	87
<b>Tabla 37</b> <i>PCI y clasificación U-221</i> .....	87
<b>Tabla 38</b> <i>Proceso de fallas U-241</i> .....	88
<b>Tabla 39</b> <i>PCI y clasificación U-241</i> .....	88
<b>Tabla 40</b> <i>Proceso de fallas U-261</i> .....	89
<b>Tabla 41</b> <i>PCI y clasificación U-261</i> .....	89
<b>Tabla 42</b> <i>Proceso de fallas U-281</i> .....	90
<b>Tabla 43</b> <i>PCI y clasificación U-281</i> .....	91
<b>Tabla 44</b> <i>Proceso de fallas U-301</i> .....	91
<b>Tabla 45</b> <i>PCI y clasificación U-301</i> .....	91
<b>Tabla 46</b> <i>Proceso de fallas U-210</i> .....	92
<b>Tabla 47</b> <i>PCI y clasificación U-210</i> .....	93

<b>Tabla 48</b> <i>Proceso de fallas U-223</i> .....	93
<b>Tabla 49</b> <i>PCI y clasificación U-223</i> .....	94
<b>Tabla 50</b> <i>Proceso de fallas U-264</i> .....	94
<b>Tabla 51</b> <i>PCI y clasificación U-264</i> .....	95
<b>Tabla 52</b> <i>Proceso de fallas U-277</i> .....	95
<b>Tabla 53</b> <i>PCI y clasificación U-277</i> .....	96
<b>Tabla 54</b> <i>Proceso de fallas U-293</i> .....	96
<b>Tabla 55</b> <i>PCI y clasificación U-293</i> .....	97
<b>Tabla 56</b> <i>Resumen de las unidades de muestreo aleatorias</i> .....	97
<b>Tabla 57</b> <i>Resumen de las unidades de muestreo adicionales</i> .....	98
<b>Tabla 58</b> <i>Clasificación PCI según valor calculado</i> .....	99
<b>Tabla 59</b> <i>Calificación de la transitabilidad</i> .....	100

## FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Zona de investigación, carretera PE-1S, L=11,60 Km</i> .....	30
<b>Figura 2</b> <i>Representación de masa suspendida y no suspendida en el Modelo del Cuarto de Automóvil</i> .....	42
<b>Figura 3</b> <i>Vista del teléfono inteligente montado en un vehículo con el aplicativo IRI Abakal en operación</i> .....	49
<b>Figura 4</b> <i>Interfaz del aplicativo IRI Abakal</i> .....	50
<b>Figura 5</b> <i>Imagen digital donde se utiliza el filtro de mediana</i> .....	52
<b>Figura 6</b> <i>Grieta procesada a partir de un filtro de mediana y posteriormente a partir de un algoritmo de borde</i> .....	53
<b>Figura 7</b> <i>Ortofoto original con tránsito</i> .....	54
<b>Figura 8</b> <i>Ortofoto modificada sin tránsito</i> .....	55
<b>Figura 9</b> <i>Identificación visual y metrado de fallas del pavimento</i> .....	55
<b>Figura 10</b> <i>Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. Calzada Derecha - Dirección Sur</i> .....	66
<b>Figura 11</b> <i>Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. Calzada Izquierda - Dirección Norte</i> .....	66
<b>Figura 12</b> <i>Evaluación cada 100 m. Aplicativo ABAKAL IRI Calzada Derecha - Dirección Sur</i> .....	67
<b>Figura 13</b> <i>Evaluación cada 100 m. Aplicativo ABAKAL IRI Calzada Izquierda - Dirección Norte</i> .....	67

## RESUMEN

En la presente investigación se propone determinar el estado actual de la transitabilidad de la vía con el uso de la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI), mediante auscultación de captura de imágenes a diferencia del método tradicional in situ, y la medición del Índice de Rugosidad Internacional utilizando un aplicativo para teléfonos inteligentes llamado IRI ABAKAL. La metodología que se empleó fue, correlacionar la transitabilidad con IRI y también con PCI, uso de aplicativos móviles para teléfonos inteligente gracias a su herramienta de acelerómetros, y el segundo, se hizo la auscultación mediante imágenes con cámara digital de un teléfono inteligente, procesamiento manual y con binarización en Matlab, inspección en gabinete y registro mediante la norma ASTM D6433-20 de las diversas fallas presentes en el pavimento que fueron obtenidas.

En cuanto a los resultados, estos muestran que con la metodología PCI, se obtuvo un valor de 97.57 y esto representa una calificación “Excelente” del estado superficial del pavimento, y en términos de transitabilidad el valor es de 4.24 y califica como “Muy buena”. Se obtuvo un valor de IRI promedio igual 2,78 m/km, y en términos de transitabilidad, el valor es de 3.00 y califica como “Buena”.

De acuerdo con el análisis realizado, se concluye que la vía según el rango de calificación del PCI, se encuentra en la clasificación “Excelente”, lo cual se debe a la casi nula presencia de fallas sin mantenimiento dada la importancia de la vía en comercio y turismo, y por ser una vía concesionada. Además, que la transitabilidad vehicular utilizando un vehículo no tripulado es de “Muy buena”, y resulta tener el más alto nivel de transitabilidad vehicular debido a que se ha encontrado el PSI mediante correlación con el PCI, y este último valor se calificó como “Excelente”. Por otro lado, la

transitabilidad vehicular utilizando un teléfono inteligente es “Buena”, dado que este valor se ha calculado en función del IRI promedio, que mediante una ecuación correlativa se halló como 2.78 m/km, la misma que indica un estado vial “Bueno”. Finalmente, se ha comprobado que el método utilizado para hallar rugosidad mediante un teléfono inteligente y un aplicativo como IRI ABAKAL, resulta ser más económico y rápido, a comparación de otros métodos para hallar la transitabilidad, como es el de hallarlo a través de la metodología PCI tradicional.

**Palabras Claves:** Evaluación superficial del pavimento, índice de condición del pavimento, índice de rugosidad internacional, transitabilidad, índice de serviciabilidad presente, procesamiento de imágenes binarios, estado de conservación del pavimento.

## ABSTRACT.

The purpose of this thesis research is determine the current condition of the road's transitivity with the use of the Pavement Condition Index (PCI) methodology through auscultation of images captured by a camera phone, and the measurement of the International Roughness Index using an smartphone application called IRI ABAKAL. The methodology used was, first, the correlation between serviceability or transitivity and IRI and his correlation with PCI, the use of smartphone applications like ABAKAL thanks to their inner accelerometers, and second, auscultation done using images captured by a camera phone, manual processing, binarization in Matlab, office work and registration of the pavement failures using the ASTM D6433-20 guidelines.

The results shows that, from the PCI methodology, was obtained a value of 97.57 and this is classified as "Excellent" according to the PCI ratings, and in terms of transitivity the value is 4.24 and classifies as "Very good". The average IRI value calculated was 2.78 m/km, and in terms of transitivity, the value is 3.00 and classifies as "Good".

According to the analysis, is concluded that, the road, according to the PCI classification rating, is at "Excellent" classification, which is due to the almost zero presence of failures with no maintenance, also given the importance use of the road in commerce and tourism, and for being concessioned. Furthermore, the transitivity resulting from using the unmanned vehicle is classified as "Very good", and it turns out to have the highest classification of transitivity because of the PSI has been found through correlation with the PCI, and this PCI value was rated as "Excellent". On the other hand, transitivity using a smartphone is classified as "Good", given that this value has been calculated based on the average IRI, which through a correlative equation was found to be 2.78 m/km, which indicates a "Good" road condition. Finally, it has been

proven that the method used to find the road roughness using a smarthphone application such as IRI ABAKAL, turns out to be cheaper and quicker, compared to other methods to find transitability, such as calculating it through the traditional PCI methodology.

**Keywords:** Pavement surface evaluation, pavement condition index, PCI, international roughness index, IRI, transitability, present serviceability index, PSI, binary image processing.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación abordó el tema de la transitabilidad del pavimento de una carretera evaluada mediante dos índices utilizados comúnmente para caracterizar el estado actual de pavimento para su mantenimiento, estos son el índice de condición del pavimento (PCI) y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). El lugar de la investigación se realizó en la zona baja de Tacna, en la red vía nacional PE-1S, ubicada entre el empalme Hospicio y el empalme Santa Rosa en la región de Tacna, vía Tacna-Arica. Dada la importancia de esta carretera para el desarrollo comercial y turístico, y asimismo la búsqueda de metodologías de evaluación de pavimentos más económicas y al menor tiempo, es que se propone determinar el estado actual de la transitabilidad de la vía con el uso de la metodología Índice de Condición del Pavimento (PCI), mediante solo auscultación de captura de imágenes, y la medición del Índice de Rugosidad Internacional utilizando un aplicativo de teléfono inteligente llamado ABAKAL, siendo ambas metodologías distintas a las tradicionales. Esta alternativa de intervención del pavimento, busca también ser una base de investigación confiable a otros estudiantes, profesionales dedicados a la rama de transportes y a innovar la recolección de datos de manera automatizada.

Este tramo de la vía nacional PE-1S cuenta con un total de 11,6 km de longitud de pavimento, en los que se determina los parámetros de evaluación, estos son, la transitabilidad mediante el índice PSI (Índice de serviciabilidad presente), el estado de la superficie del pavimento mediante el PCI (Índice de condición del pavimento) y la rugosidad superficial del pavimento mediante el IRI (Índice de rugosidad internacional).

La metodología que se empleó fue, primero para el caso de la determinación de transitabilidad, mediante IRI, instalar el aplicativo móvil en un smartphone, y situarlo en

el parabrisas de una camioneta, la cual hace el recorrido del tramo a una velocidad constante de 80 km/h, con las condiciones en cuanto a coeficiente y tipo de cálculo ya previamente definidos y calibrados. El aplicativo determina automáticamente el IRI cada 100 metros, y se calcula el promedio de todo el tramo. Y en segundo lugar, para el caso de la determinación de la transitabilidad, mediante PCI, se hizo la auscultación mediante imágenes que son tomadas a lo largo de la vía con una cámara digital de smartphone acondicionada fijamente en un vehículo y ubicada estratégicamente para hacer capturas ortogonales, seguido de una inspección en gabinete y registro en formatos PCI de las diversas fallas presentes en el pavimento obtenidas, haciendo uso de inspección visual y procesamiento de imágenes binarizadas mediante Matlab. Luego se calcula siguiendo estrictamente el procedimiento del PCI según el ASTM D-6433 utilizando hojas de cálculo del software Microsoft Excel, el cual calcula el valor promedio de PCI. Y la metodología concluye, haciendo uso de ecuaciones que hallan el valor de transitabilidad o índice de serviciabilidad presente (PSI), gracias a su correlación con los valores de PCI e IRI, y se hace la comparación del valor PSI encontrado con estos dos índices para la evaluación del pavimento en estudio.

En el primer capítulo se muestran los aspectos generales de la presente tesis de investigación, en los cuales se hizo la revisión bibliográfica de los antecedentes en cuanto a tesis y artículos científicos, tanto de fuentes internacionales como nacionales, que trataron el mismo tema estudiado. También se detalla el planteamiento de problema, la formulación del problema, las hipótesis, la justificación y los objetivos propuestos a determinar tras el estudio de la presente investigación.

En el segundo capítulo, se abarca el marco teórico, en donde se hace una revisión bibliográfica para explicar los diferentes conceptos en cuanto a las variables de estudio,

como son la transitabilidad, PCI, rugosidad y la correlación de estos, asimismo también el uso de métodos alternativos como el de teléfonos inteligentes.

En el tercer capítulo, se trató del marco metodológico, donde se viene a definir el tipo de investigación que se realiza, el diseño de investigación, se define también la población y muestra a investigar, la técnica de recolección de datos, el análisis de datos, como también los distintos materiales e instrumentos que fueron utilizados para lograr los objetivos de la investigación.

En el cuarto capítulo, se comprende la presentación de los resultados de la investigación, ordenando en primer lugar los obtenidos mediante el cálculo de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI, y en segundo lugar, los obtenidos con la metodología PCI mediante ASTM D6433 y obtención de imágenes. Asimismo, se detalla el cálculo que llevó al resultado del PCI, IRI y transitabilidad mediante el índice PSI.

En el quinto capítulo, se muestran los principales resultados obtenidos en la investigación y la discusión de estos, en función de cada uno de los objetivos específicos.

Y en el sexto capítulo, encontramos las conclusiones que se consideraron describir tras haber culminado la investigación y tener los resultados mostrados anteriormente, y también las recomendaciones que son dirigidas a las autoridades que les compete el problema de investigación tratado, como las encargadas de la gestión de las vías, estos son, municipalidades y posiblemente también concesiones privadas. También se dan algunas recomendaciones a estudiantes que realicen futuras investigaciones en el tema estudiado.

## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. Antecedentes

##### *1.1.1. Antecedentes Nacionales*

Oblitas et al. (2021) en su investigación titulada: “Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos”, en una revisión sistemática bibliográfica, identificó las características relevantes de los métodos IRI y PCI para determinar los niveles de serviciabilidad en pavimentos flexibles. Los investigadores consideraron una muestra conformada por 29 fuentes de investigación tomadas de diversas revistas indexadas y tesis de repositorios de universidades nacionales e internacionales. Se empleó el gestor de búsquedas de Mendeley, y para el análisis y procesamiento de la información se usó una matriz de selección de fuentes; como resultado se obtuvo que valores bajos de IRI brinda al usuario comodidad al transitar, sin embargo, se recomienda un valor mínimo de 1.5m/Km en caminos pavimentados para evitar derrapes y accidentes. Asimismo, tanto el método IRI y PCI permite tener un mejor sistema de gestión de mantenimiento al poder tener datos actualizados en un software geográfico con mapas detallando la condición real del deterioro y así optimizar recursos. Tras el análisis se concluyó que el método IRI define si una carretera está cumpliendo con el nivel de servicio, tiene un nivel de confianza alto en comparación con otros índices, y valores bajos de IRI representan un estado de pavimento en buenas condiciones. Por otra parte, el método PCI permite hallar los niveles de serviciabilidad mediante inspección visual, y se puede determinar la intervención adecuada por tramo de vía. Ambos métodos permiten tener un buen criterio técnico para optimizar los recursos, al intervenir focalizada y oportunamente.

Quispe et al. (2020) en su artículo de investigación “Pavement management system to improve local road administration using PCI, IRI and PSI for pavement failures identification”, desarrollado en el distrito Surquillo en Lima, Perú. Identificó un apropiado sistema de gestión de pavimentos (Pavement Management System “PMS”) para vías urbanas de municipalidades con presupuesto limitado, de modo que se pueda ahorrar significativamente en la operación; a través de metodologías de identificación de defectos tales como el índice de condición del pavimento (PCI), índice de rugosidad internacional (IRI) e índice de serviciabilidad presente (PSI). Los investigadores consideraron una vía local de pavimento flexible construida en 1960, proyectada inicialmente 20 años de vida útil, tráfico promedio diario de 1728 vehículos, en hora pico 474 vehículos, ubicada en un área comercial, y bajo la administración de un ente gubernamental con presupuesto limitado; en donde se utilizó las metodologías PCI mediante inspección visual, IRI mediante el aplicativo móvil Roadroid y el Índice de Serviciabilidad Presente mediante correlación con el IRI; y se encontró que con el índice PCI, se obtuvo un valor promedio de 58 que es una condición “Buena”, empleando IRI se obtuvo un valor promedio de 2.41 m/km lo cual también califica como “Bueno” y en PSI, valores de 2.05 a 3.63 lo cual señala una serviciabilidad de “Regular” a “Buena”, para los 11 sectores de la vía en estudio. Además, que, aplicando el sistema de gestión propuesto, representaría solo el 20.55% de inversión a comparación del que se gastaría haciendo la reconstrucción de los sectores 1 y 2. Tras el análisis se concluyó que este Sistema de Gestión de Pavimentos propuesto, no es muy complejo de emplear, simplifica la toma de decisiones al ente encargado, optimiza sus recursos y asegura la serviciabilidad durante la vida útil proyectada.

Espinoza y Mendoza (2023) en su tesis de investigación “Estado superficial del

pavimento flexible mediante las metodologías PCI, VIZIR y el aplicativo IRI en la avenida cincuentenario, Hualmay – 2023” desarrollada en la provincia de Huaura, Perú. Tuvo el objetivo de averiguar cuál es el estado actual del pavimento, mediante tres distintas metodologías y determinar cuál de estas es la más eficiente e indicada para utilizar en futuros estudios de condición de pavimento. Para ello se utilizaron como instrumento fichas de recolección a fin de identificar y anotar cada falla, además del software EVALPAV, como apoyo en los cálculos del método PCI, por último, el aplicativo IRI ABAKAL para calcular la rugosidad del pavimento y obtener los datos del Método IRI. Se concluyó que, el método PCI es el más eficiente y exacto para el cálculo de las fallas, por su profundo estudio a cada tipo de falla, a diferencia de los métodos restantes.

Rios y Torres (2022) en su investigación de grado “Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura”, se enfoca en obtener el Índice de Regularidad Internacional (IRI) de la carretera PE-18, una carretera de primera clase que une las ciudades de Huánuco - Tingo María, tramo km 30+000 – 60+000. Como muestra de estudio se tiene una longitud de la carretera estudiada de 30 km, con una sección de calzada entre 6.50m a 7.0m. Las mediciones se realizaron con los aplicativos móviles Abakal y TotalPave, a fin de determinar el nivel de servicio de la superficie de rodadura. Su metodología consistió en la planificación de los trabajos de campo y la preparación de los aplicativos móviles Abakal y Total Pave, ambos instalados en dos teléfonos smartphome, y estos en un automóvil que operaba con velocidades entre 35 a 70 km/h. Como resultado, se contrasta que el IRI obtenido con el perfilómetro laser es de 2.35 m/km, mientras que con el aplicativo TotalPave es 3.53 m/km y con el Abakal es 3.62 m/km. Finalmente, se obtuvo el grado de confiabilidad de estos, con respecto al perfilómetro laser, obteniendo que el

aplicativo Total Pave tiene un grado de confiabilidad de 75.52%, y el aplicativo Abakal un grado de confiabilidad de 67.35%.

Arce (2021) en su investigación “Cálculo de índice de rugosidad internacional (IRI) usando el aplicativo ABAKAL para smartphone en la avenida universitaria del distrito de Pillco Marca – 2020”, se realizaron estudios en el tramo de 1.3 km de la avenida universitaria del Distrito de Pillcomarca. El objetivo fue determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) usando el aplicativo ABAKAL para Smartphone, para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos y una gestión de mantenimiento en base a acciones de conservación o rehabilitación. Se concluyó, que en donde se efectuaron las respectivas pruebas para obtener el IRI y contrastar los datos con el método tradicional, los resultados fueron óptimos y tras comparación de los resultados se obtuvieron valores similares, lo que indica la efectividad en el uso del aplicativo para Smartphone denominado ABAKAL.

Chipana (2022) en la investigación que presenta “Evaluación superficial del pavimento flexible utilizando la metodología del PCI y el procesamiento de imágenes binarios en la red vial nacional PE-40, tramo: km 14+145 – km 20+629, Tacna – 2022”, realizada en la red vial nacional PE-40, vía ubicada entre los distritos de Calana y Pachía en la región de Tacna, tiene el objetivo de determinar el estado actual de condición de la vía con el uso de la metodología Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el procesamiento de imágenes binarios. Se tiene una muestra total de 6484m de longitud de pavimento, el cual se reduce en 15 unidades de muestra que se analizaron bajo la metodología PCI. El estudio se realizó mediante una inspección con fotografías ortogonales que son tomadas a lo largo de la vía con una cámara digital acondicionada en un vehículo y con el uso de diagramas PCI para el registro de las diversas fallas presentes en el pavimento obtenidas con ayuda de procesamiento de las imágenes binarizadas, en

el software Matlab, haciendo uso del procedimiento del PCI según el ASTM D6433 utilizando hojas de cálculo del software Microsoft Excel. Como resultado se obtuvo un índice de condición de pavimento de 63.07 el cual determina un estado de conservación del pavimento como BUENO.

Mozo y Quispe (2019) en su tesis de investigación “Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) y ROADROID en el circuito humedal Lucre-Huacarpay” llevada a cabo en el circuito humedal Lucre-Huacarpay, en un tramo de 8.27 km de pavimento. Tiene como objetivo determinar el grado de deterioro del pavimento flexible y también su índice de serviciabilidad. Para la correcta evaluación se hizo uso de formatos de recolección de datos e instrumentos de ingeniería, uso del método PCI (pavement condition index) y el aplicativo Roadroid para determinar el índice de serviciabilidad. Entre los resultados se obtuvo un valor de  $PCI = 22.87$  lo cual significa un estado “Muy Malo”, y se determinó que el índice de serviciabilidad presente (PSI) mediante el aplicativo Roadroid es de  $PSI = 2.814$  (sentido de ida) y  $PSI = 2.813$  (sentido de vuelta) enunciando de esta manera un índice de serviciabilidad “Regular”.

Lanado (2021) en su tesis de grado “Determinación del índice de serviciabilidad e índice de condición del pavimento de la ruta cu-100 tramo Izcuchaca-Huarocondo, utilizando el rugosímetro de merlín y dron”, tiene como objetivo determinar el estado actual del pavimento flexible, aplicando los métodos de Índice de Serviciabilidad de Pavimento (PSI) y el Índice de Condición de Pavimento (PCI). Para la determinación del PSI, se midió la regularidad superficial de la vía utilizando el rugosímetro de Merlín, efectuando ensayos basados en la norma ASTM E867 – 06 (Standard Terminology Relating To Vehicle – Pavement Systems), para la determinación del PCI, se realizó el diagnóstico visual de fallas en el programa CIVIL 3D, con apoyo de un levantamiento de

imágenes georreferenciadas con la ayuda del DRONE, para las unidades de muestreo aplicando el método del PCI, basado en la norma ASTM D6433 – 07 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys). Del estudio realizado se obtuvo para el carril derecho un IRI de 4.87 m/km (“Malo”) y para el izquierdo un IRI de 4.14 m/km (“Malo”), también se obtuvo un PSI para el carril derecho de 2.11 m/km (“REGULAR”) y para el izquierdo se obtuvo un PSI de 2.38 m/km (“REGULAR”). El resultado del índice de condición de pavimento PCI = 45 (calificación “REGULAR”), por lo tanto, la vía necesita una intervención de REHABILITACION.

### ***1.1.2. Antecedentes Internacionales***

Menéndez (2022) en la tesis de grado “Análisis del índice de rugosidad internacional de la superficie del pavimento flexible de la vía Colimes-Paján, utilizando equipos inteligentes”, se buscó analizar la regularidad superficial mediante el índice de rugosidad con aplicaciones móviles y comprobar la similitud que existe entre los resultados obtenidos. Para ello se aplicó la metodología investigativa junto con el uso de las aplicaciones Móviles IRI Calculator (ABAKAL) y Totalpave, las cuales miden la regularidad superficial del pavimento mediante los sensores que poseen los terminales móviles y se orientan mediante el GPS que integran. Las lecturas tomadas con la aplicación TOTALPAVE determinaron valores de IRI de 1,87m/km hasta 7,11m/km, y con IRI Calculator los valores variaron entre 2,26m/km y 5,11m/km, y mediante una correlación se determinó el valor del índice de serviciabilidad de 3,51. Se concluyó que los valores de IRI varían y un tramo de la vía está en pésimo estado, y en cuanto a serviciabilidad del pavimento se determinó la vía con buena transitabilidad.

Reyes (2020) en su investigación de tesis titulada “Determinación del índice de rugosidad internacional en la av. La prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro

de Merlín”, realizada en la ciudad del Cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador; se buscó determinar la regularidad superficial usando dos aplicaciones móviles y el software de análisis Vial ProVAL y compararlo con respecto al rugosímetro de Merlín. Para poder desarrollar la investigación, se realizó el ensayo de regularidad superficial del pavimento de la Avenida La Prensa desde la abscisa 0+000 hasta la abscisa 0+945 usando el Rugosímetro de MERLIN, la aplicación Total PAVE IRI, la aplicación IRI Calculator y por último con un levantamiento previamente realizado se procedió a ejecutar el análisis con el software ProVAL. Las lecturas tomadas del IRI determinaron que la rugosidad de la Avenida la Prensa varía desde los 2m/km. Clasificándolo como un pavimento nuevo. La correlación del IRI con el PSI proporcionó un valor de serviciabilidad de 3,31 y reflejó un valor cualitativo de la Transitabilidad clasificándolo como Bueno.

Tene (2022), en su investigación de tesis de maestría “Metodología para la evaluación de vías rurales, considerando la regularidad superficial de pavimentos Flexibles: estudio caso vía Santa Rosa, Bellavista, La Avanzada del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro”, realizado en una vía en Ecuador, se buscó elaborar una metodología para evaluar vías rurales, considerando la regularidad superficial, en función de los índices IRI, PSI y PCI. Se obtuvieron valores del PCI=58, que caracteriza a la vía como Buena. Mientras que el IRI se obtuvo un resultado de 3.68 m/km y por ende se la calificó como Buena. Con el valor del IRI promedio se procedió a encontrar el valor del PSI, proporcionándonos un valor de 3.16 y caracterizando la serviciabilidad como Buena.

Cruz y Gutiérrez (2019) en su investigación “Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT)”, publicada en la revista “Métodos y Materiales” de la Universidad de Costa Rica. Desarrollada en el distrito de Ate, Lima -Perú. Calculó el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en vías urbanas, empleando las imágenes obtenidas con Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) para

comprobar las ventajas o desventajas que tendría ante los resultados obtenidos con el método tradicional. Los investigadores consideraron estudiar la vía de prueba ubicada en la Av. Separadora Industrial entre las cuadras 8 y 10, siendo el tipo de pavimento flexible, con una longitud de 520m y ancho de calzada 6m; en donde se utilizó para la obtención de fotografías aéreas un dron multi-rotor DJI Phantom 4 Pro y para el procesamiento de imágenes el software Pix4dMapper Pro. En la comparación de resultados del valor de PCI con el método tradicional y el uso de VANT, se obtuvieron en algunas muestras el mismo valor y en otras un máximo 8 de diferencia, lo cual resultado ser cercano. Además, en cuanto a rendimientos con el método tradicional se evaluaron 7 unidades de muestra en un tiempo de 5 horas y media, mientras que, con el Método VANT se levantó la información de las 13 unidades de muestra en 7 minutos, luego en gabinete el tiempo total de procesamiento, edición de la ortofoto, inspección y elaboración de planos fue de 4 horas y media. Tras el análisis se concluyó que el método que emplea VANT demanda menor tiempo y menos personal que el método tradicional, sin descuidar los resultados de PCI dado que fueron cercanos. Además, permite una evaluación sin cierre de vías y por ende no genera tráfico y es más seguro para los inspectores; y también con la ortofoto generada se puede analizar varias veces, hacer seguimiento de la evolución de las fallas, elaborar planos de fallas y con la georreferenciación hacer una mejor gestión de actividades de mantenimiento y/o rehabilitación.

Hoang (2017) en su investigación publicada en la Revista internacional de investigación y tecnología de ingeniería (IJERT), “Investigación sobre la correlación entre el índice de rugosidad internacional (IRI) y el índice de capacidad de servicio actual (PSI), recomendaciones sobre tasas de evaluación en las condiciones de Vietnam”, en las carreteras del norte de Vietnam en Thanhxuan, Hanoi. Estudió la correlación entre el

índice de rugosidad internacional (IRI) y el índice de servicio actual (PSI) del pavimento con base en los datos experimentales recopilados utilizando ARRB - Australia's equipo especializado y moderno (Hawkeye). Los investigadores consideraron una serie de rutas de carreteras nacionales de pavimento de hormigón asfáltico entre ellas la “National Highway 2 (NH2)” cuya progresiva es Km 31+00 al Km 36+00, “National Highway 5 (NH5)”, progresiva Km 12+00 a Km17+00 y la “National Highway 6 (NH6)”, progresiva Km 38+00 to Km 43+00; en las que se usaron el Equipo especializado de inspección Hawkeyes de la Junta Australiana de Investigación de Carreteras (ARRB) y la Prueba de hipótesis estadística de Kolmogorov para el análisis estadístico y determinación de la correlación. Y se determinó una fórmula adaptada a las condiciones locales capaz de correlacionar los índices PSI e IRI con un  $R^2$  de 0.8542 a 0.9405 con una confiabilidad del 95%. Tras el análisis se concluyó que, hay una cercana correlación entre PSI e IRI para el pavimento asfáltica de las rutas en estudio.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

A nivel mundial, la red de vías es transcendental para el desarrollo y crecimiento de cada país, dado que es el único medio que permite el transporte de las personas y cargas con mayor accesibilidad, asimismo, hacen posible atender las necesidades básicas, principales actividades de un país. En aquellos países que sí tienen un apropiado desarrollo en transporte los costos de movilidad son inferiores, mientras que en países subdesarrollados que suelen tener mayor cantidad de tramos deteriorados se alcanzan los costos de traslado. Por este motivo, es clave para todo país desarrollar su red vial al ser el principal modo con el cual se logra satisfacer no solo el turismo sino atender las necesidades esenciales de la población (Rivera, 2015). Los países en desarrollo afrontan un doble problema que los desafía: dar garantía que todos tengan acceso a una

transitabilidad eficiente, segura y económica, y alcanzar este objetivo con una huella climática mucho menor. Sin embargo, ya siendo un costo inicial alto, para el posterior mantenimiento los métodos de evaluación e inspección de pavimentos en campo utilizados son lentos, requieren mucho personal y son costosos (Cruz y Gutiérrez, 2019). Para atender ello, el Banco Mundial (2023), señala encaminar el uso de nuevas tecnologías, para lo cual está trabajando con los países para implementar enfoques que logren hacer más eficientes la infraestructura y servicios de transporte.

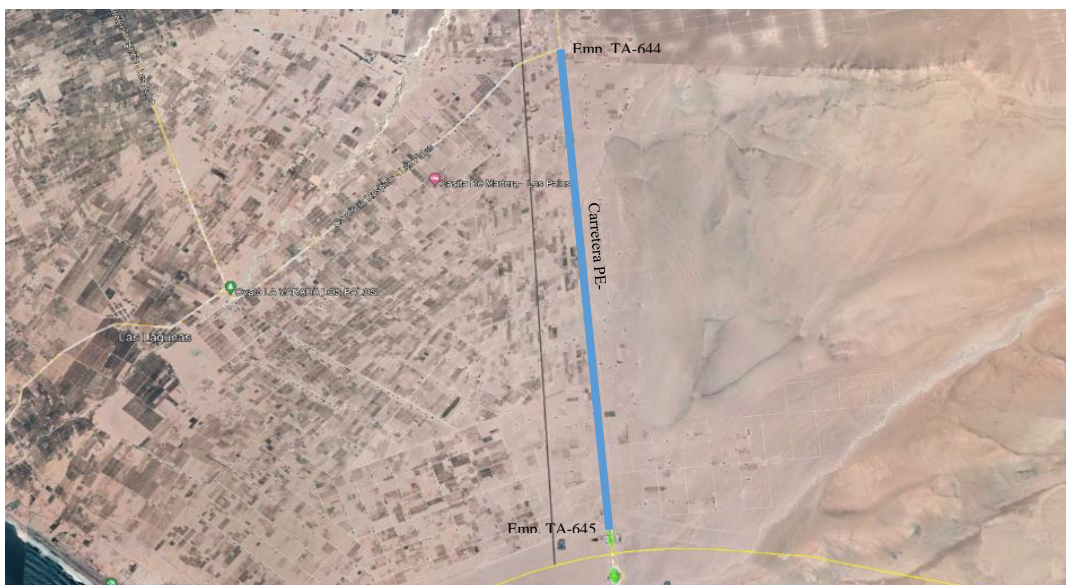
A nivel nacional, se conoce que el mayor porcentaje (31 % a corto plazo y 44% a largo plazo) de la brecha de infraestructura se concentra en el sector transportes, esto es un posible indicador que es el área que mayor atención requiere para la planificación y metodologías y así cerrar las brechas, así también es importante la sostenibilidad de los planes estratégicos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019). Debido a las deficiencias en la gobernabilidad, geografía difícil y cambiante, y vulnerabilidad ante eventos climáticos, el país tiene un gran desafío en adecuar la red vial nacional a las necesidades, por ello se ha ido considerando concesionar, es decir, mediante inversión privada, y así lograr mantener una transitabilidad en óptimas condiciones, no pudiendo ser caso, generalmente, el de las vías vecinales que están a cargo de gobiernos locales (Banco de Desarrollo de América Latina, 2020). Ante esta problemática, durante los últimos años, se ha venido desarrollando alternativamente nuevas metodologías para la evaluación de pavimentos, las cuales permiten dar recomendaciones adecuadas para el mantenimiento y para la gestión de conservación vial.

La vía en estudio comprende 11.6 km de longitud aproximadamente, que está sujeta a un tráfico importante de vehículos, y está concesionada por Concesionaria Peruana de Vías – Covinca S.A. Se tiene el registro que transitaron 164,879 vehículos

ligeros y 92,704 vehículos pesados en el mes de mayo de 2023, en el tramo Dv. Quilca-La Concordia, tramo al cual pertenece la vía Tacna-Arica, según Ositrán (2023) mediante información de las concesionarias, y que transitan en promedio 1.3 millones de vehículos por el paso fronterizo Tacna-Arica (MTC, 2019). Por lo que hacer una evaluación del pavimento mediante la metodología tradicional de PCI ASTM 6433-07 necesitaría interrumpir el flujo de tránsito normal por varias horas, y se puede evaluar la necesidad de una metodología alternativa mediante auscultación con captura de imágenes. Asimismo, utilizar la metodología tradicional de hallar la rugosidad con IRI con el rugosímetro de merlín, requeriría también un manejo del tránsito y al ser la longitud de la vía tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645 bastante larga, implica recurso humano, de tiempo y económico altos, por lo que también el uso de metodologías con nuevas tecnologías, como el uso de teléfonos inteligentes, podría ser una buena alternativa para optimizar la evaluación de la transitabilidad.

### Figura 1

*Zona de investigación, carretera PE-1S, L=11,60 Km.*



*Nota.* En la figura se aprecia la zona de investigación, carretera PE-1S de 7,20 m de calzada, longitud de 11.60 km, tomado del Google Earth.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### ***1.3.1. Formulación Interrogativa del Problema General***

¿De qué manera el uso de vehículos no tripulados y el teléfono inteligente determinará la transitabilidad vehicular en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022?

#### ***1.3.2. Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos***

- a) ¿Cuál es el valor determinado del índice de condición PCI utilizando el vehículo no tripulado en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022?
- b) ¿En qué medida el uso del vehículo no tripulado determinará la transitabilidad vehicular en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022?
- c) ¿En qué medida el uso del teléfono inteligente determinará la transitabilidad vehicular en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022?

### **1.4. Formulación de la Hipótesis**

#### ***1.4.1. Hipótesis General***

El uso del vehículo no tripulado y teléfono inteligente optimizará la determinación de la transitabilidad vehicular en la carretera PE-1S, tramo: TA-644 a TA-645, Tacna – 2022.

#### ***1.4.2. Hipótesis Específicas***

- El cálculo del índice de condición PCI obtenido con el vehículo no tripulado en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a TA-645, Tacna-2022, son confiables.
- La determinación de la transitabilidad vehicular utilizando un vehículo no tripulado son fiables, en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022.
- La determinación de la transitabilidad vehicular usando el Teléfono inteligente reduce el tiempo en evaluar la rugosidad en la carretera PE-1S, tramo: TA-644 a TA-645, Tacna - 2022.

#### **1.5. Justificación**

Este trabajo de investigación se justifica desde los siguientes puntos de vista: En vías de tramos largos y con tráfico de importancia, hacer una evaluación del pavimento mediante la metodología tradicional de PCI ASTM 6433-07 necesitaría interrumpir el flujo de tránsito normal por varias horas, por lo que evaluar la necesidad de una metodología alternativa mediante auscultación con captura de imágenes resultaría beneficioso. Además, que, los datos obtenidos mediante auscultación con imágenes fotográficas hacen posible analizar las veces que sean necesarias sin programar más salidas a campo. Asimismo, utilizar la metodología tradicional de hallar la rugosidad con IRI con el rugosímetro de merlín, requeriría también un manejo del tránsito y al ser la

longitud de la vía tramo extensa, implica recurso humano, de tiempo y económico altos, por lo que también el uso de metodologías con nuevas tecnologías, como el uso de teléfonos inteligentes, es una buena alternativa para optimizar la evaluación de la transitabilidad.

El aporte que se propone con el presente trabajo de investigación, es complementar el estudio de tecnologías empleadas en la evaluación de pavimentos flexibles, estos son, el uso de teléfonos inteligentes y aplicativos móviles para hallar la rugosidad y serviciabilidad, y el uso de vehículo aéreo no tripulado para capturar imágenes ortogonales de las vías y posteriormente hacer la auscultación de las fallas.

Por lo que los principales beneficiados con esta investigación, además de los usuarios directos de la vía, son el ente o concesión encargado del mantenimiento y operación de vías, dado que están encargadas de mantener un buen nivel de servicio de sus vías y al tener metodologías más prácticas, económicas y no menos efectivas para las inspecciones, reduciría costos de recurso humano, tiempo y económicos.

### ***1.5.1. Justificación Técnico-Científica***

El proyecto de tesis “DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR MEDIANTE EL USO DE VEHICULOS NO TRIPULADOS Y TELÉFONOS INTELIGENTES EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645, TACNA - 2022” tiene como finalidad principal evaluar la condición superficial del pavimento flexible, determinando el PSI y PCI, IRI y la transitabilidad, para conocer el estado actual de esta vía de comunicación.

### ***1.5.2. Justificación Práctica***

Mediante esta investigación es posible encontrar soluciones rápidas y novedosas a los problemas de transitabilidad y la rugosidad (IRI), los ingenieros de transporte deben manejar los parámetros establecidos en el uso de los aplicativos ABAKAL como también en el de auscultación con imágenes fotográficas, estos son valores obtenidos del Índice de rugosidad internacional, confiables para determinar la transitabilidad y generar propuestas de diseño, rehabilitación, reconstrucción y otros planteamientos como alternativas de solución. Esta presencia de una serie de fallas de alta severidad que se presentan en la capa de rodadura del pavimento, son las que generan desgaste, mayor consumo de combustible y desgaste de los vehículos que transitan por la avenida investigada.

### ***1.5.3. Justificación Económica***

Se conoce que los métodos tradicionales resultan costosos a comparación del método propuesta en la presente tesis, además de que son más tediosos en largos tramos. Ir comprobando la eficiencia de métodos más modernos de evaluación de la transitabilidad de las vías, e ir desarrollándolas tras ver sus deficiencias, resultará en proyectos más económicos para los gobiernos y sobre todo tendrá un impacto social económico al poder ser más frecuente el mantenimiento de estos. Por tanto, mediante la presente investigación, permitirá un ahorro para el gobierno y la población, también mayor factibilidad de los proyectos de mantenimiento, así como evaluaciones rápidas económicas a los ingenieros de carreteras.

### ***1.5.4. Justificación Social***

Gracias a esta investigación se permitirá mejorar la calidad de vida de la población de Tacna, Arica y transeúntes recurrentes en la zona investigada porque así los usuarios pueden trasladarse con la comodidad y seguridad al visitar las ciudades vecinas como también en su movilidad diaria para trabajar, como también a los usuarios que trabajan con empresas de transporte. Los resultados de investigación nos ayudarán a conocer alternativas de solución, para mejorar las medidas de confort y seguridad para los involucrados.

## **1.6. Objetivos**

### ***1.6.1. Objetivo General***

- Determinar cómo el uso de un vehículo no tripulado y teléfonos inteligentes optimiza la transitabilidad vehicular, en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022.

### ***1.6.2. Objetivos Específicos***

- Calcular el valor del índice de condición PCI utilizando el vehículo no tripulado en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022.
- Determinar la transitabilidad vehicular utilizando un vehículo no tripulado en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022.
- Determinar la transitabilidad vehicular utilizando un teléfono inteligente en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, Tacna - 2022.

## 1.7. Operacionalización de Variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

<b>Variab</b>	<b>Definición conceptual y operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Unidad</b>
<b>Variable independiente:</b>				
Uso de vehículos no tripulados y teléfonos inteligentes	<b>Conceptual:</b> Equipo controlado por un operador en forma remota, no tiene piloto a bordo. <b>Operacional:</b> Plan de para toma de fotografías binarias.	Planificación de captura de imágenes.	Aplicativo móvil Lens Buddy - cámara digital de iPhone 12.	m2
	<b>Conceptual:</b> Funcionalidad avanzada mediante aplicativos en dispositivo móvil. <b>Operacional:</b> Evaluación de la rugosidad del pavimento flexible.	Inspección de fallas. IRI a cada 100m.	Software Matlab. Aplicativo móvil ABAKAL IRI.	
<b>Variable dependiente:</b>				
Transitabilidad vehicular	<b>Conceptual:</b> Calidad de la superficie y el estado del pavimento percibido por el usuario. <b>Operacional:</b> Calidad desde muy	Valor PCI. Valor IRI promedio. Transitabilidad	Hojas de cálculo	Muy mala Mala Regular Buena Muy buena

---

mala hasta muy buena  
en condiciones de  
servicio.

---

*Nota.* Elaboración propia.

### ***1.7.1. Variable Dependiente***

Transitabilidad vehicular

- **Definición conceptual**

Calidad de la superficie y el estado del pavimento percibido por el usuario

- **Definición operacional**

Calidad desde muy bajo hasta excelente en condiciones de servicio.

- **Indicadores:**

-Evaluación de pavimentos.

-Evaluación superficial.

-Transitabilidad

### ***1.7.2. Variable Independiente***

**Uso de vehículos no tripulados y teléfonos inteligentes**

- **Definición conceptual.**

Uso de vehículo no tripulado: Equipo controlado por un operador en forma remota, no tiene piloto a bordo.

Uso de teléfono inteligente: Funcionalidad avanzada mediante aplicativos en dispositivo móvil.

- **Definición operacional.**

Uso de vehículo no tripulado: Plan de vuelo para toma de fotografías binarias.

Uso de teléfono inteligente: Evaluación de la rugosidad del pavimento flexible.

**Indicadores:**

-Planificación del vuelo

-Procesamiento de datos en imagen

-Inspección de fallas

-Determinación del IRI

-Determinación de la transitabilidad

**1.7.3. Escala de Medición**

La transitabilidad se medirá con la escala ordinal: Muy bajo hasta excelente.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Metodologías para Evaluación Superficial de Pavimento

##### 2.1.1. Metodología PCI

La metodología PCI (en inglés “Pavement Condition Index”, y en español “Índice de condición del pavimento”) es una metodología empleada para evaluar el estado actual del pavimento, en cuanto a su integridad estructural y su estado funcional (Espinoza y Mendoza, 2023). La metodología resulta en un índice (PCI) numérico el cual representa la cuantificación del estado del pavimento tras la evaluación (Oblitas, 2021). Los parámetros usados para la evaluación son: el tipo de falla, el grado de severidad y el área de daño en el pavimento. El índice presenta una escala del 0 (condición "Fallado") a 100 (condición "Excelente") y es evaluado por secciones seleccionados según las condiciones geométricas de la vía y el tipo de pavimento (Quispe, 2020). La metodología, consta de dos etapas, la primera en campo y la segunda en gabinete. El trabajo en campo consiste en observar y medir el área dañada, reconociendo el tipo de falla en función de su densidad afectada y severidad mediante los siguientes niveles: baja (L), media (M) y alta (H) (Oblitas, 2021). Estas fallas son registradas con fotografías y anotadas en un formato, que permitirá ordenar la información registrada por secciones. Mientras que, el trabajo de gabinete, comprende realizar los cálculos y se hacen de acuerdo a lo señalado en la norma ASTM D6433 - 18 standard, generalmente con apoyo de hojas de cálculo. (Quispe, 2020).

En el cuadro siguiente se muestra los rangos de PCI con la respectiva descripción cualitativa de la condición actual del pavimento:

**Tabla 2***Rangos de clasificación del PCI*

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-56	Bueno
55-41	Regular
40-26	Malo
25-11	Muy malo
10-0	Fallado

*Nota.* Vásquez (2022)

La metodología PCI, no requiere de equipos sofisticados, solo lo básico para la inspección visual como una regla, flexómetro, cinta, libreta de campo, cámara fotográfica y conos de seguridad (Tene, 2022). No requiere tampoco de ensayos destructivos, por ende, es de fácil aplicación y una herramienta muy práctica para la evaluación de pavimentos dado que proporciona información útil de la fiabilidad estructural y el nivel de servicio que ofrecen las carreteras (Espinoza y Mendoza, 2023).

Esta metodología fue desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers) para el sistema de gestión de pavimento PAVER (Bryce, 2019). Asimismo, también se indica en tal investigación que, son 19 tipos de fallas las que son examinadas en el pavimento para el cálculo de PCI, incluyendo pavimento flexible y rígido, las cuales basadas en su tipo y severidad se cuantifican en valores deducidos que se restan de un valor base de 100 (“Excelente”) para encontrar el valor PCI de tal sección de pavimento analizado (Bryce, 2019).

En la evaluación mediante la metodología PCI, se han de identificar las fallas entre los 19 tipos que se señalan en la normativa del ASTM D6433-03 “Procedimiento

Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos”:

**Tabla 3**

*Tipos de fallas presentes en pavimento flexible*

N°	Falla	Unidad
1	Piel de cocodrilo	M <sup>2</sup>
2	Exudación	M <sup>2</sup>
3	Agrietamiento en bloque	M <sup>2</sup>
4	Abultamiento y hundimientos	M
5	Corrugación	M <sup>2</sup>
6	Depresión	M <sup>2</sup>
7	Grieta de borde	M
8	Grieta de reflexión de junta	M
9	Desnivel carril/berma	M
10	Grietas longitudinales y transversales	M
11	Parchado y acometida de servicios públicos	M <sup>2</sup>
12	Pulimiento de agregado	M <sup>2</sup>
13	Huecos	Unid
14	Cruce de vía férrea	M <sup>2</sup>
15	Ahuellamiento	M <sup>2</sup>
16	Desplazamiento	M <sup>2</sup>
17	Grietas parabólicas o por deslizamiento	M <sup>2</sup>
18	Hinchamiento	M <sup>2</sup>
19	Desprendimiento de agregados	M <sup>2</sup>

*Nota.* En la tabla se muestra los tipos de fallas presentes para pavimentos flexibles, tomado de la norma ASTM D6433-03. ASTM (2018)

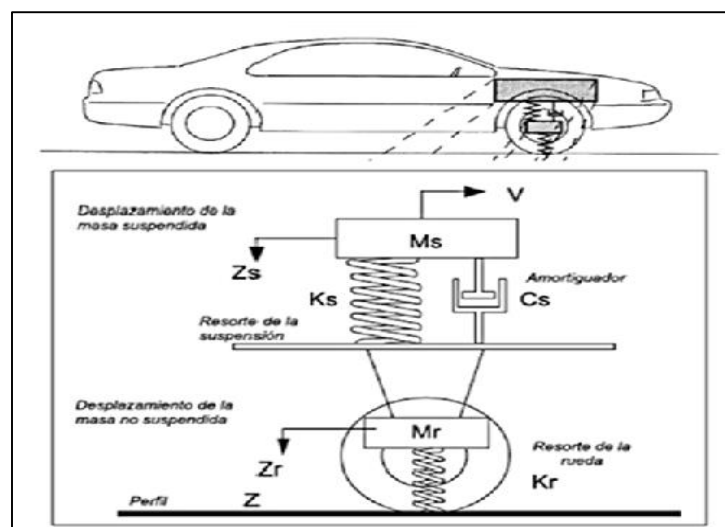
### **2.1.2. Metodología IRI**

El “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI, por sus siglas en inglés), es un índice estandarizado que mide la regularidad superficial de una vía, es decir, ha sido propuesta como estadística estándar de la rugosidad para determinar la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura (Mozo y Quispe, 2019). O como indica Badilla (2009), no es un mero índice, sino que IRI es un modelo matemático, que calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajeros típico,

tras recorrer una superficie de vía a 80 km/h. Entonces, el cálculo del IRI se basa en un modelo matemático llamado Cuarto de Carro o en inglés “Quarter-Car”, el cual calcula la deflexión de la suspensión de un sistema mecánico simulado como una respuesta similar, y estos desplazamientos son acumulados y divididos entre la distancia recorrida a una velocidad de 80 km/h, que suele ser 100 metros (Reyes, 2020). De modo similar, Arce (2021), menciona que el cálculo matemático del IRI se halla tras la acumulación de desplazamientos verticales en valor absoluto, de la masa del vehículo con respecto a la masa asociada a la suspensión de un modelo de vehículo, entre la distancia recorrida sobre un camino que se produce por los movimientos al vehículo. Oblitas (2021) da detalles de este modelo, indicando que cuenta con masa suspendida conectada a una masa no amortiguada por medio de un resorte y una suspensión, además el neumático se representa por otro resorte; y los parámetros empleados son  $K_s$ : variable del resorte de la suspensión,  $k_r$ : la constante del resorte de la llanta,  $M_s$ : la masa suspendida,  $M_r$ : masa no suspendida y  $C_s$ : amortiguador.

## Figura 2

*Representación de masa suspendida y no suspendida en el Modelo del Cuarto de Automóvil*



*Nota.* Badilla (2009)

En ese orden de ideas, el valor del IRI está definido por la siguiente ecuación:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{X/V} [Z_s - Z_r] dt$$

Donde: IRI es el Índice de Rugosidad Internacional en mm/m; L es la longitud del tramo, X es la distancia longitudinal en m; V es la velocidad del automóvil modelo (80km/h); X/V es el tiempo que tarda el modelo en recorrer cierta distancia X; dt es el incremento de tiempo; Z<sub>s</sub> es la velocidad vertical de la masa del vehículo; Z<sub>r</sub> es la velocidad vertical de la masa del eje.

Las unidades del IRI se expresan como la variación acumulada del movimiento por unidad de longitud y se expresa en mm/m, m/km, in/mi, etc (Ríos y Torres, 2022). Según Reyes (2020), las unidades de IRI en m/km son comúnmente usadas en países de Latinoamérica y en el lado oeste de Europa; por otro lado, las unidades pulg/milla son usadas comúnmente por el estado americano y países al este de Europa; así como los países asiáticos.

Este índice, permite establecer parámetros de control de la calidad de superficie de 0 m/km (Bueno) a valores por encima de 6 m/km (Pobre). Para un camino local, en Perú, de acuerdo al manual de Mantenimiento de caminos del MTC, que regula la regularidad de las vías, es recomendado que el IRI esté entre los valores de 2.8 y 4.0 m/km (Quispe, 2020).

Limay (2021), indica que la Norma Técnica Peruana CE.010 y el MTC, proporciona parámetros que utilizan para la clasificación de un pavimento según su rugosidad IRI:

**Tabla 4**

*Estado vial, según la rugosidad*

ESTADO	VIAS PAVIMENTADAS	VIAS NO PAVIMENTADAS
	RUGOSIDAD	RUGOSIDAD
BUENO	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
REGULAR	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8$
MALO	$4 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
MUY MALO	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

*Nota.* Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras aprobado por Resolución Directoral N°051-2007-MTC. MTC (2007, p. 19).

El IRI posee una metodología que está regulada por la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), la cual es la norma ASTM E1926-08 “Práctica estándar para calcular el índice internacional de rugosidad de carreteras a partir de mediciones de perfiles longitudinales” (ASTM, 2021).

## 2.2. Transitabilidad Vehicular

Según Rodríguez y Tamayo (2019), la transitabilidad se define como la percepción que se tiene del nivel de servicio de la infraestructura vial que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo. De forma similar (Alvarado y Laura, 2022) lo conceptualiza como una condición de "disponibilidad de uso" de la vía, también como el estado de una vía en óptimas condiciones, que reúna condiciones de confort y proporcione un recorrido seguro para el usuario, es decir, que se encuentre siempre a libre tránsito público, por encima de causas de “emergencias viales”. En ese sentido, la

transitabilidad tiene que ver no solo con el tránsito o flujo vehicular, sino que también está relacionado con el estado de la vía dado que este también influye en el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo (Mozo y Quispe, 2019). La transitabilidad también se conoce como serviciabilidad, y este término “serviciabilidad” apareció originalmente como una calificación de los usuarios en relación al estado de una vía, en específico a la superficie del pavimento, representado por un índice llamado Calificación de Serviciabilidad Presente (PSR, por sus siglas en inglés), el cual es reemplazado posteriormente por otro índice llamado Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés), como una estimación del PSR, en el que se empleó un rango numérico de valoración a sectores de carreteras en diversos estados de deterioro, con respecto a mediciones objetivas de la rugosidad y a las fallas presentes (Lanado, 2021; Tene, 2022). Este rango o escala del PSI tiene un valor de 0 a 5, en donde un valor 0 significa que el pavimento se encuentra en muy mal estado y un valor de 5, que se encuentra en muy buen estado (De la Cruz et al., 2021), como se ve en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Escala de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)*

<b>Índice de serviciabilidad, PSI</b>	<b>Calificación</b>
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

*Nota.* De la Cruz et al. (2021).

### **2.3. Correlación entre IRI y PSI**

Cabe recalcar que el índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de percepción con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie y por tanto se buscan índices para medirlo; actualmente se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), y para correlacionar el índice de serviciabilidad y el IRI, se hace uso de ecuaciones (Mozo y Quispe, 2019). A continuación, se muestran algunas ecuaciones utilizadas para correlacionar el IRI y el PSI (Tene, 2022):

Ecuaciones de William Paterson (1987):

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI)^{0.5}$$

$$PSI = 4.182 - 0.455(IRI)$$

Donde: IRI está en las unidades (m/km).

Ecuaciones de prediseño AASHTO (1993):

$$PSI = 5.671 - 1.741(IRI)^{0.5}$$

Donde: IRI está en las unidades (m/km).

Ecuación de D. Dujisin y A. Arroyo (1995):

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

Donde: IRI está en las unidades (m/km).

Ecuación de prediseño AASHTO (1993):

$$PSI = 5e^{(-0.002841 \times IRI)}$$

Donde: IRI está en las unidades (pulg/mi).

Por tanto, una manera práctica para determinar la transitabilidad, es a través del Índice de serviciabilidad presente (PSI), y a su vez este índice puede calcularse mediante

el valor de IRI el cual es medible mediante la metodología ASTM E1926-08 “Práctica estándar para calcular el índice internacional de rugosidad de carreteras a partir de mediciones de perfiles longitudinales” (ASTM, 2021).

#### **2.4. Uso de Fotografía Aérea para Evaluación de Pavimentos**

Cruz y Gutiérrez (2019), en su investigación nombra al uso de fotografía aérea para evaluación de pavimentos como “Método VANT”, e indica consiste en dos etapas, una en campo y otra en gabinete, de forma similar al PCI tradicional, pero con algunas modificaciones. La primera, consiste en obtener la información mediante un vuelo programado donde el VANT toma imágenes del estado superficial de la vía en estudio. La etapa de gabinete, abarca el procesamiento y análisis de las imágenes adquiridas para obtener ortofotos y modelos digitales en tres dimensiones que posteriormente se usarán para la inspección del pavimento mediante el método PCI (Cruz y Gutiérrez, 2019). La diferencia con el método tradicional radica en la forma de levantamiento de fallas, ya no se tiene que detener el tráfico y medir las fallas in situ, sino que, mediante la fotografía y su debido procesamiento, en gabinete se hará el levantamiento o auscultación de fallas; a partir de ese momento, se procede a hacer la metodología PCI tradicional según la normativa ASTM 6433.

#### **2.5. Uso de Teléfonos Inteligentes para Evaluación de Pavimentos**

Gracias a algunas características que tienen los equipos móviles inteligentes o smartphones de poseer los acelerómetros, magnetómetros GPS, entre otros, los cuales permite conocer la posición exacta de estos terminales y cuantificar la fuerza y dirección de señales magnéticas, es que se han podido desarrollar aplicativos móviles para evaluar los pavimentos. Una aplicación que se desarrolló en estos aplicativos es la capacidad de

determinar la rugosidad, término que ya se describió anteriormente como la deflexión acumulada de la suspensión de los vehículos bajo ciertas condiciones (Menéndez, 2022).

Entre los aplicativos móviles que existen se tienen los siguientes: IRI Calculator (ABAKAL), Total Pave IRI, Roadroid, entre otros:

### ***2.5.1. IRI Regularidad Carreteras de ABAKAL***

IRI Regularidad, es un aplicativo móvil capaz de hallar la regularidad mediante el índice IRI de las carreteras, esto gracias a los sensores de vibración y el GPS que poseen. El input del aplicativo es la lectura de la rugosidad en operación del vehículo en movimiento a 80 km/h a velocidad constante e insertar un coeficiente de ajuste según el tipo de cálculo (estadístico o máximos) que se quiere encontrar y ensayos reales anteriores; y por otro lado, el output que ofrecen este aplicativo son gráficas e informes del IRI promedio a lo largo del tramo estudiado en secciones de 100 metros (Reyes, 2020; Menéndez, 2022).

Se ha demostrado en diversas tesis de investigación que la metodología mediante este aplicativo obtiene resultados similares a los encontrados con el uso del rugosímetro de Merlín. Por ejemplo, señala Tene (2022) que en la tesis de grado “Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de merlín para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la av. Internacional, Tacna - 2021” de Gonzalo y Beingolea (2021), que se tuvo un resultado de IRI con una similitud de una 87.43% en promedio de ambas calzadas. Asimismo, también indica Tene (2022) que, según los creadores de este aplicativo, el grado de confiabilidad puede alcanzar una confiabilidad del 90% conforme mejor sea calibrado el factor de ajuste con mediciones anteriores para las condiciones reales o in

situ con la metodología tradicional, así como también, que se mantenga la velocidad de 80 km/h lo más constante posible.

Cabe señalar que, el coeficiente de ajuste es predeterminado como 2.0 por el mismo aplicativo para el tipo de cálculo estadístico, y como 4.0 para el cálculo denominado máximos. El primer tipo es derivado de la ponderación relativa de primer y segundo orden de la vibración transmitida por el vehículo al dispositivo, ponderación que varía según el coeficiente. Mientras que el tipo de cálculo por máximos establece unos valores límite, a partir de los cuales pondera el ensayo. En ese orden de ideas, bajar el límite equivale a elevar el ensayo, por ello el coeficiente de ajuste es inverso a la ponderación del ensayo (Tene, 2022; Nieto, 2018).

### Figura 3

*Vista del teléfono inteligente montado en un vehículo con el aplicativo IRI Abakal en operación*



*Nota:* Nieto (2018)

El procedimiento para el uso de este aplicativo es el siguiente (Nieto, 2018):

1. Colocación del teléfono: Apoyar en el salpicadero o colgado del parabrisas, según cómo ha funcionado mejor en pruebas previas.

2. Abrir el aplicativo, permitiendo acceso a la ubicación mediante el GPS y permiso para guardar datos en el dispositivo.
3. Se presiona en INICIAR para comenzar a identificar las vibraciones.
4. Y se presiona en CONTEO para iniciar a registrar los datos de las vibraciones y reflejándolos en la gráfica estadística que se muestra en la interfaz del aplicativo.
5. Cuando queremos dejar de registrar el ensayo se puede presionar en PARAR y luego DETENER.
6. Definimos el tipo de cálculo: Se puede elegir entre estadístico y por máximos.
7. Definimos el coeficiente de ajuste: Dependiendo el teléfono móvil, amortiguación del vehículo y la colocación del dispositivo.
8. En cuanto a resultados, se debe presionar GUARDAR, y el aplicativo genera el archivo “informeIRI.kml” para ver en google earth, el archivo “informeIRI.csv” el cual puede abrirse en Microsoft Excel donde indica los valores de IRI por secciones de 100 metros, y también el archivo “informeIRI2.csv” el cual proporciona una tabla de control con más información de ubicación y velocidades.

#### Figura 4

##### *Interfaz del aplicativo IRI Abakal*



*Nota.* Nieto (2018)

### **2.5.2. Total Pave IRI**

Es una aplicación no gratuita que permite recolectar datos mediante el GPS y el magnetómetro de cualquier dispositivo smartphone con sistema operativo Android o IOS mientras se realiza un recorrido en vehículo, a una velocidad constante que puede establecerse entre 20 a 110 Km/h. Tras la recolección de los datos se envían a un servidor basado en la nube de TotalPave, donde los datos sin procesar se utilizan para calcular un valor de IRI para las secciones establecidas previamente en la carretera (Reyes, 2020).

### **2.5.3. Roadroid**

Roadroid es un aplicativo para la inspección de carreteras para teléfonos inteligentes y utiliza el acelerómetro. Cada segundo registra un valor de condición de la carretera y coordenadas GPS, con fotografías tomadas en el intervalo establecido. Luego de que los datos se hayan transferido a través por su sistema de gestión de datos viales, se puede visualizar en un mapa. A los datos se les asigna 4 colores dependiendo del estado de la carretera. Los datos se pueden agregar en distancias de secciones de 5 a 200 metros y se pueden descargar fácilmente para crear tablas y gráficos en Microsoft Excel o a un sistema de gestión de inventario vial (RAMS por sus siglas en inglés), a través de un interfaz de programación de aplicaciones (API por sus siglas en inglés) (Roadroid, 2023)

## **2.5. Procesamiento de Imágenes Binarias para la Evaluación de Pavimentos**

Constituye el trabajo en gabinete posterior a la toma de fotografías mediante una metodología similar a VANT, pero más sencilla, sin uso de drone ni procesamiento de las imágenes con softwares de modelamiento digital, sino con solo fotografías tomadas ortogonalmente desde una cámara instalada en vehículo terrestre a una altura apropiada para tomar fotografías con un alcance del ancho de calzada como mínimo. Chipana

(2022), usó los conceptos de binarización de imágenes y obtención de datos a través de la segmentación de objetos para desarrollar un algoritmo en el Software Matlab capaz de hacer el procesamiento de las fotografías y obtener datos de estas, tales como áreas y longitudes, lo cual son útiles para el metrado o levantamiento de las fallas del pavimento.

Asimismo, se conocen una gama amplia de algoritmos de segmentación, entre ellos los algoritmos de detección de borde, los cuales se ha visto ampliado su uso en la identificación de fallas superficiales de pavimentos en los últimos años, por la naturaleza de borde que poseen las grietas. Esta herramienta se ve complementada, también en Matlab, por el filtro de mediana para el suavizada de imagen y el ajuste de contraste, ante objetos no deseados y desconectados que pueden interferir la observación correcta de las grietas, es decir, para homogeneizar la imagen (Chipana, 2022).

En su investigación, Chipana (2022) también propone un procedimiento para el procesamiento de imágenes binarias:

1. Adquisición de imágenes
2. Conversión a escala de grises
3. Umbralización
4. Binarización
5. Interpretación de datos

Chipana (2022) recomienda un pre procesamiento de las imágenes a través del filtro de mediana usando el comando “medfilt2(A)” en Matlab, esto luego de la “Conversión a escala de grises”. Este comando logra homogeneizar y resaltar objetos según su relevancia o escala de grises.

## **Figura 5**

*Imagen digital donde se utiliza el filtro de mediana*

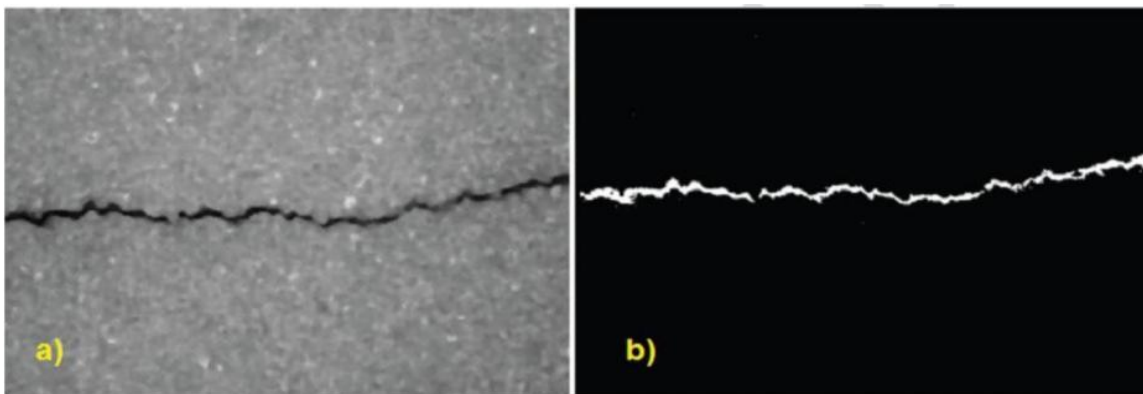


*Nota.* Chipana (2022)

Paso seguido, la segmentación de las imágenes mediante el algoritmo de borde, permite separar las grietas de la vía, es decir, extraer de contexto los objetos que no son nuestro objetivo analizar.

### **Figura 6**

*Grieta procesada a partir de un filtro de mediana y posteriormente a partir de un algoritmo de borde*



*Nota.* Chipana (2022)

El siguiente paso, es la umbralización, la cual permite cuantificar los objetos en áreas o longitudes según la información geométrica que se quiere conocer, esto a partir de condiciones aplicadas a los valores de intensidad de gris de la imagen. Con esta herramienta, es posible identificar y caracterizar de forma automática huecos encontrados

en la superficie del pavimento, lo cual nos permitirá tener información para registrar la magnitud de las fallas en el registro para el cálculo del PCI (Chipana, 2022).

## **2.6. Procesamiento de Imágenes Tomadas por Fotogrametría para la Evaluación de Pavimentos**

Constituye el trabajo en gabinete posterior al levantamiento fotogramétrico mediante la metodología VANT, para el método de evaluación de pavimentos PCI. Existen softwares, tales como el Pix4dMapper, DroneDeploy 3D, Autodesk Recap, Sim Active Correlator3D, Agisoft PhotoScan, ESRI Dron2Map, entre otros. En el caso del Pix3dMapper, este programa hace un tratamiento inicial de las imágenes extrayendo puntos clave para ubicarlas espacialmente e identificar sus parámetros. Seguido a esto, densifica y filtra la nube de puntos para hacer la triangulación de los mismo y así poder crear el modelo 3D. Finalmente, el software genera la ortofoto según las especificaciones dadas y las del plan del vuelo (Cruz y Gutiérrez, 2019).

Este programa permite la edición de la ortofoto para tener listo la imagen panorámica de la vía en estudio y así identificar cada falla. Si bien es cierto, una ventaja de esta metodología VANT es que no se llega a interrumpir, una aparente desventaja es que los vehículos y peatones pueden obstaculizar la visión libre de la superficie del pavimento en toda su extensión, sin embargo, gracias a la herramienta de edición es posible quitar estos elementos. El criterio de quitar estos obstáculos se basa en que las fotografías al tener un traslape longitudinal y transversal del vuelo cada espacio de la vía tiene más de una fotografía u otra versión de la imagen, es por eso que la ortofoto es modificable y puede salvarse ese aparente inconveniente, logrando liberar los obstáculos de la vía (Cruz y Gutiérrez, 2019).

### **Figura 7**

*Ortofoto original con tránsito*



*Nota.* Cruz y Gutiérrez (2019).

**Figura 8**

*Ortofoto modificada sin tránsito*



*Nota.* Cruz y Gutiérrez (2019)

Teniendo la vía despejada, con la ortofoto de gran resolución y el modelo en 3D, ya se puede realizar la identificación visual de las fallas y su respectiva medición, según el procedimiento PCI, con una hoja de registro de inspección de fallas.

**Figura 9**

*Identificación visual y metrado de fallas del pavimento*



*Nota.* Cruz y Gutiérrez (2019)

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de Investigación

El tipo de la investigación es aplicada, se caracteriza porque busca la aplicación de conocimientos y se encuentra vinculada con el diseño de campo, cuando se realiza en un ambiente natural, en el que no hay manipulación de variables (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014). La presente investigación es de tipo aplicada porque se basa en el marco teórico de pavimentos y los métodos de evaluación de estos, para su respectiva aplicación en campo lo cual hace posible determinar el estado de las vías, resolviendo así la necesidad de alternativas para reducir los costos y tiempo en los trabajos de inspección del estado de carreteras para su debida gestión.

#### 3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación se refiere a la manera en cómo se dará respuesta a las interrogantes formulada en la investigación y dichas maneras están relacionadas con la definición de estrategias a seguir en la búsqueda de solucionar al problema planteado, utilizando estrategias de investigación documental y la investigación de campo (Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M., 2014). En ese orden de ideas, es no experimental y transversal, dado que se recolectarán datos de un solo momento, en un tiempo único, y en determinado lugar, además se quiere describir las variables y analizar su incidencia, esto es determinar la transitabilidad a partir de la evaluación de estado del pavimento con ciertos parámetros. La variable independiente no es alterable.

### **3.3. Población y Muestra de Estudio**

#### ***3.3.1. Población***

La población para el estudio son la carpeta asfáltica de la carretera PE-1S, carretera Panamericana Sur, vía de comunicación importante hacia el vecino país de Chile.

#### ***3.3.2. Muestra***

La muestra de la investigación es la carpeta asfáltica de la carretera PE-1S, en una longitud de 11.60 km, desde el Emp. TA-644 (paradero Hospicio) hasta el Emp. TA-645 (complejo aduanero Santa Rosa).

### **3.4. Técnicas de Recolección de Datos**

La metodología utilizada para el cálculo del Índice de Condición de Pavimento es la metodología PCI del ASTM D 6433 que consisten en la inspección de los daños en la superficie del pavimento y uso de fichas de evaluación de los daños, aunque en la presente investigación se optó por hacer la inspección mediante fotografías de la calzada a estudiar tomadas desde un vehículo en movimiento a una velocidad mínima, alternativamente al uso de fotogrametría con un vehículo aéreo no tripulado; por otro lado para determinar la serviciabilidad del pavimento se realizaron mediciones del IRI mediante el uso del aplicativo ABAKAL IRI en teléfonos inteligentes y la ecuación de William Paterson, D. Dejusin y A. Arroyo. Una vez realizado el trabajo de campo se pasa

a gabinete a realizar los cálculos para determinar los valores del índice de condición del pavimento y los valores del índice de rugosidad para calificar la transitabilidad del pavimento asfáltico de la carretera donde se realizó la investigación.

### 3.5. Materiales e Instrumentos

- Laptop personal o PC: Se usó para el trabajo en gabinete.
- Cámara fotográfica de teléfono inteligente Iphone 12: Se utilizó para la obtención de imágenes de la vía, a lo largo de su extensión para la posterior auscultación de fallas en gabinete.
- Aplicativo Lens Buddy: Instalado en el teléfono inteligente Iphone 12
- Vehículo motorizado - camión: Se utilizó un vehículo montado con una cámara digital de celular posicionado ortogonalmente a la vía, el cual captura fotografías mediante un temporizador. El vehículo operando a una velocidad de 15 km/h para la evaluación PCI, y a 80 km/h para el
- Cuaderno de Campo: Se tomó apunte de las características de la vía, y apuntes en general para la evaluación PCI.
- Cinta métrica manual: Se hizo uso para medir el ancho de la vía.
- Wincha métrica: Se hizo uso para el montaje de la cámara de celular al vehículo motorizado para la evaluación PCI.
- Teléfono inteligente Samsung Galaxy Note 10: Se hizo uso para la evaluación de la rugosidad con el aplicativo ABAKAL IRI Rugosidad, montado en el vehículo motorizado a 80km/h según indicaciones del aplicativo IRI ABAKAL.

- Aplicativo ABAKAL IRI: Aplicativo instalado en el Teléfono inteligente Samsung Galaxy Note 10, para determinar la rugosidad y calcular el IRI en la vía evaluada.
- Guías de observación y formatos de campo
- Hojas de cálculo en Excel
- Norma ASTM D6433-03: Es una norma que rige el procedimiento estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos, con el cual se hizo la evaluación de daños del pavimento y se encontró el valor PCI.

### **3.7. Análisis de Datos**

En base a la información obtenida de los reportes de la obtención de imágenes y del teléfono inteligente en relación del PCI y el IRI, respectivamente, se procesan los datos por calzada sea izquierdo o derecho utilizando la hoja electrónica EXCEL. Para el uso de vehículo no tripulado se realiza el levantamiento de imágenes y su procesamiento para definir el índice de condición que ayudara a calificar el estado funcional del pavimento asfáltico utilizando el método PCI.

Finalmente, con los datos tabulados podremos establecer cuadros comparativos de la transitabilidad en la vía investigada.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Resultados Obtenidos mediante el Cálculo de la Rugosidad con el Aplicativo

##### ABAKAL IRI

##### 4.1.1. Cálculo de la Rugosidad Obtenidos con el Aplicativo ABAKAL IRI

**Tabla 6**

*Datos IRI de la Carretera Panamericana PE-1S utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, evaluados cada 100m. CALZADA DIRECCIÓN SUR.*

Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.201262	-70.327333	188.31	47.54	0	1.73
-18.202224	-70.327214	187.92	58.39	100	2.34
-18.203167	-70.327101	187.27	65.97	200	3.62
-18.204189	-70.326981	186.34	70.59	300	3.26
-18.205264	-70.32685	185.41	73.37	400	3.8
-18.206182	-70.326737	184.94	74.34	500	5.33
-18.207115	-70.326624	184.58	75.57	600	3.34
-18.208063	-70.32651	184.38	76.75	700	2.87
-18.20902	-70.326394	184.05	77.73	800	2.81
-18.210001	-70.326277	183.7	79.11	900	2.83
-18.210984	-70.326159	183.49	79.03	1000	2.83
-18.211967	-70.32604	183.11	78.94	1100	2.66
-18.212943	-70.325925	182.83	78.14	1200	2.4
-18.213907	-70.325807	182.33	77.17	1300	2.32
-18.214864	-70.325692	181.82	76.94	1400	3.02
-18.215818	-70.325578	181.33	76.75	1500	2.65
-18.216779	-70.325461	180.51	77.7	1600	2.68
-18.21775	-70.325345	179.64	78.11	1700	2.29
-18.218717	-70.325226	178.9	77.49	1800	3.07
-18.219672	-70.325112	178.39	76.22	1900	3.06
-18.220615	-70.324999	177.94	75.39	2000	3.07
-18.221545	-70.324886	177.51	74.4	2100	2.52
-18.222471	-70.324775	176.8	74.42	2200	2.95
-18.223396	-70.324666	176.04	74.32	2300	2.68
-18.224321	-70.324553	175.32	74.27	2400	3.3

Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.225243	-70.324442	174.54	74.01	2500	1.87
-18.226174	-70.324329	173.76	75.33	2600	1.84
-18.22712	-70.324214	173.01	76.8	2700	2.13
-18.228088	-70.324095	172.17	78.29	2800	1.6
-18.229066	-70.323977	171.08	78.73	2900	1.8
-18.230049	-70.32386	170.13	78.97	3000	2.93
-18.23102	-70.32374	169.06	77.54	3100	2.6
-18.231984	-70.323628	168.08	77.38	3200	2.33
-18.232937	-70.32351	167.25	75.99	3300	2
-18.233877	-70.323398	166.32	75.68	3400	2.57
-18.234815	-70.32328	165.57	74.9	3500	2.62
-18.235719	-70.323171	164.72	71.23	3600	3.72
-18.236774	-70.323044	163.81	71.03	3700	3.34
-18.237687	-70.322933	162.73	74.85	3800	3.59
-18.238629	-70.322819	161.6	76.1	3900	2.58
-18.239579	-70.322703	160.5	76.52	4000	3.49
-18.240533	-70.322591	159.4	76.72	4100	3.32
-18.241485	-70.322472	158.3	76.31	4200	3.65
-18.24243	-70.32236	157.2	75.85	4300	3.74
-18.243368	-70.322243	156.15	74.96	4400	4
-18.244303	-70.322134	155.11	75.46	4500	3.32
-18.245248	-70.322018	154.04	76.08	4600	3.57
-18.246194	-70.321903	153.02	76.19	4700	2.71
-18.247146	-70.321788	152	76.64	4800	3.27
-18.248105	-70.321672	150.87	77.53	4900	3.11
-18.249081	-70.321553	149.95	79.04	5000	2.29
-18.250083	-70.321432	149.05	80.91	5100	2.61
-18.251069	-70.321313	148.11	77.81	5200	3.03
-18.252028	-70.321197	147.09	76.69	5300	2.9
-18.252988	-70.32108	146.01	77.76	5400	2.18
-18.25397	-70.320961	144.72	79.62	5500	3.19
-18.254968	-70.32084	143.52	80.35	5600	1.92
-18.255967	-70.320718	142.31	80.36	5700	3.7
-18.256966	-70.320596	141.07	80.33	5800	1.8
-18.257967	-70.320475	139.92	80.56	5900	1.99
-18.258971	-70.320351	138.75	80.73	6000	2.63
-18.259976	-70.32023	137.58	80.69	6100	2.44
-18.26099	-70.320107	136.45	82.3	6200	1.47
-18.261999	-70.319985	135.29	79.95	6300	2.94
-18.262981	-70.319867	134.18	78.43	6400	2.11
-18.263947	-70.319748	133.41	77.25	6500	2.05
-18.26491	-70.319628	132.58	77.61	6600	3.31
-18.265877	-70.319514	131.84	77.66	6700	2.72
-18.266844	-70.319395	131.05	77.62	6800	2.46
-18.26781	-70.319275	131.12	78.09	6900	2.66

Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.268787	-70.319161	131.23	78.53	7000	3.31
-18.269757	-70.31904	131.46	77.76	7100	3.09
-18.270723	-70.318927	131.77	77.11	7200	2.66
-18.271672	-70.318809	132.17	75.7	7300	2.56
-18.272613	-70.318693	132.61	75.87	7400	2.72
-18.27356	-70.318577	133.03	76.32	7500	2.47
-18.274505	-70.318463	133.37	75.37	7600	3.26
-18.275443	-70.318351	133.87	75.31	7700	2.4
-18.276384	-70.318236	134.3	75.83	7800	2.7
-18.277334	-70.318118	134.38	76.72	7900	2.53
-18.278293	-70.318004	134.54	77.19	8000	2.49
-18.279255	-70.317884	134.59	77.21	8100	2.68
-18.280214	-70.317768	134.83	76.92	8200	2.62
-18.281166	-70.317654	135.2	76.25	8300	2.57
-18.282111	-70.317536	135.51	75.79	8400	2.84
-18.283046	-70.317422	135.9	74.73	8500	3.45
-18.283974	-70.31731	136.21	74.84	8600	3.83
-18.284914	-70.317196	135.95	76.2	8700	3.36
-18.285872	-70.31708	135.64	77.3	8800	4.46
-18.286836	-70.316962	135.51	77.61	8900	2.28
-18.287801	-70.316841	135.19	77.46	9000	2.73
-18.288755	-70.316723	134.85	76.27	9100	3.81
-18.289696	-70.31661	134.71	75.56	9200	2
-18.290646	-70.316494	134.62	76.89	9300	1.97
-18.291602	-70.316378	134.65	75.9	9400	3.16
-18.292521	-70.316264	134.41	72.8	9500	2.53
-18.293428	-70.316153	134.08	72.59	9600	2.72
-18.294489	-70.316024	133.88	69.73	9700	2.01
-18.295535	-70.315895	133.58	70.86	9800	2.42
-18.296584	-70.315768	133.17	69.56	9900	1.46
-18.297642	-70.315637	132.45	71.16	10000	1.56
-18.298678	-70.315511	131.99	67.48	10100	1.54
-18.299614	-70.315393	131.56	57.33	10200	1.38

*Nota.* Aplicativo ABAKAL IRI. Fuente propia

### **Tabla 7**

*Datos IRI de la Carretera Panamericana PE-1S utilizando el aplicativo ABAKAL IRI, evaluados cada 100m. CALZADA DIRECCIÓN NORTE.*

Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.300338	-70.31532	133.75	44.6	0	1.54

Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.299335	-70.315445	134.21	56.08	100	1.74
-18.29843	-70.315557	134.51	63.74	200	2.32
-18.29745	-70.315677	134.97	67.61	300	3.64
-18.296388	-70.315809	135.47	73.89	400	2.68
-18.295435	-70.315927	135.55	78.5	500	2.15
-18.294456	-70.316049	135.68	79.3	600	2.96
-18.293456	-70.31617	135.9	81.16	700	2.86
-18.292441	-70.316295	136.16	81.9	800	2.54
-18.291419	-70.31642	136.24	82.54	900	3.04
-18.290389	-70.316547	136.25	82.76	1000	1.86
-18.289359	-70.316671	136.21	82.79	1100	2.55
-18.288332	-70.316798	136.33	82.57	1200	2.43
-18.287313	-70.316922	136.54	81.47	1300	2.25
-18.286308	-70.317044	136.63	80.46	1400	2.12
-18.285309	-70.317168	136.87	80.46	1500	2.87
-18.284308	-70.317288	137.06	80.45	1600	2.15
-18.283309	-70.31741	136.71	80.33	1700	3.11
-18.282308	-70.317534	136.16	80.48	1800	2.75
-18.281324	-70.317657	135.75	78.2	1900	2.6
-18.280367	-70.317772	135.32	75.96	2000	3.28
-18.279429	-70.31789	135.09	75.77	2100	2.71
-18.278478	-70.318005	135.04	76.9	2200	2.82
-18.277508	-70.318124	134.76	78.76	2300	3.05
-18.27652	-70.318244	134.55	79.72	2400	3.64
-18.275527	-70.318364	133.99	79.82	2500	2.6
-18.274527	-70.318485	133.41	80.96	2600	4.14
-18.273516	-70.31861	132.91	81.35	2700	3.44
-18.2725	-70.318733	132.29	81.82	2800	2.8
-18.271477	-70.318856	131.84	82.34	2900	2.77
-18.270452	-70.318979	131.24	82.52	3000	1.9
-18.269429	-70.319101	131.03	81.99	3100	3.26
-18.268421	-70.319228	130.72	79.93	3200	2.15
-18.267452	-70.319342	130.52	77.26	3300	2.68
-18.266488	-70.319464	131.05	76.92	3400	2.42
-18.265534	-70.319577	131.72	76.82	3500	2.7
-18.264579	-70.3197	132.45	76.69	3600	2.6
-18.263634	-70.319813	133.11	75.48	3700	2.67
-18.2627	-70.319927	133.85	75.05	3800	3.33
-18.261759	-70.320042	134.76	76.19	3900	3.41
-18.260807	-70.320154	135.73	76.84	4000	5.01
-18.259845	-70.320272	136.8	77.67	4100	3.27
-18.258874	-70.32039	137.85	78.23	4200	2.27
-18.257903	-70.320509	138.87	77.8	4300	2.15
-18.256932	-70.320625	139.84	78.17	4400	2.06
-18.25596	-70.320741	140.84	78.16	4500	2.41

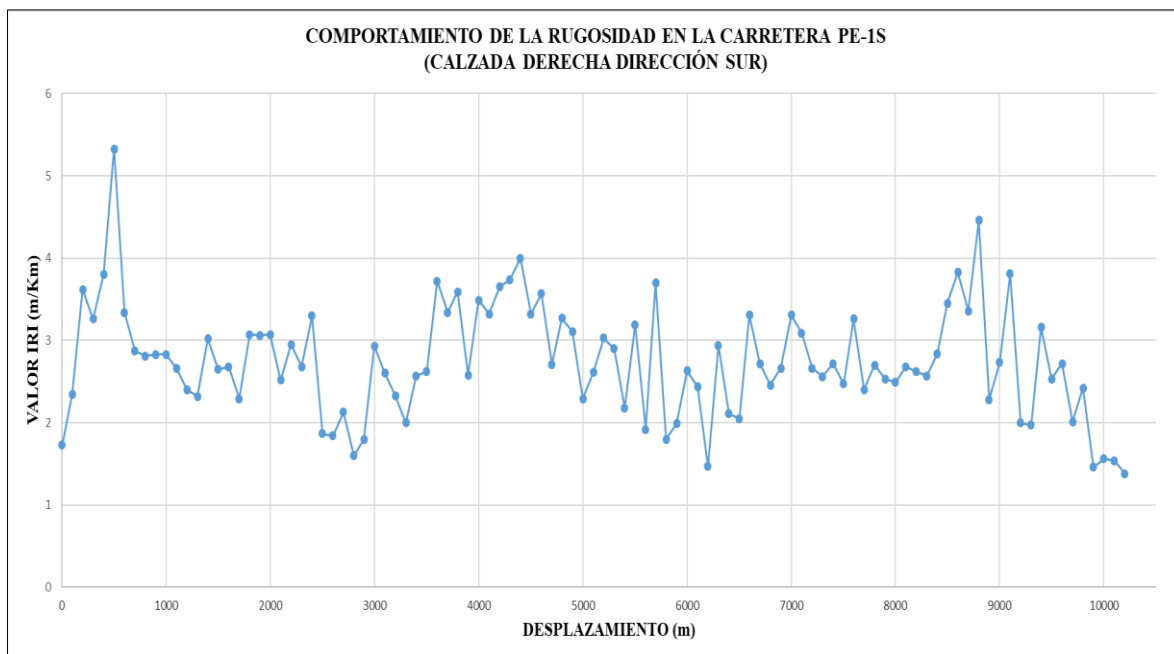
Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.254987	-70.320863	141.86	78.52	4600	2.21
-18.254007	-70.320982	142.91	78.64	4700	3.49
-18.253029	-70.321098	143.95	78.54	4800	2.46
-18.252056	-70.321216	144.95	77.96	4900	3.43
-18.251094	-70.321332	145.96	77.04	5000	3.72
-18.250135	-70.321447	146.97	76.93	5100	3.89
-18.249176	-70.321564	147.87	77.08	5200	2.91
-18.248216	-70.321682	148.96	77.26	5300	3.68
-18.247259	-70.321801	150.1	76.68	5400	3.98
-18.246312	-70.321911	151.19	75.47	5500	2.09
-18.24539	-70.322023	152.23	72.96	5600	3.22
-18.244486	-70.322132	153.35	72.85	5700	2.95
-18.243575	-70.322243	154.43	73.39	5800	3.01
-18.242659	-70.322355	155.49	73.73	5900	2.52
-18.241737	-70.322466	156.54	74.02	6000	2.25
-18.240822	-70.322577	157.63	72.95	6100	2.32
-18.239913	-70.322687	158.71	72.82	6200	2.76
-18.238999	-70.322795	159.78	74.58	6300	2.25
-18.238056	-70.322911	160.91	76.52	6400	2.1
-18.237092	-70.323029	162.09	77.91	6500	3.24
-18.236116	-70.323146	162.84	78.94	6600	3.69
-18.235127	-70.323268	163.67	79.99	6700	3.13
-18.234126	-70.323385	164.53	80.55	6800	2.66
-18.233124	-70.323506	165.43	80.49	6900	2.61
-18.232122	-70.323629	166.34	80.33	7000	2.25
-18.231139	-70.323748	167.31	78.15	7100	2.14
-18.230183	-70.323865	168.35	76.13	7200	2.03
-18.229236	-70.323979	169.32	76.27	7300	2.78
-18.228286	-70.324093	170.37	76.31	7400	3.14
-18.227334	-70.324209	171.21	76.53	7500	3.14
-18.226385	-70.324322	172	75.89	7600	2.19
-18.225445	-70.324438	172.76	75.47	7700	1.77
-18.224494	-70.324553	173.49	76.96	7800	3.07
-18.223527	-70.324669	174.22	78.18	7900	2.52
-18.222549	-70.324788	174.89	78.82	8000	2.39
-18.221563	-70.324904	175.61	79.37	8100	2.03
-18.220556	-70.325027	176.05	81.84	8200	3.01
-18.219542	-70.325149	176.68	81.59	8300	2.56
-18.218529	-70.325271	177.32	81.16	8400	3.58
-18.217522	-70.325392	178.2	80.7	8500	2.13
-18.216527	-70.325512	179.06	79.01	8600	2.31
-18.215554	-70.325628	179.62	77.93	8700	3.59
-18.21459	-70.325747	180.03	77.12	8800	2.81
-18.213631	-70.325862	180.45	77.11	8900	2.45
-18.212675	-70.325977	180.78	76.54	9000	2.42

Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Velocidad (Km/h)	Desplazamiento (m)	IRI
-18.211733	-70.326091	181.02	74.91	9100	3.96
-18.210796	-70.326203	181.37	76.4	9200	2.74
-18.209824	-70.326321	181.59	78.86	9300	2.47
-18.208839	-70.326438	181.83	79.08	9400	1.94
-18.207859	-70.326555	182.15	78.15	9500	2.17
-18.206881	-70.326674	182.42	79.58	9600	1.83
-18.205875	-70.326794	182.87	81.63	9700	3.89
-18.204862	-70.326914	183.68	80.49	9800	4.63
-18.203878	-70.327035	184.5	78.37	9900	3.23
-18.202914	-70.32715	185.21	76.94	10000	3.3
-18.201963	-70.327263	185.91	75.69	10100	4.06
-18.201034	-70.327373	186.33	72.72	10200	3.4

Nota. Aplicativo ABAKAL IRI. Fuente propia

**Figura 10**

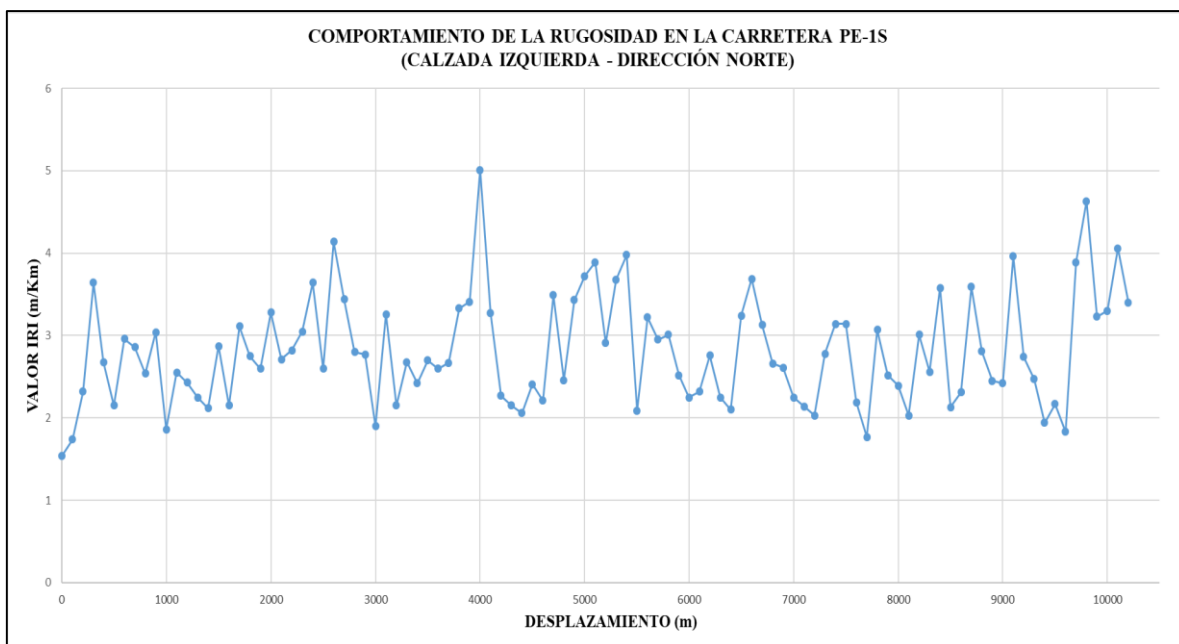
*Comportamiento del IRI, evaluado cada 100 m. Calzada Derecha - Dirección Sur.*



Nota. Elaboración propia

**Figura 11**

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



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.2. Imágenes Importadas de Evaluación del Aplicativo ABAKAL IRI

**Figura 12**

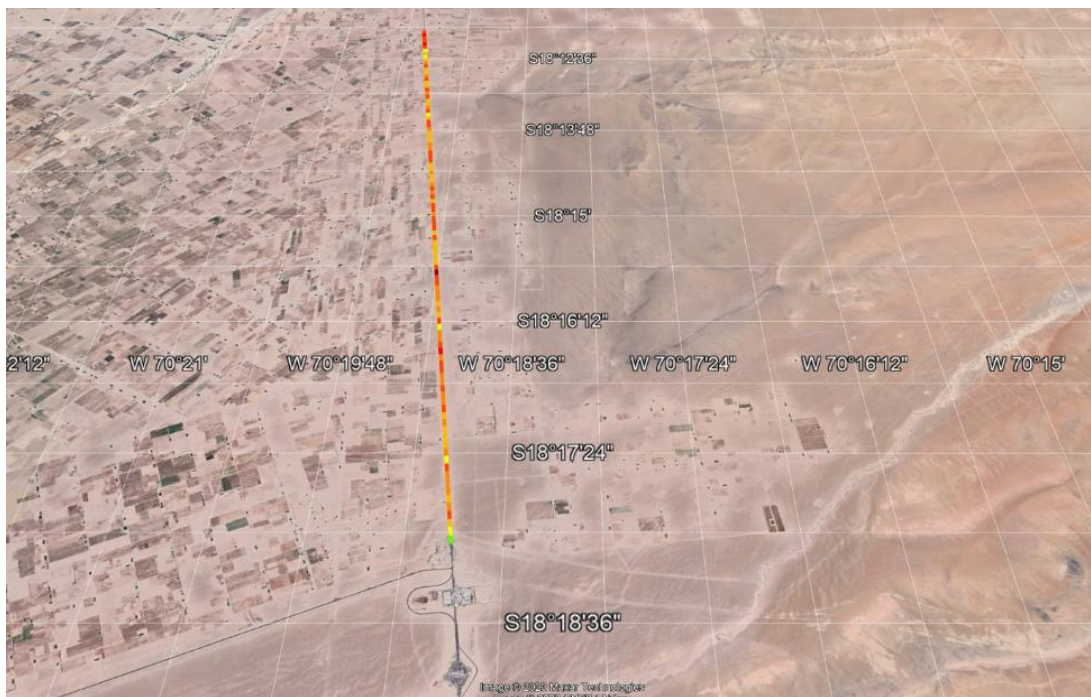
*Evaluación cada 100 m. Aplicativo ABAKAL IRI Calzada Derecha - Dirección Sur.*



*Nota.* Aplicativo ABAKAL IRI. Fuente propia.

**Figura 13**

*Evaluación cada 100 m. Aplicativo ABAKAL IRI Calzada Izquierda - Dirección Norte.*



*Nota.* Aplicativo ABAKAL IRI. Fuente propia.

#### ***4.1.3. Cálculo del IRI Promedio y Clasificación del Estado de Pavimento Mediante el Índice IRI***

Para obtener los resultados con el aplicativo se utilizó el Smartphone modelo Samsung Note 10, determinándose los valores del IRI, carril de bajada igual a 2,75 m/km y en el carril de subida igual 2,80 m/km, por lo tanto, el IRI promedio es igual 2,78 m/km.

**Tabla 8**

*Resultados de la rugosidad obtenido del aplicativo ABAKAL*

<b>Tramo</b>	<b>IRI</b>	<b>Unidad</b>
<b>Carril de bajada - PE-1S</b>	2,75	m/km
<b>Carril de subida - PE-1S</b>	2,80	m/km

<b>IRI promedio</b>	<b>2,78</b>	<b>m/km</b>
---------------------	-------------	-------------

*Nota.* En la tabla se muestran el resultado del IRI ponderado de la Carretera PE-1S

Para la calificación del estado del pavimento en la carretera PE-1S, tramo: Emp. TA-644 a Emp. TA-645, se utiliza el IRI promedio determinado con el aplicativo ABAKAL IRI en todo el tramo de la carretera, considerando el carril de bajada y el carril de subida, para la calificación del estado del pavimento utilizamos lo indicado en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Calificación del estado del pavimento según la rugosidad*

<b>ESTADO</b>	<b>VIAS PAVIMENTADAS</b>	<b>VIAS NO PAVIMENTADAS</b>
	<b>RUGOSIDAD</b>	<b>RUGOSIDAD</b>
BUENO	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$	$\text{IRI} \leq 6$
REGULAR	$2.8 < \text{IRI} \leq 4.0$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
MALO	$4 < \text{IRI} \leq 5.0$	$8 < \text{IRI} \leq 10$
MUY MALO	$5 < \text{IRI}$	$10 \leq \text{IRI}$

*Nota.* Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de carreteras aprobado por Resolución Directoral N°051-2007-MTC. MTC (2007, p. 19).

De acuerdo al valor del IRI promedio se determina la calificación del estado del pavimento, en nuestro caso IRI promedio igual 2,78 m/km, por lo tanto, obtiene una CALIFICACIÓN BUENO.

#### **4.1.4. Determinación de la Transitabilidad del Pavimento y Clasificación**

Después, la transitabilidad de la vía PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645, en el momento de la presente investigación, se obtiene a través de las ecuaciones de

William Paterson, D. Dejusin y A. Arroyo, reemplazando el valor del IRI promedio calculado anteriormente, como se muestra a continuación:

Aplicando William Paterson 1987:

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI^{0.5})$$

$$PSI = 5.85 - 1.68(2.78^{0.5})$$

$$PSI = 3.05$$

Aplicando William Paterson 1987:

$$PSI = 4.182 - 0.455(IRI)$$

$$PSI = 4.182 - 0.455(2.78)$$

$$PSI = 2.92$$

Aplicando D. Dujisin y A. Arroyo 1995:

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

$$PSI = \frac{5}{\frac{2.78}{e^{5.5}}}$$

$$PSI = 3.02$$

Habiéndose reemplazado el IRI promedio de 2.78 m/km con las ecuaciones de transitabilidad PSI, se obtiene un PSI promedio de 3.00 que nos señala que el pavimento se encuentra entre la clasificación BUENA.

**Tabla 10**

*Calificación de la transitabilidad*

PSI	Transitabilidad
0 – 1	Muy mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular

3 – 4

**Buena**

4 - 5

Muy buena

---

*Nota.* Escala de Clasificación de la serviciabilidad – AASHO (1962)

**Tabla 11***Resultados de Transitabilidad*

IRI	2.78	m/km
Conversión a PSI en función del IRI	3.00	
Clasificación del PSI	<b>TRANSITABILIDAD BUENA</b>	

---

*Nota.* Elaboración propia.

## 4.2. Resultados Obtenidos con la Metodología PCI mediante ASTM D6433 Y

### Obtención de Imágenes

Se evaluó cada unidad de muestreo según el método del PCI, y se empleó la guía de INGEPAV del Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela, en el cual se señala que el tramo de estudio se divide en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían según los tipos de vía y de capa de rodadura (Vásquez, 2002).

#### 4.2.1. Cálculo de Unidades de Muestreo

Dado que nuestra vía en estudio se clasifica dentro de “Carreteras con capa de rodadura asfáltica”, tomaremos como referencia el numeral 3.a. de dicha guía, por tanto:

$$\text{Área de unidad de muestreo} = 230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$$

Siendo el ancho de calzada de nuestra vía en estudio de 6.60 m, se procede a elegir una longitud de unidad de muestra de 36.0 m, dado que el largo de cada fotografía en la dirección de la vía es de 6.00 m y se estaría considerando 6 secciones con las fotografías tomadas, por tanto, el área de unidad de muestreo para la presente investigación sería de **237.60 m<sup>2</sup>**.

Asimismo, el número total de unidades de muestreo “N”, se obtiene dividiendo la longitud total de la vía a estudiar entre la longitud de muestra:

$$N = \frac{L_T}{L_m}$$

$$N = \frac{11600}{36}$$

Redondeando se obtiene:

$$N \cong 322$$

Resultando **322 muestras en total** para el tramo en estudio.

#### ***4.2.2. Determinación de Unidades de Muestreo para Evaluación***

Se indica que en la evaluación de un proyecto se deben inspeccionar todas las unidades, sin embargo se puede calcular un número mínimo de unidades de muestreo, la cual tiene una precisión de PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%. La ecuación para determinarla es la siguiente:

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

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección ( $e = 5\%$ )

s: Desviación estándar del PCI entre las unidades

Asimismo, asumiendo una desviación estándar  $\sigma$  del PCI de 10 por ser pavimento asfáltico, se tiene que:

$$n = \frac{322 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (322 - 1) + 10^2}$$

$$n = 15.29$$

Redondeando se obtiene:

$$n \cong 16$$

Por tanto, se calculan **16 muestras como mínimo** a ser evaluadas.

#### ***4.2.3. Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección***

Según las recomendaciones que se dan, las 16 unidades mínimas a elegir han de estar igualmente espaciadas a lo largo de la sección de toda la vía, por lo que se debe calcular un intervalo de muestreo (i) mediante la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponibles.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

Se tiene que,

$$i = \frac{322}{16}$$

$$i = 20.12$$

Redondeando se obtiene,

$$i \cong 20$$

Por tanto, se obtiene que cada 20 muestras será el intervalo a elegir cada unidad de muestra.

Como ya se tiene el intervalo de muestreo, seleccionamos aleatoriamente la unidad inicial de muestreo, la cual en nuestro estudio elegimos la U-1, las subsiguientes unidades a evaluar serán como se muestra a continuación:

**Tabla 12**

*Unidades de muestras seleccionadas aleatoriamente para evaluar*

N°	Unidad de muestra
1	U-1
2	U-21
3	U-41
4	U-61
5	U-81
6	U-101
7	U-121
8	U-141
9	U-161
10	U-181
11	U-201
12	U-221

13	U-241
14	U-261
15	U-281
16	U-301

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.4. Selección de Unidades de Muestreo Adicionales**

La guía señalada, recomienda establecer cualquier unidad de muestreo inusual y evaluarla como “unidades adicionales”. En nuestro caso, se incorporaron algunas muestras adicionales debido a la importancia de incluir fallas de tipo parcheo la cual casi no se incluyeron en las muestras aleatorias.

Se seleccionaron las siguientes muestras adicionales:

#### **Tabla 13**

##### *Unidades de muestra adicionales*

N°	Unidad de muestra
17	U-210
18	U-223
19	U-264
20	U-277
21	U-293

*Nota.* Elaboración propia

#### **4.2.5. Cálculo del PCI**

A través de las hojas de registro, cálculos y los ábacos que se adjuntan en el Anexo 8.2, se obtiene los resultados de las unidades de muestreo, empezando desde la unidad de muestra U-01 hasta la unidad de muestra U-301, además de las muestras adicionales; en

las hojas de registro se detallan los datos recopilados en campo como el tipo de falla, severidad, progresiva y su clasificación según el PCI.

### Unidad de Muestra U-01

Se evalúa la U-01 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 0+000.00 hasta la progresiva km 0+036.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La tabla 14 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 14**

*Proceso de fallas U-01*

N°	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO (VD)
2	L	0.08	0.11	0.19	0.08	0.00
7	L	3.06		3.06	1.29	1.93
<b>Número Máximo Admisible:</b>		<b>10.01</b>				

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son exudación y grietas de borde. En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-01 es grietas de borde.

**Tabla 15**

*PCI y clasificación U-01*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	1.93	1.90	1	0.00
2	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 98.07</b>		<b>Clasificación: Excelente</b>

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 1.93; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 98.07; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-21

Se evalúa la U-21 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 0+720.00 hasta la progresiva km 0+756.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La tabla 16 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 16**

*Proceso de fallas U-21*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	0.00	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>			10.18		

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas significativas en la presenta muestra.

**Tabla 17**

*PCI y clasificación U-21*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100.00</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-41

Se evalúa la U-41 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 1+440.00 hasta la progresiva km 1+476.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La tabla 18 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 18**

*Proceso de fallas U-41*

N°	Severidad	Cantidades Parciales		Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
2	L	0.10	0.10	0.20	0.08	0.00
-	-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>10.18</b>				

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son exudación.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-41 es exudación.

**Tabla 19**

*PCI y clasificación U-41*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2				
3				
<b>Máx. VDC:</b>		<b>PCI: 100</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-61**

Se evalúa la U-61 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 2+160.00 hasta la progresiva km 2+196.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La tabla 20 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 20**

*Proceso de fallas U-61*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
2	L	0.20	0.20	0.09	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>			<b>10.18</b>		

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son exudación.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-61 es exudación.

**Tabla 21**

*PCI y clasificación U-61*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2	-	-	-	-

<b>3</b>	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100</b>		<b>Clasificación: Excelente</b>
<i>Nota.</i> Elaboración propia				

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-81

Se evalúa la U-81 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 2+880.00 hasta la progresiva km 2+916.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La tabla 22 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 22**

*Proceso de fallas U-81*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	-	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-

**Número Máx. Admisible: 10.18**

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas en la muestra presente.

**Tabla 23**

*PCI y clasificación U-81*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
<b>1</b>	-	-	-	0.00
<b>2</b>	-	-	-	-
<b>3</b>	-	-	-	-

**Máx. VDC: 0      PCI: 100      Clasificación: Excelente**

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-101

Se evalúa la U-101 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 3+600.00 hasta la progresiva km 3+636.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La tabla 24 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 24**

*Proceso de fallas U-101*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	-	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>			<b>10.18</b>		

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas en la muestra presente.

**Tabla 25**

*PCI y clasificación U-101*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-121

Se evalúa la U-121 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 4+320.00 hasta la progresiva km 4+356.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 26 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 26**

*Proceso de fallas U-121*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	-	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>			<b>10.18</b>		

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas en la muestra presente.

**Tabla 27**

*PCI y clasificación U-121*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-141

Se evalúa la U-141 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 5+040.00 hasta la progresiva km 5+076.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 28 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 28**

*Proceso de fallas U-141*

N°	Severidad	Cantidades Parciales				Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)	
2	L	0.39	0.24			0.64	0.27	0.00	
7	L	2.58	3.63	1.55	2.12	9.88	4.16	3.63	
<b>Núm. Máx. Admisible:</b>		<b>9.85</b>							

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son exudación y grietas de borde.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-141 es grietas de borde.

**Tabla 29**

*PCI y clasificación U-141*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	3.63	3.60	1	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 96.37</b>		<b>Clasificación: Excelente</b>

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 3.63; un indicador máximo de valor deducido corregido 0; y un PCI de 96.37; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-161**

Se evalúa la U-161 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 5+760.00 hasta la progresiva km 5+796.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 30 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 30**

*Proceso de fallas U-161*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	-	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>			<b>10.18</b>		

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas en la muestra presente.

**Tabla 31**

*PCI y clasificación U-161*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
<b>1</b>	-	-	-	0.00
<b>2</b>	-	-	-	-
<b>3</b>	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-181

Se evalúa la U-181 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 6+480.00 hasta la progresiva km 6+516.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 32 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 32**

*Proceso de fallas U-181*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	-	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>			<b>10.18</b>		

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas en la muestra presente.

**Tabla 33**

*PCI y clasificación U-181*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00, un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-201

Se evalúa la U-201 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 7+200.00 hasta la progresiva km 7+236.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 34 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 34**

*Proceso de fallas U-201*

N°	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
7	L	5.15	5.93	5.98	5.98	3.23	3.64	29.91	12.59	5.70
10	L	1.31	0.98					2.29	0.96	0.00
<b>Número Máximo Admisible:</b>								<b>9.66</b>		

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son grietas longitudinales y grietas de borde.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-201 es grietas de borde.

**Tabla 35**

*PCI y clasificación U-201*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	5.70	5.70	1	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 94.30</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 5.70; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 94.30; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-221**

Se evalúa la U-221 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 7+920.00 hasta la progresiva km 7+956.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 36 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 36**

*Proceso de fallas U-221*

N°	Severidad	Cantidades Parciales					Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
7	L	2.46	2.07	1.64	2.42	0.98	9.57	4.03	3.61
-	-	-					-	-	-
<b>Número Máximo Admisible:</b>							<b>9.85</b>		

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son grietas de borde.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-221 es grietas de borde.

**Tabla 37**

*PCI y clasificación U-221*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	3.61	3.60	1	0.00
2	-	-	-	-

<b>3</b>	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>	<b>PCI: 96.39</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 3.60; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 96.39; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-241**

Se evalúa la U-241 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 8+640.00 hasta la progresiva km 8+676.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 38 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

### **Tabla 38**

*Proceso de fallas U-241*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
7	L	3.88	3.88	1.63	2.21
10	L	3.14	3.14	1.32	0.00
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>9.98</b>			

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son grietas longitudinales, y grietas de borde.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-241 es grietas de borde.

### **Tabla 39**

*PCI y clasificación U-241*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
----	----------------	-----	---	--------------------------

<b>1</b>	2.21		2.20	1	0.00
<b>2</b>	-		-	-	-
<b>3</b>	-		-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 97.79</b>		<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 2.21, un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00, y un PCI de 97.79, concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-261**

Se evalúa la U-261 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 9+360.00 hasta la progresiva km 9+396.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 40 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

#### **Tabla 40**

*Proceso de fallas U-261*

<b>N°</b>	<b>Severidad</b>	<b>Cantidades Parciales</b>					<b>Total</b>	<b>Densidad</b>	<b>Valor Deducido (Vd)</b>
7	L	5.60	5.70	0.90	1.51	2.81	16.52	6.95	4.29
-	-						-	-	-
<b>Número Máximo Admisible:</b>							<b>9.79</b>		

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son grietas de borde.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-261 es grietas de borde.

#### **Tabla 41**

*PCI y clasificación U-261*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	4.29	4.30	1	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 95.71</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 4.29; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 95.71; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### Unidad de Muestra U-281

Se evalúa la U-281 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 10+080.00 hasta la progresiva km 10+116.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 42 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 42**

*Proceso de fallas U-281*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
11	L	1.93	1.93	0.81	1.93
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>10.01</b>			

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son parcheo.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-281 es parcheo.

**Tabla 43***PCI y clasificación U-281*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	1.93	1.90	1	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 98.07</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 1.93; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 98.07; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

**Unidad de Muestra U-301**

Se evalúa la U-301 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 10+800.00 hasta la progresiva km 10+836.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 44 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 44***Proceso de fallas U-301*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
-	-	-	-	-	0.00
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>10.18</b>			

*Nota.* Elaboración propia

No se identificaron fallas en la muestra presente.

**Tabla 45**

*PCI y clasificación U-301*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	-	-	-	0.00
2	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 100</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 100; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

**Unidad de Muestra Adicional U-210**

Se evalúa la U-210 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 7+524.00 hasta la progresiva km 7+560.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 46 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 46**

*Proceso de fallas U-210*

N°	Severidad	Cantidades Parciales		Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
11	L	1.74	2.57	4.31	1.81	4.01
-	-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>9.82</b>				

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son parcheo.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-210 es parcheo.

**Tabla 47***PCI y clasificación U-210*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	4.01	4.0	1	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 95.99</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 0.00; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 95.99; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

**Unidad de Muestra U-223**

Se evalúa la U-223 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 7+992.00 hasta la progresiva km 8+028.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 48 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 48***Proceso de fallas U-223*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
11	L	6.54	6.54	2.75	6.06
-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>9.63</b>			

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son parcheo.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-223 es parcheo

**Tabla 49**

*PCI y clasificación U-223*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	6.06	6.10	1	0.00
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 93.94</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 6.06; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 93.94; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

#### **Unidad de Muestra U-264**

Se evalúa la U-264 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 9+468.00 hasta la progresiva km 9+504.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 50 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 50**

*Proceso de fallas U-264*

N°	Severidad	Cantidades Parciales		Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
11	L	4.52	2.95	7.47	3.14	6.80
-	-	-	-	-	-	-
<b>Número Máx. Admisible:</b>		<b>9.56</b>				

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son parcheo.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-264 es parcheo.

**Tabla 51**

*PCI y clasificación U-264*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	6.80	6.80	1	0.00
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 98.07</b>	<b>Clasificación: Excelente</b>	

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 1.93; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 93.20; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-277**

Se evalúa la U-277 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 9+936.00 hasta la progresiva km 9+972.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 52 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 52**

*Proceso de fallas U-277*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
11	L	5.99	5.99	2.52	5.54
-	-	-	-	-	-
<b>Número máx. admisible:</b>		<b>9.67</b>			

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son parcheo.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-277 es parcheo.

**Tabla 53**

*PCI y clasificación U-277*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	5.54	5.50	1	0.00
2	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 94.46</b>		<b>Clasificación: Excelente</b>

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 5.54; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 94.46; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

### **Unidad de Muestra U-293**

Se evalúa la U-293 la cual tiene un área de 237.60 m<sup>2</sup>, comprendida desde la progresiva inicial km 10+512.00 hasta la progresiva km 10+548.00 con un ancho de calzada de 6.60 m. La Tabla 54 muestra los valores deducidos de la unidad de muestra evaluada.

**Tabla 54**

*Proceso de fallas U-293*

N°	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad	Valor Deducido (Vd)
----	-----------	----------------------	-------	----------	---------------------

11	L	2.87	2.67	-	5.54	2.33	5.13
-	-	-	-	-	-	-	-

**Número máx. admisible: 9.71**

*Nota.* Elaboración propia

Se identifican diferentes tipos de fallas, donde se indica las fallas de baja severidad son parcheo.

En la tabla anterior la falla que predomina con una mayor área en la carpeta asfáltica en la U-293 es parcheo.

### Tabla 55

*PCI y clasificación U-293*

N°	Valor deducido	VDT	q	Valor deducido corregido
1	5.13	5.10	1	0.00
2	-	-	-	-
<b>Máx. VDC: 0</b>		<b>PCI: 94.87</b>		<b>Clasificación: Excelente</b>

*Nota.* Elaboración propia

Se identifica los valores deducidos: 5.13; un indicador máximo de valor deducido corregido 0.00; y un PCI de 94.87; concluyendo con una clasificación de pavimento Excelente.

#### 4.2.5. Cuadro Resumen de Resultados y Cálculo del PCI Promedio

En la Tabla 56 se muestra la evaluación del tramo estudiado en la vía panamericana sur.

### Tabla 56

*Resumen de las unidades de muestreo aleatorias*

Unidad de muestra	Progresiva Inicial (Km)	Progresiva Final (Km)	Área	PCI	Calificación
-------------------	-------------------------	-----------------------	------	-----	--------------

U-01	0+000.00	0+036.00	237.60	98.07	EXCELENTE
U-21	0+720.00	0+756.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-41	1+440.00	1+476.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-61	2+160.00	2+196.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-81	2+880.00	2+916.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-101	3+600.00	3+636.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-121	4+320.00	4+356.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-141	5+040.00	5+076.00	237.60	96.37	EXCELENTE
U-161	5+760.00	5+796.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-181	6+480.00	6+516.00	237.60	100.00	EXCELENTE
U-201	7+200.00	7+236.00	237.60	94.30	EXCELENTE
U-221	7+920.00	7+956.00	237.60	96.39	EXCELENTE
U-241	8+640.00	8+676.00	237.60	97.79	EXCELENTE
U-261	9+360.00	9+396.00	237.60	95.71	EXCELENTE
U-281	10+080.00	10+116.00	237.60	98.07	EXCELENTE
U-301	10+800.00	10+836.00	237.60	100.00	EXCELENTE
			<b>PCI<sub>R</sub></b>	<b>98.54</b>	<b>EXCELENTE</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 57**

*Resumen de las unidades de muestreo adicionales*

<b>Unidad de muestra</b>	<b>Progresiva Inicial (Km)</b>	<b>Progresiva Final (Km)</b>	<b>Área</b>	<b>PCI</b>	<b>Calificación</b>
U-210	7+524.00	7+560.00	237.60	95.99	EXCELENTE
U-223	7+992.00	8+028.00	237.60	93.94	EXCELENTE
U-264	9+468.00	9+504.00	237.60	93.20	EXCELENTE
U-277	9+936.00	9+972.00	237.60	94.46	EXCELENTE
U-293	10+512.00	10+548.00	237.60	94.87	EXCELENTE
			<b>PCI<sub>A</sub></b>	<b>94.49</b>	<b>EXCELENTE</b>

*Nota.* Elaboración propia

#### **4.2.6. Cálculo del PCI Promedio de Toda la Sección de Pavimento**

Dado que la utilización de la técnica de muestreo, y la selección de muestras fue de forma aleatoria sistemática, y además se usaron unidades de muestreo adicionales, se calcula mediante promedio ponderado como se muestra:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCI<sub>S</sub>: PCI de la sección del pavimento.

PCI<sub>R</sub>: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI<sub>A</sub>: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

Reemplazando se tiene:

$$PCI_S = \frac{[(21 - 5) \times 98.54] + (5 \times 94.49)}{21}$$

$$PCI_S = 97.57$$

Según el rango de calificación del PCI, la sección del pavimento del tramo estudiado, se encuentra en la clasificación EXCELENTE.

### Tabla 58

*Clasificación PCI según valor calculado*

Valor	Calificación
100 – 85	Excelente
85 -70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Nota. Vásquez (2022)

#### 4.2.7. Determinación de la Transitabilidad del Pavimento y Clasificación

Después, la transitabilidad de la vía PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645, en el momento de la presente investigación, se obtiene a través de la siguiente ecuación por simple división, dado que ambos son valores cualitativos, en el caso de PSI, la escala es de 0 a 5, y en PCI, la escala es de 0 a 100:

$$PSI = \frac{PCI}{20}$$

$$PSI = \frac{97.57}{20}$$

$$PSI = 4.88$$

Asimismo, empleando una ecuación generada con un análisis por simple regresión (Nur, et al., 2019), para correlacionar el PCI y PSI en pavimentos flexibles, se tiene:

$$PCI = 27.667 + 16.484 \times PSI$$

$$97.57 = 27.667 + 16.484 \times PSI$$

Despejando PSI:

$$PSI = \frac{97.57 - 27.667}{16.484}$$

$$PSI = \frac{97.57 - 27.667}{16.484}$$

$$PSI = 4.24$$

Para ambos casos se concluye que la transitabilidad de la sección del pavimento, clasifica como MUY BUENA.

#### Tabla 59

*Calificación de la transitabilidad*

PSI	Transitabilidad
-----	-----------------

---

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

---

*Nota.* Escala de Clasificación de la serviciabilidad – AASHO (1962)

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestran la discusión de los principales resultados obtenidos en la investigación:

#### **5.1. Calcular el Valor del Índice de Condición PCI Utilizando el Vehículo no Tripulado en la Carretera PE-1S, Tramo: TA-644 a TA-645**

Como objetivo específico N° 1 se consideró calcular el valor del índice de condición PCI utilizando el vehículo no tripulado en la carretera PE-1S, en base a ello se estudió la teoría de evaluación de pavimentos flexibles mediante PCI, que es una metodología empleada para evaluar el estado actual del pavimento, en cuanto a su integridad estructural y su estado funcional (Espinoza y Mendoza, 2023). Asimismo, el uso del vehículo aéreo no tripulado articulado con la metodología PCI permite el levantamiento de información en corto tiempo en comparación con el método tradicional, además que su posterior edición de la ortofoto hace posible evaluar toda la vía de estudio, ubicando cada falla, severidad y su cantidad correspondiente (Cruz y Gutiérrez, 2019).

En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que se halló el valor de  $PCI = 97.57$ , que según el rango de calificación del PCI, la sección del pavimento del tramo estudiado, se encuentra en la clasificación EXCELENTE; lográndose haber hecho la evaluación de fallas en gabinete sin necesidad de detener el tráfico ni poner en riesgo la vida de los operarios.

Los resultados de la presente investigación coinciden con lo obtenido por Chipana (2022), quien realizó su estudio mediante una inspección con fotografías ortogonales que son tomadas a lo largo de la vía con una cámara digital acondicionada en un vehículo y la metodología PCI, obteniendo así un índice de condición de pavimento de 63.07 el cual determina un estado de conservación del pavimento como “Bueno”. Y que los datos analizados fueron levantados de manera óptima sin riesgos a sufrir accidentes, pero procurando obtener las imágenes cuando había menor tráfico de vehículos, al igual que en la presente investigación, ya que se optó por utilizar un vehículo el cual requería estar a bajas velocidades para la captura de imágenes de la superficie del pavimento. Del mismo modo, también coincide con Cruz y Gutiérrez (2019), quien tras su análisis encontró que el método VANT demanda menor tiempo y menos personal que el método tradicional, sin descuidar los resultados de PCI dado que fueron cercanos, además de permitir una evaluación sin cierre de vías, sin generar tráfico, más seguridad para los inspectores, y con la ortofoto generada poder analizar varias veces las fallas encontradas.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, evidencian que el uso de métodos alternativos para determinar el PCI, como el uso de vehículos aéreos no tripulado o auscultación con imágenes montado a vehículos resulta ser efectivo al encontrar resultados cercanos al método tradicional, y eficientes al reducir el tiempo y costo de los trabajos de campo, y poder analizar las imágenes obtenidas y tener una base de datos de los daños encontrados.

## **5.2. Determinar la Transitabilidad Vehicular Utilizando un Vehículo no Tripulado en la Carretera PE-1S, Tramo: TA-644 a TA-645**

Como objetivo específico N° 2 se consideró determinar la transitabilidad vehicular utilizando un vehículo no tripulado en la carretera PE-1S, en base a ello se estudió la transitabilidad o serviciabilidad, donde según Rodríguez y Tamayo (2019), se define como la percepción que se tiene del nivel de servicio de la infraestructura vial que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo, pero también como indica Mozo y Quispe (2019) está relacionado con el estado de la vía dado que este también influye en el grado de confort que tiene la superficie. La transitabilidad es posible ser hallada en la medida en que se pueda correlacionar con el valor del Índice de Condición del Pavimento PCI, con el método VANT o auscultación con fotografías se encuentra este valor y posteriormente se puede encontrar el Índice de Serviabilidad Presente y así la transitabilidad.

En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que se halló el valor de  $PSI = 4.88$  mediante comparación simple con la clasificación numérica PCI y 4.24 aplicando una ecuación propuesta por Nur et al. (2019), para ambos casos según el rango de calificación del PSI, la sección del pavimento del tramo estudiado, se encuentra en la clasificación MUY BUENA, por encontrarse en el rango de 4 a 5; lográndose conocer el estado de la transitabilidad de la vía sin necesidad de calcular el valor IRI como se usa comúnmente, sino a través de la metodología PCI y mediante la inspección de fallas con las fotografías.

Los resultados de la presente investigación coinciden con Lanado (2021) en su tesis de grado “Determinación del índice de serviciabilidad e índice de condición del pavimento de la ruta cu-100 tramo Izcuchaca-Huarocondo, utilizando el rugosímetro de merlín y dron”, en cuanto a la posibilidad de hallar la transitabilidad mediante uso de un método no convencional como el de auscultación de imágenes, en la medida en que teniendo el valor de PCI puede hallarse mediante comparación con el rango de

clasificación numérica el valor de la transitabilidad o serviciabilidad (PSI), y este valor comprobarse mediante el cálculo del IRI y su correlación con el PSI. Sin embargo, no coincide en cuanto la metodología empleada, dado que, en su investigación al tener el modelo digital de la vía y el perfil del terreno, señala en su discusión que puede hallar el IRI con la variación de elevaciones del perfil longitudinal y así posteriormente el PSI mediante una ecuación correlativa (Lanado, 2021). Es decir, en dicha investigación se puede calcular el PSI mediante el IRI y a su vez este valor hallar mediante la misma fuente de datos obtenidos con dron, a diferencia de la presente investigación en que el valor de IRI que se usaría para hallar el PSI, se obtendría de otra fuente de datos, del uso de teléfonos inteligente con el aplicativo IRI Regularidad de Abakal. Asimismo, el valor de PSI que calcularon fue de REGULAR, y el de PCI también de REGULAR, por lo que coincide con la presente investigación en la cual se halló la transitabilidad PSI de MUY BUENA y el valor de PCI con clasificación EXCELENTE, lo cual muestra que existe correlación y, que conociendo el valor de PCI y su clasificación se puede saber la transitabilidad de la vía.

Los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación, evidencian que es posible determinar la transitabilidad de la vía mediante el uso de métodos no convencionales como la metodología VANT – PCI o el de auscultación de vía con imágenes capturadas mediante fotografía con un vehículo terrestre, dado que el valor de PCI también indica cuán buena es la transitabilidad o serviciabilidad de una vía, y tiene correlación en cuanto a sus valores. Asimismo, la transitabilidad se puede hallar a partir del valor de la rugosidad IRI como en la presente investigación, pero también es posible hallarlo a partir del modelo digital generado para la metodología VANT-PCI, evaluando la variación de elevaciones del perfil longitudinal.

### **5.3. Determinar la Transitabilidad Vehicular Utilizando un Teléfono Inteligente en la Carretera PE-1S, tramo: TA-644 a TA-645**

Como objetivo específico N° 3 se consideró determinar la transitabilidad vehicular utilizando un teléfono inteligente en la carretera PE-1S, tramo: TA-644 a TA-645, en base a ello se estudió la transitabilidad o serviciabilidad, donde según Rodríguez y Tamayo (2019), se define como la percepción que se tiene del nivel de servicio de la infraestructura vial que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo, pero también como indica Mozo y Quispe (2019) está relacionado con el estado de la vía dado que este también influye en el grado de confort que tiene la superficie. Señala Rios y Torres (2022), que se determinó el nivel de servicio mediante el índice de regularidad internacional con el aplicativo móvil ABAKAL, encontrando la serviciabilidad en una calificación que es coherente con lo observado en campo; asimismo Reyes (2020) indica que los resultados obtenidos con el aplicativo “IRI Calculator” de ABAKAL coincide con los resultados de los otros métodos comúnmente aplicados como el rugosímetro de merlín, indicando a su vez que una ventaja es que es muy idóneo para la evaluación de vía rápidas y de distancia de recorrido extensas, por lo que el tiempo de evaluación puede ser inferior con el uso de teléfonos inteligentes.

En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que se halló el valor de  $PSI = 3.00$ , habiéndose reemplazado el IRI promedio de 2.78 m/km con las ecuaciones de transitabilidad PSI, es como se obtiene dicho valor numérico del índice de serviciabilidad presente, en función del IRI, que nos señala que el pavimento se encuentra entre la clasificación BUENA. Dicho valor de IRI fue calculado mediante el aplicativo de ABAKAL con un teléfono inteligente.

Los resultados de la presente investigación coinciden no en su totalidad con lo obtenido por Arce (2021) quien tras efectuar las respectivas pruebas con el aplicativo

móvil para obtener el IRI y contrastar los datos con el método tradicional, los resultados fueron óptimos y similares, lo que muestra la efectividad en el uso del aplicativo ABAKAL para móviles. Ya que el presente método se contrastó el resultado obtenido de la transitabilidad que fue de “Buena” con lo obtenido mediante el método PCI, la cual fue “Muy buena” por lo que no ha sido del todo igual el resultado de transitabilidad aplicando diferentes métodos de evaluación de pavimentos. Mas, no coincide con lo expuesto por Mozo y Quispe (2019), que obtuvo un valor de  $PCI = 22.87$  lo cual representaría una transitabilidad “Mala”, y determinó mediante el aplicativo móvil un  $IRI$  promedio = 3.18, la cual mediante ecuación de correlación un  $PSI = 2.81$ , lo cual representaría así una transitabilidad “Regular”; a diferencia de la presente investigación donde la transitabilidad encontrada en función del PCI fue de “Muy buena” y la transitabilidad hallada en función del IRI fue de “Buena”, lo cual no muestra la misma tendencia, debido a que en dicha investigación de Mozo y Quispe (2019), encuentra una transitabilidad más baja calculándola en función del PCI, en cambio en la presente investigación se halla una transitabilidad mejor, a comparación de calcularlo en función del IRI. Asimismo, no coincide con Reyes (2020) en que no se llegó a comparar el valor de IRI calculado para hallar la transitabilidad, con otros métodos de cálculo de IRI para corroborar su confiabilidad, como usar un rugosímetro de merlín o perfilómetro laser. Sin embargo, coincide con Arce (2021) en que emplear el software o aplicativo móvil de ABAKAL permite obtener resultados en menos tiempo y es más económico.

Los antecedentes y su contraste con la presente investigación, para el caso de Mozo y Quispe (2019), es posible que se deba a que no hay relación directamente proporcional del PCI y el IRI, mas sí cuando de estos valores se encuentra el valor de PSI o transitabilidad, allí sí llegan a ser comparables. Además, el valor de IRI hallado en la presente investigación, resulta no dar una transitabilidad “Muy buena” a comparación con

el que da el PCI, debido a que es una vía que se ha tenido un mantenimiento periódico, y se observó gran cantidad de parcheos y sellados, lo cual casi no afectó el valor del PCI mas sí la regularidad en cierta medida. En el caso de la no coincidencia con Reyes (2020), en la presente investigación, se optó por comparar dos métodos distintos de evaluación de pavimentos en general, mas no de evaluación de rugosidad, por lo que no se tuvo una referencia para calcular un porcentaje de confiabilidad como se observa en su investigación. Y finalmente, la coincidencia con Arce (2021), evidencia que el uso de teléfonos inteligente para hallar el IRI y con ello la transitabilidad, resulta ser más económico y rápido, y más aún en tramos extensos, dado que la evaluación es con un vehículo y generalmente el uso de este resulta ser más económico que contratar personal para toda la jornada, cuanto más extensa la vía se aprecia más la ventaja del método con aplicativos móviles.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se calculó que el valor del índice de condición de pavimento PCI utilizando el vehículo no tripulado es 97.57, lo que significa que según el rango de calificación del PCI, la sección del pavimento del tramo estudiado, se encuentra en la clasificación EXCELENTE, lo cual se debe a la casi nula presencia de fallas sin mantenimiento dada también la importancia de la vía y por ser concesionada, y que el método PCI al solo evaluar muestras referenciales hay más posibilidad de omitir algunas fallas. También, que, al ser este método indirecto, a comparación con el tradicional en que se identifica las fallas in situ, no se puede visualizar claramente la severidad de las fallas ni medir profundidades. Lo que genera un alto valor del PCI, sin embargo, es evidente por la visualización en campo que el pavimento sí se encuentra en un estado EXCELENTE.
- Se determinó que la transitabilidad vehicular utilizando un vehículo no tripulado es de MUY BUENA, dado que se halló un valor de PSI igual a 4.56 lo cual según su rango de calificación se encuentra en un valor de “Muy buena”. Resulta tener el más alto nivel de transitabilidad vehicular debido a que se ha encontrado el PSI mediante correlación con el PCI, y este último valor se calificó como Excelente. Asimismo, el mismo valor de PCI ya se suele interpretar como un índice que indica transitabilidad, lo que genera que la transitabilidad resulte ser muy buena en función del análisis de las fallas mínimas evaluadas mediante la metodología PCI. Por otro lado, el alto valor de la transitabilidad, como bien se mencionó que es “muy buena”

por su relación con el PCI, esto también se debe a que el valor de PSI (Índice de serviciabilidad presente) solo evalúa el estado superficial del pavimento, mas no el tránsito u otros factores que influyan la transitabilidad en general, lo que genera que el valor sea “Muy buena”.

- Se determinó que la transitabilidad vehicular utilizando un teléfono inteligente es BUENA, dado que se halló un valor de  $PSI = 3.00$ , lo cual según su rango de calificación se encuentra en un valor de “Buena”, y a su vez, este valor se ha calculado en función del IRI promedio, que mediante una ecuación correlativa se halló como 2.78 m/km, la misma que indica un estado vial “Bueno” según la Tabla 4. Lo que genera que este valor bajo de la rugosidad incida en el valor de la transitabilidad con calificación “Buena”. Por otro lado, se ha comprobado que el método utilizado para hallar rugosidad mediante un teléfono inteligente y un aplicativo como IRI. Regularidad de Abakal, resulta ser más económico y rápido, a comparación de otros métodos para hallar la transitabilidad, como es el de hallarlo a través de la metodología PCI.

## **5.2. Recomendaciones**

- Las autoridades gubernamentales deben buscar la implementación de nuevas tecnologías alternativas en la evaluación de pavimentos, y no solo por su ventaja económica y versatilidad, sino también porque tener por ejemplo una base de datos de modelo digital del estado de vías, permitirá hacer un buen inventariado de estas y su estado actual para mejor gestión, uso de recursos y mantenimiento de las vías.
- Se recomienda a las autoridades gubernamentales encargadas de las vías, seguir

minuciosamente las indicaciones para la evaluación de la rugosidad con el aplicativo móvil IRI Rugosidad de Abakal, dado que proporciona confiabilidad en función en cuan estable sea la velocidad de 80 km/h que indica, por lo que el resultado va a depender de dichas condiciones. Por lo que, a su vez se recomienda prever que la vía en estudio esté libre de tráfico tomando en consideración el horario.

- Se recomienda a los investigadores o tesisistas considerar que para el levantamiento con fotografías mediante teléfono celular desde un vehículo y metodología PCI, esto alternativo al uso de dron, se tiene que reducir la velocidad del vehículo por debajo de los 20 km/h para no omitir tramos sin haber sido capturados. Caso contrario, la velocidad del vehículo será mayor a la velocidad de captura de fotografías que tiene el dispositivo móvil y se perderá información. En ese sentido, también es recomendable prever que la vía en estudio esté libre de tráfico, y que, en ser posible, para investigaciones, se opte por evaluar vías vecinales; dado que, para vías rápidas, es mejor hacer uso de dron por su capacidad de capturar todo el tramo en su totalidad sin perjuicio de velocidad ni obstáculos de vehículos, porque es factible hacer correcciones con procesamiento de las imágenes.
- Se recomienda determinar una longitud máxima de muestreo para investigaciones, dado que se puede obtener la mayor cantidad de daños posible. Especialmente en investigaciones experimentales donde se puede estar omitiendo información de falla debido a la no inspección visual in situ.
- Se recomienda a los investigadores o tesisistas, procurar tomar las fotografías

mediante el móvil y un vehículo, que sea georreferenciadas para poder ordenar las fotografías de modo que se sepa a qué kilometraje se encuentra. En la presente investigación, se apoyó en señales horizontales en la vía que indicaban el kilómetro y en tiempo que fueron capturadas, sin embargo, para un trabajo en gabinete más eficiente, se recomienda conocer la ubicación exacta de las fotografías.

## REFERENCIAS

- Arce, C. (2021). Cálculo de índice de rugosidad internacional (IRI) usando el aplicativo ABAKAL para smartphone en la avenida universitaria del distrito de Pillco Marca—2020 [Universidad de Huánuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2858>
- ASTM. (s/f). E1926—08(2021) Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements [Práctica estándar para calcular el índice de rugosidad internacional de carreteras a partir de mediciones de perfiles longitudinales]. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://tienda.aenor.com/norma-astm-e1926-08-2021-108303>
- ASTM. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. AASHTO.
- ASTM. (2020). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. <https://www.astm.org/d6433-20.html>
- ASTM. (2021). Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements. ASTM. <https://www.astm.org/e1926-08r21.html>
- Badilla, G. (2009). Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del índice regularidad internacional (IRI): Aspectos y consideraciones importantes. Universidad de Costa Rica, 10.
- Banco Mundial. (2023, septiembre 18). Transporte: Panorama general [Text/HTML]. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview>
- Benavides, L., Marín, N., & Muñoz, S. (2020). Revisión de las tecnologías para la evaluación de pavimentos flexibles: Review of technologies for the evaluation of

- flexible pavements. *Revista Ciencia Norandina*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n2p133>
- Bryce, J., Boadi, R., & Groeger, J. (2019). Relating Pavement Condition Index and Present Serviceability Rating for Asphalt-Surfaced Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(3), 308–312. <https://doi.org/10.1177/0361198119833671>
- CAF. (2020). Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040. Corporación Andina de Fomento. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1575>
- Calvo, C. (2019). Mejor software de fotogrametría para mapeo en 3D usando drones [Educativos]. *Guía Drones*. <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/mejor-software-de-fotogrametria-para-mapeo-en-3d-usando-drones/>
- Cardoso, D., Carvalho, N., & Pessoa, A. (2017). Uso de vehículo aéreo no tripulado (VANT) en la identificación de falla superficial en pavimento asfáltico. *Revista ALCONPAT*, 7(2). <https://doi.org/10.21041/ra.v7i2.161>
- Castro, L., Muñoz, S., Paucar, J., & Ramirez, R. (2021). Tecnologías empleadas en la evaluación de pavimentos e impacto que han generado. *LLamkasun: Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 2(1), 29–44. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v2i1.29>
- Chipana, R. (2022). Evaluación superficial del pavimento flexible utilizando la metodología del PCI y el procesamiento de imágenes binarios en la red vial nacional PE-40, tramo: Km 14+145 – km 20+629, Tacna - 2022 [Pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4741>

- Cruz, J., & Gutiérrez, J. (2018). Evaluación Superficial de Vías Urbanas empleando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). *Métodos y Materiales*, 8, 23–32. <https://doi.org/10.15517/mym.v8i1.34113>
- De la Cruz, S., Ibañez, C., & Coaquira, D. (2022). Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: Pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *Revista Infraestructura Vial*, 24(43), Article 43. <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>
- Espinoza, R., & Mendoza, C. (2023). Estado superficial del pavimento flexible mediante las metodologías PCI, VIZIR y el aplicativo IRI en la avenida cincuentenario, Hualmay – 2023 [Pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7926>
- Gerencia de Regulación y Estudios Económicos - OSITRAN. (2023). Boletín estadístico Julio 2023. OSITRAN. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5006995/boletin-estadistico-jul-2023.pdf>
- Gonzalo, J., & Beingolea, H. (2021). Aplicación del Smartphone y el rugosímetro de Merlín para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la av. Internacional, Tacna—2021 [Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1801>
- Guzmán, A. (2015). La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país. Universidad de Piura. <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/12/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- Lanado, L. (2021). Determinación del índice de serviciabilidad e índice de condición del pavimento de la ruta CU-100 tramo Izcuchaca-Huarocondo, utilizando el rugosímetro de Merlín y dron [Universidad Andina del Cusco]. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4084>

- Laura, A., & Alvarado, M. (2022). Evaluación superficial para la mejora de la transitabilidad vehicular en la calle Antunez de Mayolo mediante el método PCI y Rugosímetro Merlín, Tacna, 2022 [Pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2348>
- Long, N. (2017). Research on the Correlation Between International Roughness Index (IRI) and Present Serviceability Index (PSI), Recommendations on Evaluation Rates in Vietnam's Conditions. *International journal of engineering research and technology*, 6(9). <https://www.semanticscholar.org/paper/Research-on-the-Correlation-Between-International-Long/a85ee2fddc56f79db6a3a05746f135a0aa5a2dda>
- MEF. (2019). Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/6700>
- Mozo, W., & Quispe, A. (2019). Evaluación superficial de la condición y serviciabilidad del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) y ROADROID en el circuito humedal Lucre-Huacarpay [Universidad Andina del Cusco]. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3466>
- MTC. (2014). Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N° 10—2014—MTC/14. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)
- MTC. (2017). Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras. MTC. [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2951.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2951.pdf)
- MTC. (2019). MTC: 7.5 millones de personas y 1.3 millones de vehículos transitan cada año por el paso fronterizo Tacna-Arica [Institucional]. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/52407-mtc-7-5->

millones-de-personas-y-1-3-millones-de-vehiculos-transitan-cada-ano-por-el-paso-fronterizo-tacna-arica

- Nieto, L. (2018). Manual IRI Android (2). Investigaciones en la obra civil. <https://carreteras-laser-escaner.blogspot.com/2018/10/manual-iri-android-2.html>
- Nur, W., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2019). Relationship between the Pavement Condition Index (PCI), Present Serviceability Index (PSI), and Surface Distress Index on Soekarno Hatta Road, Bandung. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(2), Article 2. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.2.3>
- Oblitas, B., Medina, I., & Paredes, C. (2021). International Evenness Index And Pavement Condition Index For Defining Pavement Serviceability Levels [Índice de rugosidad internacional e índice de condición del pavimento para definir los niveles de servicio del pavimento]. *ITECKNE*, 18(2), 170–175. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v18i2.2616>
- Peralta, J., & Menéndez, D. (2023). Análisis del índice de rugosidad internacional de la superficie del pavimento flexible de la vía Colimes-Paján, utilizando equipos inteligentes [Tesis de pregrado, Jipijapa-UNESUM]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4853>
- Peralta, J., & Reyes, B. (2021). Determinación del índice de rugosidad internacional en la av. La prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de Merlín [Tesis de pregrado, UNESUM]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2727>
- Quispe, J., Rioja, L., Silvera, M., & Reyes, J. (2020). Pavement management system to improve local road administration using PCI, IRI and PSI for pavement failures identification. 2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), 1–6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI51147.2020.9240361>

- Rios, J., & Torres, L. (2022). Índice de regularidad internacional usando aplicativos móviles para establecer el nivel de servicio de la superficie de rodadura [Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/6112>
- Roadroid. (2023). User Guide for Roadroid Pro 3. <https://www.roadroid.com/common/References/Roadroid%20User%20Guide%20-%20Pro%20Version.pdf>
- Rodríguez, J., & Tamayo, C. (2019). Evaluación de la transitabilidad vial y diseño del pavimento flexible en el sector virgen del socorro—Trujillo—La Libertad [Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4762>
- Tene, C. (2022). Metodología para la evaluación de vías rurales, Considerando la regularidad superficial de pavimentos Flexibles: Estudio caso vía Santa Rosa, Bellavista, La Avanzada del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19273>
- Tingal, H. (2021). Análisis del índice de rugosidad internacional (IRI) de la superficie del pavimento flexible de la vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el rugosímetro de Merlín [Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4366>
- Vásquez, L. (2002). PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. INGEPAV. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

## ANEXOS

### Panel fotográfico



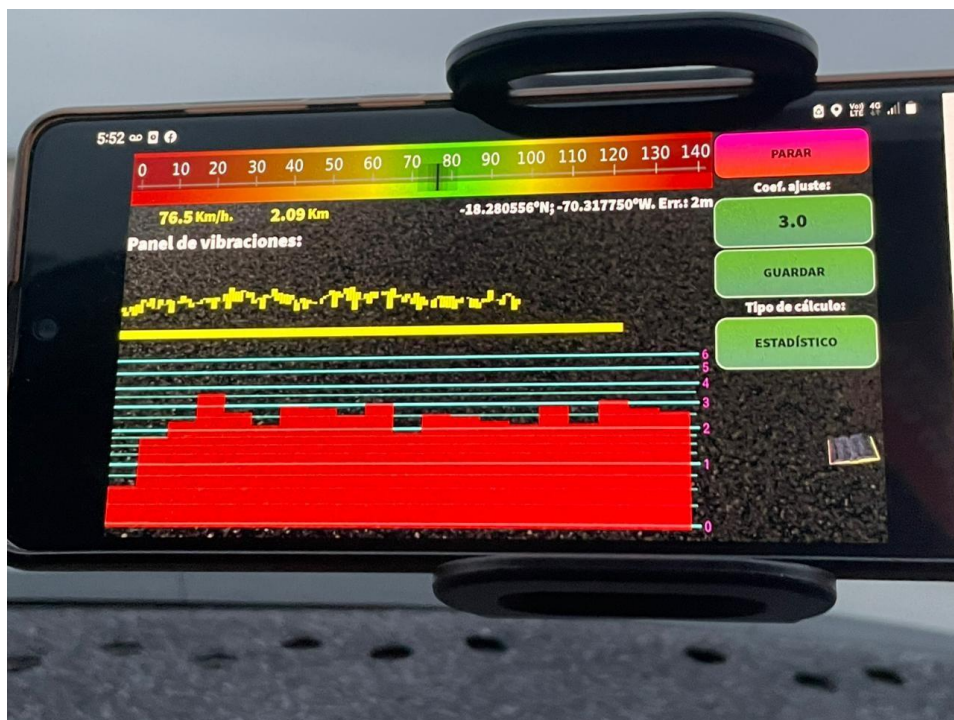
**Fotografía 1.** Evaluador de la vía PE-1S para la medición del IRI con aplicativo móvil.



**Fotografía 2.** Vista del montaje del teléfono inteligente e inicio de operación del vehículo para el uso del aplicativo Abakal.



**Fotografía 3.** Vista del interfaz del aplicativo IRI ABAKAL.



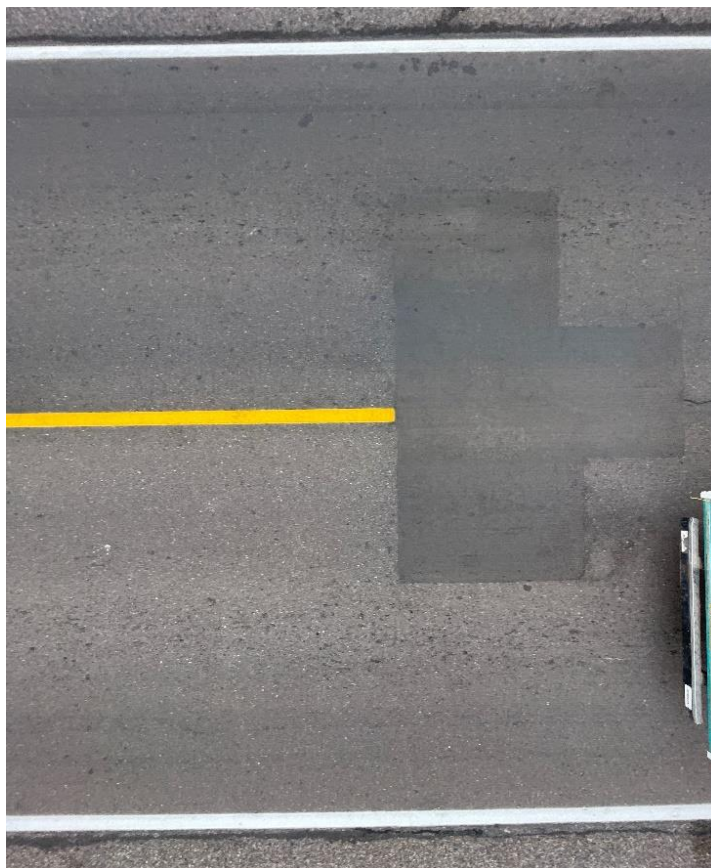
**Fotografía 4.** Vista de cerca del interfaz del aplicativo IRI ABAKAL, y se mantiene aproximadamente a 80 km/h. Coeficiente 3.0 y tipo de cálculo estadístico.



**Fotografía 5.** Vehículo utilizado para la colocación de la cámara digital en una altura ideal para capturar imágenes del ancho de la calzada para evaluación PCI.



**Fotografía 6.** Inicio de evaluación de la vía PE-1S.



**Fotografía 7.** Fallas tipo parcheo en el pavimento encontradas en la vía PE-1S, sección de muestra Km 133+294 – UMA 277.



**Fotografía 8.** Fallas tipo grieta de borde anteriormente selladas encontradas en la vía PE-1S.







**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DEL PCI**

<b>TESIS</b>	"DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR MEDIANTE EL USO DE VEHICULOS NO TRIPULADOS Y TELÉFONOS INTELIGENTES EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645, TACNA - 2022"
--------------	---

TRAMO :	N° 03	CALZADA	COMPL
UNIDAD DE MUESTREO :	U - 41		

ÁREA DE LA UNIDAD :	237.60 m2
FECHA :	16/07/2023

PROGRESIVA INICIAL :	Km 1+440.00
PROGRESIVA FINAL :	Km 1+476.00
ANCHO DE LA VÍA :	6.60 m

EVALUADOR :	CURASI TRUJILLANO, LUIS ALFREDO
-------------	---------------------------------

N°	Tipo de Falla	Código	Unidad
1	Piel de Cocodrilo	PC	m2
2	Exudación	EX	m2
3	Agrietamiento en bloque	AB	m2
4	Abultamiento y Hundimiento	AH	m2
5	Corrugación	CO	m2
6	Depresión	DE	m2
7	Grietas de borde	GB	m
8	Grieta de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Carril y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parqueo	PA	m2
12	Pulimiento de Agregados	PUA	m2

N°	Tipo de Falla	Código	Unidad
13	Baches o Huecos	BA	und
14	Cruce de vía férrea	CVF	m2
15	Ahuellamiento	AH	m2
16	Desplazamiento	DES	m2
17	Grieta Parabólica	GP	m2
18	Hinchamiento	HI	m2
19	Desprendimiento de Agregados	DA	m2

Severidad	Código
Bajo (Low)	L
Media (Medium)	M
Alto (High)	H

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)	
2	EX	L	0.10	0.10								0.20	0.08	0.00
												<b>Total VD :</b>	<b>0.00</b>	

Número Máximo Admissible de V.D. (m) : 10.18  
 Valor deducido más alto HDV : 0.00

N°	VALORES DUDUCIDOS											VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
												<b>Máx. VDC</b>		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI): PCI = 100 - (Máx. VDC)  
100.00

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: EXCELENTE

































**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CÁLCULO DEL PCI**

<b>TESIS</b>	"DETERMINACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR MEDIANTE EL USO DE VEHICULOS NO TRIPULADOS Y TELÉFONOS INTELIGENTES EN LA CARRETERA PE-1S, TRAMO: EMP. TA-644 A EMP. TA-645, TACNA - 2022"
--------------	---

TRAMO :	N° 19	CALZADA	COMPL
UNIDAD DE MUESTREO :	U - 264		

ÁREA DE LA UNIDAD :	237.60 m2
FECHA :	16/07/2023

PROGRESIVA INICIAL :	Km 9+468.00
PROGRESIVA FINAL :	Km 9+504.00
ANCHO DE LA VÍA :	6.60 m

EVALUADOR :	CURASI TRUJILLANO, LUIS ALFREDO
-------------	---------------------------------

N°	Tipo de Falla	Código	Unidad
1	Piel de Cocodrilo	PC	m2
2	Exudación	EX	m2
3	Agrietamiento en bloque	AB	m2
4	Abultamiento y Hundimiento	AH	m2
5	Corrugación	CO	m2
6	Depresión	DE	m2
7	Grietas de borde	GB	m
8	Grieta de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Carril y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parqueo	PA	m2
12	Pulimiento de Agregados	PUA	m2

N°	Tipo de Falla	Código	Unidad
13	Baches o Huecos	BA	und
14	Cruce de vía férrea	CVF	m2
15	Ahuellamiento	AH	m2
16	Desplazamiento	DES	m2
17	Grieta Parabólica	GP	m2
18	Hinchamiento	HI	m2
19	Desprendimiento de Agregados	DA	m2

Severidad	Código
Bajo (Low)	L
Media (Medium)	M
Alto (High)	H

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
11	PA	L	4.52	2.95							7.47	3.14	6.80
<b>Total VD :</b>												<b>6.80</b>	

Número Máximo Admissible de V.D. (m) : 9.56  
 Valor deducido más alto HDV : 6.80

N°	VALORES DUDUCIDOS										VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	6.80										6.80	1	0.00
<b>Máx. VDC</b>												<b>0.00</b>	

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI): PCI = 100 - (Máx. VDC)  
93.20

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: EXCELENTE



