

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN**  
**TRANSPORTES**



**EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE**  
**MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON**  
**MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA**  
**PE-40 TACNA, 2023**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Victor Yapuchura Platero**

**ORCID: 0000-0002-2209-9852**

**Asesor:**

**Dr. Martín Paucara Rojas**

**ORCID: 0000-0002-5169-102X**

**Para Obtener el Grado Académico de:**  
**MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN**  
**TRANSPORTES**

**TACNA - PERÚ**

**2026**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN**  
**TRANSPORTES**

**Tesis**

**“EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE  
MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS  
CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA  
CARRETERA PE-40 TACNA, 2023”**

**Presentado por:**

**Bach. Víctor Yapuchura Platero**

Tesis sustentada y aprobada el 10 de marzo de 2026; ante el siguiente jurado examinador:

**PRESIDENTE: Dr. Anibal Juan ESPINOZA ARANCIAGA**

**SECRETARIO: Mtro. Rolando Gonzalo SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ**

**VOCAL: Dr. Samuel HUAQUISTO CÁCERES**

**ASESOR: Dr. Martín PAUCARA ROJAS**

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo Víctor Yapuchura Platero, en calidad de Egresado de la Maestría de Ingeniería Civil con mención en estructuras de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con D.N.I. 00444587 Soy autor de la tesis titulada: “EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023”, con asesor: Dr. Martín Paucara Rojas.

### **DECLARO BAJO JURAMENTO**

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil con mención en Transportes, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 09% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

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

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 10 de marzo del 2026



---

Victor Yapuchura Platero

DNI: 00444587

**DEDICATORIA**

A mis padres Eleuterio y Francisca,  
por el apoyo incondicional, para  
seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a los docentes de escuela de postgrado de la Universidad Privada de Tacna, por sus sabias enseñanzas y conocimientos, que hicieron posible escribir esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPITULO I EL PROBLEMA.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.1.1. Interrogante principal .....	18
1.1.2. Interrogantes secundarias .....	18
1.2. Justificación de la investigación.....	19
1.2.1. Justificación Teórica.....	20
1.2.2. Justificación Práctica .....	20
1.2.3. Justificación metodológica .....	21
1.2.4. Justificación social.....	21
1.3. Objetivos .....	21
1.3.1. Objetivo General.....	21
1.3.2. Objetivos Específicos .....	22
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	23
2.1. Antecedentes de la investigación .....	23
2.2. Bases Teóricas.....	29

2.2.1. Pavimentos .....	29
2.2.1.1. Clasificación de pavimentos.....	29
2.2.1.1.1. Pavimentos flexibles.....	29
2.2.1.1.2. Pavimentos rígidos .....	30
2.2.1.2. Evaluación de pavimentos flexibles .....	31
2.2.2. Método del PCI (Índice de condición del pavimento) .....	31
2.2.3. Procesamiento de imágenes binarios para la evaluación de pavimentos flexibles .....	33
2.2.4. Evaluación funcional del pavimento flexible.....	33
2.2.5. Procesamiento de imágenes binarias con inteligencia artificial.....	35
2.2.6. Segmentación de imágenes digitales.....	36
2.2.7. Fotogrametría con Aeronaves No Manipuladas.....	38
2.2.8. Modelo matemático de la fotogrametría .....	45
2.2.8.1 Vehículos aéreos no tripulados.....	48
2.2.8.2 Tipo de drones.....	50
Aplicaciones VANT en la infraestructura vial.....	54
2.3. Definición de conceptos.....	56
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>58</b>
3.1. Hipótesis.....	58
3.1.1. Hipótesis general .....	58
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	58
3.2. Operacionalización de variables .....	59
3.2.1. Identificación de la variable independiente .....	59
3.2.2. Identificación de la variable dependiente .....	59
3.3. Tipo de investigación.....	61
3.4. Nivel de investigación.....	61
3.5. Diseño de investigación .....	61
3.6. Ámbito y tiempo social de la investigación .....	61
3.7. Población y muestra.....	62
3.7.1. Unidad de estudio.....	62
3.7.2. Población.....	62

3.7.3. Muestra .....	62
3.8. Procedimiento, técnicas e instrumentos .....	63
3.8.1. Procedimiento.....	63
3.8.2. Técnicas.....	63
3.8.3. Instrumentos .....	64
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	65
4.1. Descripción del trabajo de campo .....	65
4.2. Diseño de la presentación de resultados .....	68
4.2.1. Cálculo del Índice de condición del pavimento PCI .....	68
4.3. Resultados .....	70
4.3.1. Cálculo del Índice de condición del pavimento PCI .....	70
4.3.2. Resultados del valor PCI obtenido con el método PCI, Pachia km 21+000 – Miculla Km 26+000, .....	81
4.3.3. Análisis de los resultados del índice de condición del pavimento PCI 94	
4.3.4. Resultados del uso de dron en la zona de estudio .....	97
4.3.5. Resultados de las unidades de la muestra según las ortofotos .....	100
4.3.6. Comparación de los dos métodos:.....	100
4.3.7. Resultados del procesamiento de imágenes binarios .....	100
4.3.8. Código fuente de Matlab, llamando funciones.....	103
4.4. Discusión de resultados.....	103
CONCLUSIONES .....	107
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS .....	109
APÉNDICE.....	114
Resultados Obtenidos Utilizando el Formato PCI por Unidad de Muestra....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Escala de Clasificación del PCI</i> .....	32
<b>Tabla 2</b> <i>Evaluación de pavimentos flexibles</i> .....	34
<b>Tabla 3</b> <i>VANT de ala rotatoria y sus ventajas y desventajas</i> .....	51
<b>Tabla 4</b> <i>Ventajas y desventajas de VANT de ala fija</i> .....	52
<b>Tabla 5</b> <i>Drone Phantom 4 Pro v2.0 y sus características</i> .....	54
<b>Tabla 6</b> <i>Utilización de los VANT en la inspección de pavimentos</i> .....	55
<b>Tabla 7</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	60
<b>Tabla 8</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+160–0+200</i> .....	71
<b>Tabla 9</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+480–0+520</i> .....	71
<b>Tabla 10</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+800–0+840</i> .....	72
<b>Tabla 11</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+120–1+160</i> .....	72
<b>Tabla 12</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+440–1+480</i> .....	73
<b>Tabla 13</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+760–1+800</i> .....	73
<b>Tabla 14</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+080–2+120</i> .....	74
<b>Tabla 15</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+400–2+440</i> .....	74
<b>Tabla 16</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+720–2+760</i> .....	75
<b>Tabla 17</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+040–3+080</i> .....	75
<b>Tabla 18</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+360–3+400</i> .....	76
<b>Tabla 19</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+680–3+720</i> .....	76
<b>Tabla 20</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+000–4+040</i> .....	77
<b>Tabla 21</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+320–4+360</i> .....	77
<b>Tabla 22</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+640–4+680</i> .....	77
<b>Tabla 23</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+960–5+000</i> .....	78
<b>Tabla 24</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+000–0+040</i> .....	78
<b>Tabla 25</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+200–0+240</i> .....	79
<b>Tabla 26</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+920–0+960</i> .....	79
<b>Tabla 27</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+640–1+680</i> .....	80
<b>Tabla 28</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+360–2+400</i> .....	80
<b>Tabla 29</b> <i>Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+840–3+880</i> .....	81
<b>Tabla 30</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-5</i> .....	82
<b>Tabla 31</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-13</i> .....	82
<b>Tabla 32</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-21</i> .....	82
<b>Tabla 33</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-29</i> .....	83
<b>Tabla 34</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-37</i> .....	84
<b>Tabla 35</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-45</i> .....	84
<b>Tabla 36</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-53</i> .....	85
<b>Tabla 37</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-61</i> .....	85
<b>Tabla 38</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-69</i> .....	86
<b>Tabla 39</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-77</i> .....	86
<b>Tabla 40</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-85</i> .....	87
<b>Tabla 41</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-93</i> .....	87
<b>Tabla 42</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-101</i> .....	88
<b>Tabla 43</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-109</i> .....	88
<b>Tabla 44</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-117</i> .....	89
<b>Tabla 45</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-125</i> .....	89
<b>Tabla 46</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-1 ADICIONAL</i> .....	90
<b>Tabla 47</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-6 ADICIONAL</i> .....	90

<b>Tabla 48</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-24 ADICIONAL</i> .....	91
<b>Tabla 49</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-42 ADICIONAL</i> .....	91
<b>Tabla 50</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-60 ADICIONAL</i> .....	92
<b>Tabla 51</b> <i>PCI y clasificación en la unidad de muestra U-97 ADICIONAL</i> .....	92
<b>Tabla 52</b> <i>Cantidad de daños según tipo y severidad</i> .....	93
<b>Tabla 53</b> <i>Número Admisible Máximo de Deducidos</i> .....	94
<b>Tabla 54</b> <i>Resumen de resultados del PCI en la calzada total del tramo Pachia Km</i> .....	95
<b>Tabla 55</b> <i>Porcentaje por Rango de la Condición del Pavimento Flexible</i> .....	96
<b>Tabla 56</b> <i>PCI e imágenes Binarias</i> .....	100
<b>Tabla 57</b> <i>Procesamiento de Imágenes Binarias con MatLab</i> .....	101
<b>Tabla 58</b> <i>Resumen de resultados del PCI de un tramo de Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000 en toda su longitud</i> .....	104
<b>Tabla 59</b> <i>Alternativas de intervención de acuerdo al PCI</i> .....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Zona de investigación Tramo Pachia-Miculla, L=5,0 km</i> .....	18
<b>Figura 2</b> <i>Pavimento</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Estructura de pavimento flexible</i> .....	30
<b>Figura 4</b> <i>Estructura de pavimento rígido</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Escala de Clasificación del PCI</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Etapas del procesamiento digital de imágenes</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Fallas en la vía PE-40</i> .....	35
<b>Figura 8</b> <i>Imagen digital utilizando el filtro de mediana</i> .....	36
<b>Figura 9</b> <i>Grieta obtenida a partir de un filtro mediano seguido de un algoritmo</i> .....	36
<b>Figura 10</b> <i>Ejemplo de segmentación mediante umbralización</i> .....	37
<b>Figura 11</b> <i>Detección de huecos mediante algoritmos de detección de bordes y umbralización</i> .....	38
<b>Figura 12</b> .....	41
<b>Figura 13</b> <i>Imagen analógica e imagen digital</i> .....	43
<b>Figura 14</b> <i>Modelo matemático de fotogrametría</i> .....	45
<b>Figura 15</b> <i>Modelo de proyección fotogramétrica terrestre</i> .....	46
<b>Figura 16</b> <i>Dron de ala rotatoria</i> .....	51
<b>Figura 17</b> <i>Drone de ala fija</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Drone Phantom 4 Pro V2.0 y Ipad 5 mini</i> .....	53
<b>Figura 19</b> <i>Ubicación del tramo de estudio</i> .....	65
<b>Figura 20</b> <i>Imágenes de la zona de estudio</i> .....	66
<b>Figura 21</b> <i>Imagen zona de estudio con dron</i> .....	67
<b>Figura 22</b> <i>Gráfico Circular de Porcentajes por Rango de PCI de la vía en estudio</i> .....	96
<b>Figura 23</b> <i>Vuelo de dron en zona de estudio</i> .....	99
<b>Figura 24</b> <i>Código fuente en Matlab</i> .....	103

## RESUMEN

El trabajo de investigación titulado “Evaluación funcional de pavimento flexible mediante procesamiento de imágenes binarias con método de inteligencia artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023”, se ha desarrollado con el objetivo de evaluar la condición de pavimento flexible mediante procesamiento de datos para obtener el estado situacional del pavimento. Se utilizó como muestra un tramo Km21+000 a Km26+000m, en el distrito de Pachía, provincia de Tacna, donde se puede observar el tramo de estudio resultado con PCI un índice de 18.36% estado muy malo usando un total de 125 muestra. Se ha determinado el PCI mediante procedimiento de imágenes binarios usando ortofotos obtenidos con dron y transformarlos a imágenes binarios obteniendo un resultado de 19.1% Muy Malo. Se determinó los valores de PCI mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarios del pavimento flexible de la en la red vial PE-40 obteniendo como resultado de 16.4% y 17.2% respectivamente de las 50 muestras de la muestra en estudio. Las ortofotos a través de código del programa MatLab se transformó en imágenes binarios para calcular la longitud y área de daño del Pavimento.

**Palabras Claves:** Índice de condición del pavimento, evaluación superficial del pavimento, estado de conservación del pavimento, procesamiento de imágenes binarios.

## ABSTRACT

The research project entitled "Functional evaluation of flexible pavement using binary image processing with an artificial intelligence method on the PE-40 highway, Tacna, 2023" was developed to assess the condition of flexible pavement using data processing to obtain the current condition of the pavement. A section of 21,000 to 26,000 km in the Pachía district, Tacna province, was used as a sample. The study section showed a PCI index of 18.36% in very poor condition, using a total of 125 samples. The PCI was determined using a binary image process using orthophotos obtained with a drone and transformed into binary images, obtaining a result of 19.1% in Very Poor condition. PCI values were determined by comparing PCI methodologies and binary images of the flexible pavement on the PE-40 road network, yielding 16.4% and 17.2% of the 50 samples under study, respectively. The orthophotos were transformed into binary images using MatLab code to calculate the length and area of pavement damage.

**Keywords:** Pavement condition index, pavement surface assessment, pavement conservation status, binary image processing.

## INTRODUCCIÓN

La tesis evalúa superficialmente el pavimento flexible y halla la condición actual del pavimento en la red vial nacional PE 40, tramo: Km21+000 – km26+000, Tacna. Cuyas variables son evaluación funcional de Pavimento Flexible y procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial, en el cual se inspecciona las fallas que existen en las muestras. En la ciudad de Tacna, la red vial nacional PE-40 tiene deterioro en los pavimentos flexibles, generando malestar en la población de Tacna, en cuanto a la no seguridad del conductor del vehículo, que puede ocasionar accidentes en dicha vía transitable. Por lo cual se realiza la evaluación funcional usando nuevas tecnologías. Además, las obras viales son importantes y dan beneficio a la población; estas obras generan comercio y comunicación. Las carreteras deben tener un óptimo mantenimiento vial y de esa forma tener las vías en buen estado. El objetivo principal es evaluar la condición Funcional de pavimento flexible mediante procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023. El diseño de la investigación es No experimental y transversal. Esto indica que debemos llevar a cabo investigaciones en el ámbito de la ingeniería civil aplicada al transporte, donde nuestros conocimientos nos sirven de base para el análisis, el diseño, la implementación y el mantenimiento.

En este trabajo de investigación, tiene como conclusión principal: se ha evaluado el estado del pavimento flexible utilizando la metodología PCI junto con el procesamiento de imágenes binarias en toda la red nacional de carreteras PE-40 Km21+000 – Km26+000, Tacna - 2023

Hoy en día, los vehículos aéreos no tripulados, como nueva plataforma portadora, son ampliamente utilizados en diferentes campos. Especialmente en los últimos años, muchos investigadores se han propuesto investigar y desarrollar la fotogrametría con Vehículo aéreo no tripulado (UAV) para el campo de la ingeniería. La fotogrametría UAV, que es un sistema de cartografía móvil en cierto sentido, es una plataforma que tiene diferentes sensores en ella, puede proporcionar continuamente las coordenadas 3D de la plataforma, también puede recopilar datos espaciales y, opcionalmente, apoyar datos GPS controlados en tierra

La tesis se ha formado por capítulos:

Capítulo I - El Problema: En este capítulo se describe el problema central de la investigación, los objetivos, la justificación y las hipótesis planteadas. Se expone la necesidad de mejorar el estado óptimo del Pavimento flexible.

Capítulo II - Marco Teórico: Se visualiza una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre la estabilización de suelos, y los métodos y técnicas aplicadas en investigaciones previas. Se incluyen definiciones clave, teorías y estudios relacionados que fundamentan la investigación.

Capítulo III - Metodología: Este capítulo detalla el tipo de investigación adoptado, los procedimientos de muestreo, y las técnicas de análisis utilizadas. Se explica cómo se llevó a cabo el procedimiento de la muestra en estudio.

Capítulo IV - Resultados: Se presentan los resultados obtenidos de los cálculos y pruebas realizados. Incluye tablas, gráficos.

Finaliza con conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Todos los gobiernos de diferentes países gestionan en la inversión de obras viales por la importancia y beneficio de la población; Según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en los años 2020 y 2021 Estados Unidos movió US\$ 93.962 millones y Japón US\$ 33.000 millones, entre inversiones públicas y privadas. En América Latina, México, con US\$ 1.532 millones, mientras que los más cercanos son Chile y Brasil con US\$ 890 millones y US\$ 660 millones, respectivamente; estas obras generan comercio y comunicación. Las carreteras deben tener un óptimo mantenimiento vial y de esa forma tener las vías en buen estado.

Muchos países realizan un sistema de mantenimiento vial, Estados Unidos y Canadá han sido países que han apostado en la implementación de sistemas de gestión vial. Además, existe estudios que se han realizado a nivel mundial, tales como, por ejemplo: Evaluación de pavimentos en la conservación de carreteras en México, González (2016) y Propuesta de un

plan de mantenimiento para la vía de acceso al parque natural Chicaque en el municipio de Soacha, Cundinamarca, Rubio (2021). Especialmente evaluaciones al pavimento, en las vías que se encuentran en diferentes zonas y climas distintas.

En nuestro país el deterioro de los pavimentos flexibles en las tres regiones de costa, sierra y selva son distintas debido a la climatología que hay en dichas regiones. Para detectar fallas en los pavimentos se usa el método convencional que es inspeccionar visualmente, dicho método es subjetivo, generando falta de confiabilidad de los resultados. En la ciudad de Tacna, la red vial nacional PE-40 tiene deterioro en los pavimentos flexibles, generando malestar en la población de Tacna, en cuanto a la no seguridad del conductor del vehículo, que puede ocasionar accidentes en dicha vía transitable. Por lo cual se realiza una evaluación funcional usando nuevas tecnologías.

Por consiguiente, una evaluación del pavimento utilizando el método convencional PCI ASTM 6433-07 requeriría interrumpir el tráfico regular durante varias horas, lo que llevó a considerar un método alternativo que emplea la auscultación con imágenes. La utilización de la metodología del PCI nos ayudará a determinar el valor del Índice de Condición del pavimento flexible de la carretera PE-40 según Figura 1, en una longitud de 5.0 Km., en una calzada de dos carriles de 6.00 m. de ancho.

## Figura 1

Zona de investigación Tramo Pachia-Miculla,  $L=5,0$  km.



Nota. Tomado de Google Earth. Formulación del Problema

### 1.1.1. Interrogante principal

¿Cuál será la condición funcional de pavimento flexible mediante procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023?

### 1.1.2. Interrogantes secundarias

- a) ¿Cómo determinar la evaluación funcional al Pavimento Flexible utilizando el método de Pavement Condition Index – PCI, en la carretera PE-40, Tacna 2023?

- b) ¿Cómo determinar el PCI mediante el procedimiento de imágenes binarios utilizando inteligencia artificial, en la carretera PE-40, Tacna 2023?
- c) ¿Cómo determinar los valores PCI mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarias con inteligencia artificial en la carretera PE-40, Tacna 2023?

## **1.2. Justificación de la investigación**

En los últimos años en el departamento de Tacna, se ha expandido la construcción de pavimentos flexibles, debido al incremento de población. El proyecto se justifica porque no conocemos el comportamiento del pavimento en el ámbito de nuestra región, además las autoridades no realizan la prevención después del daño causado por la excesiva carga o por las lluvias. Con esta Investigación se contará con un modelo de comportamiento de pavimento, para tener una oportuna atención al pavimento dañado, y posterior uso óptimo de los usuario y población de Tacna; y con esto tener un adecuado servicio de transitabilidad.

Para garantizar la conservación adecuada de una infraestructura vial, es esencial llevar a cabo un mantenimiento eficaz; el enfoque tradicional para identificar los defectos del pavimento consiste en

inspecciones visuales, esto sugiere que la evaluación es subjetiva, lo que conduce a una ausencia de fiabilidad en los resultados y, en consecuencia, a errores en su interpretación, sesgando el resultado final.

Por consiguiente, se sugiere evaluar el pavimento flexible utilizando el índice de estado del pavimento basado en el PCI y automatizar la recogida de datos mediante el procesamiento binario de imágenes.

### ***1.2.1. Justificación Teórica***

El objetivo es explorar los principios teóricos y las ideas asociadas con PCI y binarización de imágenes que determinan la condición del pavimento, donde los valores elevados crean malestar al circular por la avenida en cuestión, afectando al flujo del tráfico, los niveles de congestión e influyendo en la comodidad y seguridad de los pasajeros.

### ***1.2.2. Justificación Práctica***

Este estudio facilita la identificación de respuestas rápidas y creativas a los problemas de transitabilidad. Los ingenieros de transporte deben supervisar los parámetros establecidos para las imágenes binarias; estas métricas se basan en las condiciones del pavimento para evaluar la transitabilidad y formular propuestas de diseño, rehabilitación, reconstrucción y diversas estrategias de soluciones alternativas.

### ***1.2.3. Justificación metodológica***

Para alcanzar estos objetivos, es esencial usar las normas de transporte existentes, la Norma de Pavimentación Urbana (CE-010), junto con los protocolos para conservación y mantenimiento de las carreteras. Métodos de evaluación como el análisis de datos mediante la binarización de imágenes para determinar el PCI, que sirve como calidad del estado de la superficie de la carretera.

### ***1.2.4. Justificación social***

Los valores PCI obtenidos en el estudio están a disposición del público, lo que permite comprender el estado de la superficie de la carretera y ofrecer soluciones a los usuarios afectados por el estado del pavimento, con el objetivo de mejorar la comodidad y la seguridad de los pasajeros durante sus desplazamientos por el tramo Pachia-Miculla.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo General***

Evaluar la condición Funcional de pavimento flexible mediante procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023.

### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- a) Determinar la evaluación funcional al Pavimento Flexible utilizando el método de Pavement Condition Index – PCI, en la carretera PE-40, Tacna 2023.
  
- b) Determinar el PCI mediante el procedimiento de imágenes binarios utilizando inteligencia artificial, en la carretera PE-40, Tacna 2023.
  
- c) Determinar los valores PCI mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarias con inteligencia artificial en la carretera PE-40, Tacna 2023.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Se están teniendo en cuenta investigaciones previas que están relacionadas directa o indirectamente con el tema del estudio.

En China Hu et al. (2010) con el trabajo Automatic Pavement Crack Detection Using Texture and Shape Descriptors, sustentaron el método de detección automatizada de las fallas del pavimento mediante el análisis de la textura y la caracterización de la forma, cuyo objetivo es proponer un nuevo enfoque para la detección automática de grietas en el pavimento basado en el análisis de texturas y descriptores de forma. Ellos demostraron que todas las grietas son detectadas correctamente por el método propuesto. Concluyendo que la textura compleja, la iluminación desigual y el fondo no uniforme suponen grandes retos para desarrollar un sistema automático de detección y evaluación de daños en el pavimento. Se basaron en el análisis de texturas y descriptores de formas, han propuesto un enfoque novedoso para la detección de daños en el pavimento. En su trabajo, la superficie del pavimento se considera una especie de superficie con textura, y los daños se definen como heterogeneidades que se producen en la superficie con textura. Finalmente, concluyeron que el enfoque propuesto es eficaz y preciso para detectar grietas en el pavimento.

Según, Pachay (2017), Desarrolló la Investigación Titulada “Evaluación De La Condición Del Pavimento Flexible Vía De Acceso A La Parroquia La Unión (0+000- 0+966) Aplicando El Método PCI” y está enfocado en evaluar las fallas que influyen en el deterioro del pavimento flexible aplicando el método PCI. El proyecto de evaluación del pavimento en la vía a la parroquia la unión, cuyo El objetivo principal es evaluar el estado del pavimento flexible en la vía de acceso de la ciudad de Jipijapa a la parroquia de La Unión. Además, se realizó una investigación para determinar el estado actual del pavimento flexible y elaborar conclusiones y sugerencias que mejoren las condiciones de servicio de la vía, obteniendo así un análisis de las características actuales de la misma. En conclusión, de los formularios de evaluación y registro que figuran en el PCI del pavimento flexible analizado se desprende claramente que todas las zonas estudiadas presentan diversos tipos de deterioro con distintos grados de gravedad, siendo algunos más graves que otros y muy pocos de baja gravedad. Además, presentan desgaste, grietas longitudinales, grietas por fatiga, baches y parches, entre otros problemas recurrentes.

Según, Mora & Serrano (2020), elaboró el proyecto de investigación llamado "Evaluación funcional del pavimento flexible en la carretera Espinal-Suárez mediante el método PCI - 2020". El propósito es examinar y describir el daño que existe en la pavimentación flexible hasta octubre de 2023 utilizando la metodología PCI, mediante una inspección visual técnica. Se creará un inventario correspondiente al deterioro según las categorías de deterioro definidas por el

manual PCI a lo largo de tres kilómetros distribuidos cada 38.3 metros a lo largo del camino que une los municipios de Espinal y Suárez, ambos pertenecientes al departamento de Tolima. Por tanto, tuvo su objetivo de evaluar funcionalmente el deterioro presentado en 3 kilómetros del pavimento flexible que se encuentre entre la vía que comunica el municipio del Espinal al municipio de Suarez pertenecientes del departamento del Tolima por medio del método de PCI para su debido mantenimiento o rehabilitación de la mala vial en el año 2020. Finalizando la investigación que se evidenciaron tipos de daños como piel de cocodrilo del cual se obtuvieron 16 metros de deterioro con severidad baja (L) y 512,50 metros con severidad media (M); parcheo con 20 metros de deterioro con severidad baja (L) y 238 metros con severidad media (M) quedando registrada toda esta información y recopilada se concluye que está en un estado regular.

Rodríguez (2009) sustentó la tesis “Cálculo del Índice de Condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla – Piura” y cuyo objetivo es la aplicación del método PCI, la tesis tiene como objetivo aplicar el método PCI para determinar el Índice de Condición de Pavimento en la Av. Luis Montero. Mil doscientos metros lineales de pista han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía. Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la depresión y la peladura, ambas de severidad media. Después continúan la corrugación, la peladura de baja severidad, las fisuras de mediana severidad y la depresión de baja severidad. Concluyendo que se ha determinado el estado en que se encuentra la red de pavimento flexible de la

Av. Luis Montero, que consta de dos tramos de 600 metros lineales cada uno (de acuerdo a los dos sentidos de vía existentes). El tramo 1 se divide en 3 secciones, mientras que el tramo 2 tiene una sola sección. Se inspeccionaron un total de 32 unidades de muestra (16 por tramo).

Berrio & Ussa (2012) expone la creación y ejecución de un sistema de auscultación para pavimentos rígidos que utiliza procesamiento de imágenes, creado con MATLAB R2010a, incluye una interfaz gráfica que permite a los usuarios cargar imágenes, analizarlas, mostrar los resultados y guardarlos. El enfoque se evaluó con un conjunto de 17 fotografías de pavimentos rígidos. Los resultados revelaron que la técnica de alta precisión alcanza una eficiencia en la detección de fallos del 87 %, mientras que la técnica de baja precisión ofrece una eficiencia del 80 %, no obstante, el método inicial exige un tiempo computacional 13 veces mayor para el análisis.

Burgos y Ronceros (2024), en su investigación: “El empleo de drones para prolongar la vida útil de las superficies asfálticas en las vías urbanas” tenía como objetivo principal evaluar la eficacia del uso de drones para examinar el estado del pavimento asfáltico, identificando las categorías de defectos de la superficie, las dimensiones y las áreas de cada defecto, en un tramo de 1260 metros (630 metros en cada sentido de la circulación) en la avenida Guardia Civil, situada entre las avenidas El Sol y Alipio Ponce, en el distrito de Chorrillos de Lima. Al examinar los tramos analizados con el enfoque PCI, descubrieron que en la parte ascendente

(Av. El Sol en dirección a Av. Alipio Ponce), el PCI medio registrado con el dron es de 24, lo que indica un estado “grave” del pavimento, y en el segmento descendente (Av. Alipio Ponce en dirección a Av. El Sol), el PCI medio obtenido con el dron es de 38, lo que corresponde a una condición de pavimento “muy pobre”.

Según, Delgado y Morales (2020), Desarrolló la Investigación Titulada “Condición Superficial Del Pavimento Flexible Con La Metodología Vizir Y PCI De La Carretera Vecinal Tramo Km 00+00 Al Km 05+00 De Los Distritos De La Victoria Y Monsefú, Ubicado En La Provincia De Chiclayo - Departamento De Lambayeque”. La investigación, se ha desarrollado en un contexto en el que las carreteras de los distritos de la Victoria y Monsefú presentan serios problemas en sus pavimentos, esto genera que las vías sean menos seguras y que los vehículos se deterioren por la gran presencia de baches. En base a ello, es que se ha establecido el siguiente objetivo de investigación: Determinar la condición superficial del pavimento flexible con la metodología VIZIR (Metodología de auscultación francesa) y PCI (Índice de condición del pavimento), de la carretera vecinal tramo Km 00+00 al Km 05+00 de los Distritos de La Victoria y Monsefú, ubicado en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. s. Mientras que, el tipo de investigación, ha sido la aplicada, con un diseño no experimental y descriptivo, en donde se ha recurrido a la técnica de la observación, considerando como ficha de recolección de datos, a la ficha de observación. Los resultados han demostrado que la calidad superficial del pavimento, por ambas metodologías, ha sido de condición

regular, siendo el valor de VIZIR de 3.51 puntos; mientras que, la metodología PCI ha sido de 51.97 puntos. Así mismo, se ha concluido que la falla más representativa ha sido el desnivel de carril, con una representatividad del 47%.

Según, Guzmán (2017), Desarrolló la investigación titulada “Evaluación Superficial del Pavimento Flexible de la Av. Jorge Basadre Grohmann del Distrito de Pocollay Tramo Av. Jorge Basadre Grohmann Este – Av. Basadre y Forero, Aplicando el Método del PCI”. En la presente tesis se determina la condición del pavimento del tramo de la Av. Jorge Basadre Grohmann del distrito de Pocollay, departamento de Tacna, comprendido entre las avenidas Jorge Basadre Grohmann Este y Basadre y Forero, tiene una longitud de evaluación aproximada de 1,540.10 metros y actualmente se encuentra en funcionamiento. Para luego procesar dicha información utilizando ecuaciones y ábacos para obtener un valor numérico entre el cero (0) y el cien (100) que determina la condición del pavimento como fallado, malo, muy malo, regular, bueno, muy bueno o excelente. Se espera que esta información sea de interés y pueda servir como base de estudio o trabajo para personas con afinidad en mantenimiento y conservación de carreteras asfaltadas. De la evaluación superficial del pavimento flexible de la av. Jorge Basadre Grohmann, tramo av. Jorge Basadre Grohmann Este – av. Basadre y Forero, mediante la aplicación del método PCI se concluye que el estado de conservación del pavimento flexible del Tramo 01 y Tramo 02 se encuentra en Buena condición sin embargo las Unidades de Muestra N° 09, 20 y 24 del Tramo 01 y N° 05, 07, 10, 12 y 14 del Tramo 02, se encuentran en mala o muy mala condición.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Pavimentos**

Según Rondón & Reyes (2022) el pavimento es una superficie dura que está cubierta de hormigón o asfalto, como una carretera o un camino. Cuando el pavimento se recubre o repara, es liso y parejo, pero después de un largo y frío invierno, el pavimento a menudo está lleno de baches y grietas. En los EE. UU., pavimento suele referirse a una carretera o calle, pero también puede referirse a cualquier superficie pavimentada, como una acera o un área pavimentada en un parque. La palabra tiene una raíz latina, *pavimentum*, "superficie nivelada que ha sido golpeada para que quede firme".

### **Figura 2**

#### *Pavimento*



Nota. Pavimento flexible según Fuentes (2018).

#### **2.2.1.1. Clasificación de pavimentos**

##### **2.2.1.1.1. Pavimentos flexibles**

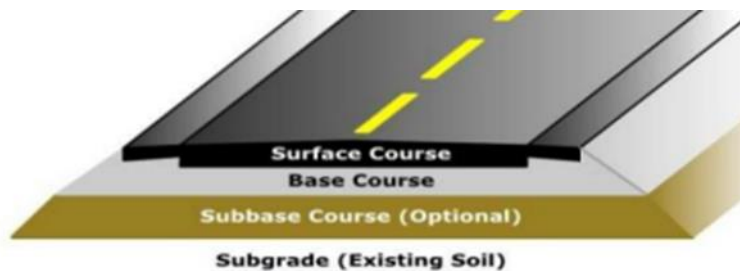
Céspedes (2001) afirma que los pavimentos flexibles se construyen

con material bituminoso o no ligado y la tensión se transmite a la subrasante a través de la distribución lateral de la carga aplicada con la profundidad.

Por tanto, el pavimento flexible consiste en una capa superior de material bituminoso junto con capas de base y subbase debajo. La sustancia bituminosa suele ser asfalto, que tiene una viscosidad que permite una deformación plástica considerable.

### Figura 3

#### *Estructura de pavimento flexible*



Nota. Estructura de pavimento flexible según Fowler (2016).

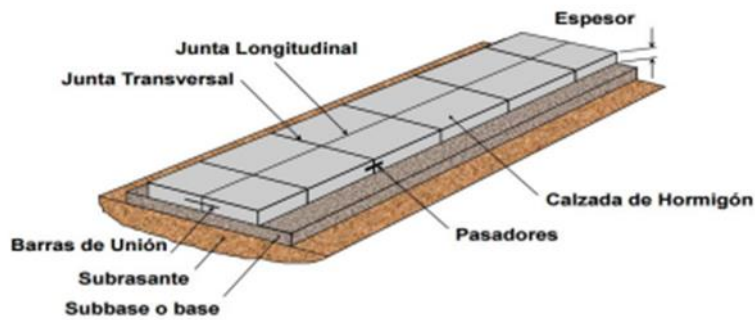
#### **2.2.1.1.2. Pavimentos rígidos**

Rondón & Reyes (2022) afirma que el pavimento rígido es un tipo de pavimento de hormigón que está diseñado para brindar durabilidad, tiene una larga vida útil y tiene la capacidad de soportar cargas pesadas.

Podemos decir que se usa comúnmente para carreteras de alto tráfico, aeropuertos y áreas industriales, donde el pavimento debe poder soportar mucho desgaste.

## Figura 4

### *Estructura de pavimento rígido*



Nota. Estructura de pavimento rígido según Fowler (2016).

#### **2.2.1.2. Evaluación de pavimentos flexibles**

Rondón & Reyes (2022), afirma que las evaluaciones del pavimento se realizan para valorar el estado funcional y estructural de un tramo de carretera, ya sea para su seguimiento periódico o para la adopción de medidas correctoras programadas. El estado funcional se refiere principalmente a las características de seguridad o a la calidad de la conducción de un tramo de carretera.

Resumiendo, que el estado estructural se refiere a la capacidad de la estructura del pavimento, evaluada mediante la deflexión, el grosor de las capas y las propiedades de los materiales.

#### **2.2.2. Método del PCI (Índice de condición del pavimento)**

Según Vásquez (2002), el deterioro de la estructura del pavimento depende del tipo de daño, su extensión y su cantidad o concentración, lo

que lleva a la creación de un índice

La siguiente Tabla 1 son los parámetros para la determinación del PCI.

**Tabla 1**

*Escala de Clasificación del PCI*

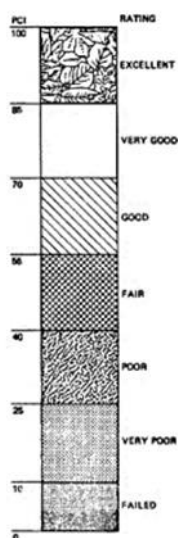
PCI	CLASIFICACIÓN
100-85	EXCELENTE
85-70	MUY BUENO
70-55	BUENO
55-40	REGULAR
40-25	MALO
25-10	MUY MALO
10-0	FALLADO

Nota. Escala de clasificación de PCI según Vásquez (2002).

La información sobre los daños se incluye en el inventario, que ilustra claramente los motivos de los daños.

**Figura 5**

*Escala de Clasificación del PCI*



Nota: ASTM, 2007.

### ***2.2.3. Procesamiento de imágenes binarios para la evaluación de pavimentos flexibles***

Según Porras et al. (2012), indica que la mayoría de las grietas en las imágenes de pavimentos se detectan junto a elementos no deseados e inconexos. Para resolver este problema se utiliza el filtro de mediana para el suavizado de imágenes; el realce del contraste en cada imagen y se procesa mediante algoritmos, empleando el entorno de desarrollo Matlab

#### **Figura 6**

*Etapas del procesamiento digital de imágenes*



Nota. Procesamiento de imágenes según, Kraus (2007).

### ***2.2.4. Evaluación funcional del pavimento flexible***

Según Riasco (2012), la fase inicial implica un trabajo de campo en el que se reconocen los daños en función de su tipo, gravedad y extensión, y se documenta esta información utilizando formatos adecuados

**Tabla 2***Evaluación de pavimentos flexibles*

<b>Evaluación</b>	<b>Parámetros</b>
Estructural	Grieta: Fatiga, longitudinales, transversales y Flexión Ronderas Ondulaciones Resistencia y rigidez: Módulo elástico de capas
Funcional	Fricción y textura superficial Regularidad superficial - IRI
Drenaje	Desintegración de capa asfáltica Bombeo en superficie
Durabilidad	Pérdida de superficie Roderas Ondulaciones Fisuras en bloque Exudación Desintegración o erosión de capas granulares Contaminación de capas granulares.
Mantenimiento	Parches deteriorados
Otros	Acotamiento, derechos de vía, controles de tránsito

---

Nota: Adaptada de Ara, Inc. & Eres Consultants Division (2004).

Se realizará una inspección visual de la ruta a pie o utilizando equipos de alto rendimiento equipados con cámaras de video y Sistema de posicionamiento Global para detectar daños evidentes en el pavimento.

### **Figura 7**

*Fallas en la vía PE-40*

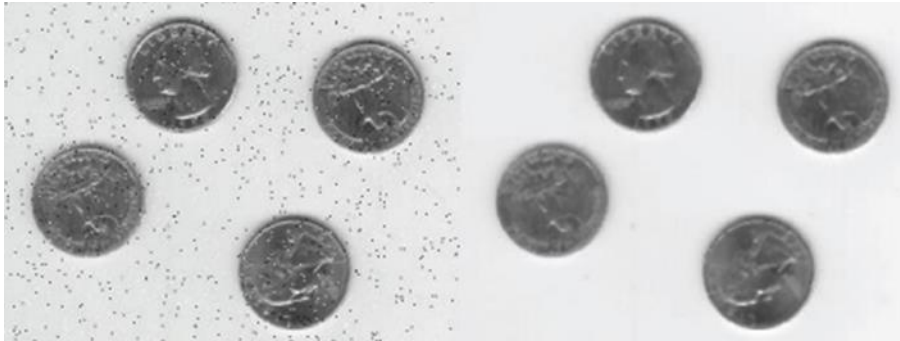


#### ***2.2.5. Procesamiento de imágenes binarias con inteligencia artificial***

Según Kraus (2007), la aplicación de filtros medianos es uno de los algoritmos más utilizados para mejorar las imágenes del pavimento. Este método de uso hace uniformes todos los píxeles de la imagen que presentan niveles de gris significativamente diferentes en comparación con sus píxeles vecinos.

**Figura 8**

*Imagen digital utilizando el filtro de mediana*



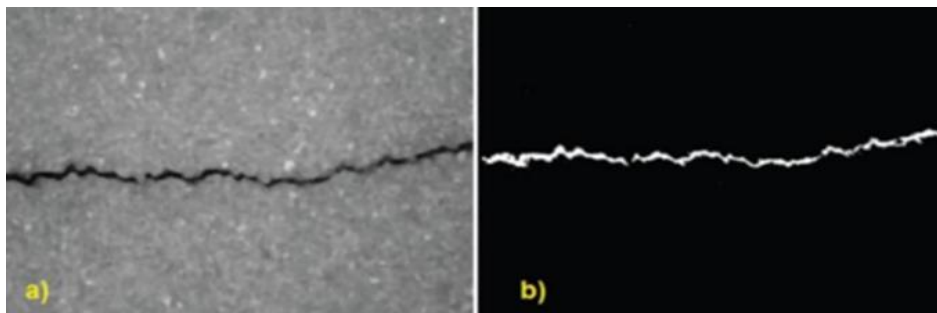
Nota. Adaptado de Kraus (2007).

**2.2.6. Segmentación de imágenes digitales**

Esta forma de aplicar hace que sea homogéneo todos los píxeles de una imagen cuyos niveles de gris varían significativamente en comparación con los de sus píxeles vecinos. Utilizando los algoritmos se podrá encontrar las fallas en los pavimentos, por ejemplo, en la fig. 9 se visualiza una grieta.

**Figura 9**

*Grieta obtenida a partir de un filtro mediano seguido de un algoritmo*



Nota: Grieta obtenida según Herra (2018).

Herra (2018) afirma que la detección de huecos exige métodos como el umbralización para poder cuantificarlos automáticamente, ya que la aplicación de algoritmos de bordes por sí sola es inadecuada debido a sus propiedades geométricas.

Es decir, si  $f(x,y)$  representa la imagen original,  $g(x,y)$  representa la imagen umbralizada y 125 es el valor umbral representado en posición de gris, se puede obtener el óvalo negro representado en la Fig- 10

### Figura 10

*Ejemplo de segmentación mediante umbralización*



Nota. Ejemplo de segmentación según Herra (2018).

Emplear técnicas de umbralización para detectar automáticamente huecos en la superficie de un pavimento. Por ejemplo, Koch et al. (2013), mediante la aplicación de algoritmos de detección de bordes y umbralización, determinó eficazmente la posición de los huecos en la zona de un pavimento, alcanzando los resultados mostrados en la Fig. 11.

### Figura 11

*Detección de huecos mediante algoritmos de detección de bordes y umbralización*



Nota. Detección de huecos mediante algoritmos según Herra (2018).

#### 2.2.7. Fotogrametría con Aeronaves No Manipuladas

Según Herra (2018), la palabra fotogrametría es una combinación de las antiguas palabras griegas “photos (luz)”, “grama (dibujo)” y “metron (medir)”. La fotogrametría es una ciencia que proporciona información fiable sobre las propiedades de objetos y superficies mediante procesos de medición e interpretación sin contacto físico. Gracias a esta ciencia, las imágenes fotográficas y la energía electromagnética que emiten pueden registrarse, medirse e interpretarse.

En general, la fotogrametría es la técnica de medición de las coordenadas bidimensionales o tridimensionales de objetos en la tierra a través de fotografías.

Marangoz (2002), afirma que en 1839, con el descubrimiento de la fotografía por Daguerre y Niepce (padres de la fotografía), comenzó el proceso histórico de la ciencia fotogramétrica. Dependiendo del lugar donde se tome la fotografía, se han formado dos clases básicas como son la fotogrametría terrestre y la fotogrametría aérea. La fotogrametría terrestre es aplicaciones realizadas con fotografías tomadas únicamente sobre el terreno. Las mediciones realizadas con fotografías tomadas desde el suelo han fallado en algunas áreas en términos de adquisición topográfica. Cuando se cambió la posición del punto de toma y se llevó al aire, se observó que la fotografía aérea tenía la capacidad de medir la tierra con todos los detalles.

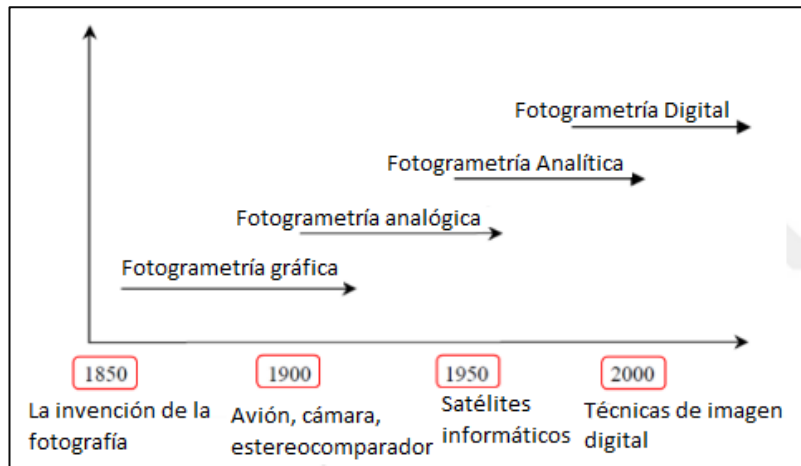
Por lo tanto, el verdadero desarrollo de la fotogrametría comenzó con la fotografía aérea. En 1897, el soldado austriaco Theodor Scheimpflug elaboró un método y un aparato sistemáticos para corregir la distorsión de la perspectiva en las fotografías aéreas, conocido actualmente como el principio epónimo de Scheimpflug convirtió las fotografías aéreas a verticales y planificó el terreno de acuerdo con la escala. El uso sistemático de las fotografías aéreas surgió con el desarrollo de los aviones motorizados.

Marangoz (2002), afirma que con los nuevos inventos y el desarrollo de la tecnología, la fotogrametría terrestre y la fotogrametría aérea se clasifican en tres categorías según el método de evaluación. La primera fotogrametría utilizada es la fotogrametría analógica, que permite

procesar fotografías clásicas con instrumentos óptico-mecánicos. La fotogrametría analítica, surgida con el inicio de la era informática, ha permitido resolver por completo el análisis de las fotografías clásicas.

Según (Kraus, 2007) la fotogrametría digital, que ha entrado recientemente en nuestras vidas y se aplica hoy en día en muchos campos, es una rama de la ciencia que utiliza imágenes digitales (digitales) y permite realizar análisis de la forma más rápida con ayuda de ordenadores

El objetivo principal de la ciencia de la fotogrametría es determinar la posición de la imagen capturada respecto al objeto. En esta ciencia, que cambia con el desarrollo de la tecnología y se divide en varias ramas, el modelo matemático básico sigue siendo el mismo. Este modelo matemático permite calcular las coordenadas del terreno en el espacio del objeto midiendo las coordenadas en la imagen. El proceso histórico de la fotogrametría según el método de evaluación se muestra en la figura 12.

**Figura 12***Desarrollo histórico de la fotogrametría*

Nota: Desarrollo histórico de la fotogrametría Kraus (2007).

Avşar (2006), afirma que la fotogrametría también se divide en varias clases como fotogrametría de aproximación, fotogrametría topográfica y no topográfica, fotogrametría catastral, fotogrametría geodésica, fotogrametría de ingeniería, fotogrametría arquitectónica, fotogrametría de imagen simple y de imagen doble en función de la proximidad o distancia del objeto a medir, la condición de la cámara utilizada, el tipo de información a obtener, las áreas de aplicación y los propósitos.

Por lo tanto, dado que en este estudio las mediciones fotogramétricas se realizan utilizando vehículos aéreos no tripulados, se examinarán en detalle las ramas de la fotogrametría aérea y la fotogrametría digital.

### **2.2.7.1 Fotogrametría aérea**

Según (Kraus, 2007), como puede observarse en el desarrollo histórico de la fotogrametría, la fotogrametría terrestre, que inicialmente se realizaba con ayuda de imágenes tomadas desde el suelo, ha permitido cubrir grandes áreas y definir mejor el terreno con el aumento del punto de toma de imágenes al aire. Especialmente en la fotogrametría aérea, el hecho de que la escala de la imagen pueda considerarse fija ha aportado muchas ventajas en términos económicos y de presentación en el campo de la cartografía.

Por tanto, aunque las imágenes pueden tomarse desde diferentes plataformas como aviones, globos y helicópteros desde el pasado hasta el presente, los vehículos aéreos no tripulados han despertado un gran interés en este campo en los últimos años.

Según (Kraus, 2007), afirma que en el trabajo de campo de fotogrametría, algunos pasos de la fotogrametría aérea deben aplicarse en secuencia. Con estos pasos, la disciplina de la aerofotogrametría puede explicarse de la mejor manera. En primer lugar, se prepara el plan de vuelo de la zona que se va a fotografiar de acuerdo con la escala del mapa que se va a elaborar. Con este plan de vuelo, se observan la dirección del vuelo, el número de franjas que se van a volar, la dirección y la posición, los coeficientes de superposición de imágenes, el tiempo y el intervalo de exposición, la dirección y el efecto del viento y se determinan la ruta, la

velocidad, la cámara y el tipo de aeronave.

Según Avşar (2006), para garantizar una alta precisión de los estudios fotogramétricos, los puntos de control en tierra que deben medirse se diseñan y marcan de forma que puedan verse desde el aire. Los puntos de control terrestre determinados se miden mediante métodos geodésicos clásicos con gran precisión. La distribución y frecuencia de los puntos de control del terreno que se utilizarán para la triangulación aérea deben determinarse en función del datum aéreo.

Por tanto, las fotografías aéreas tomadas con todos estos procesos se procesan para producir nueva información espacial y se proporciona una medición de alta precisión de la región deseada.

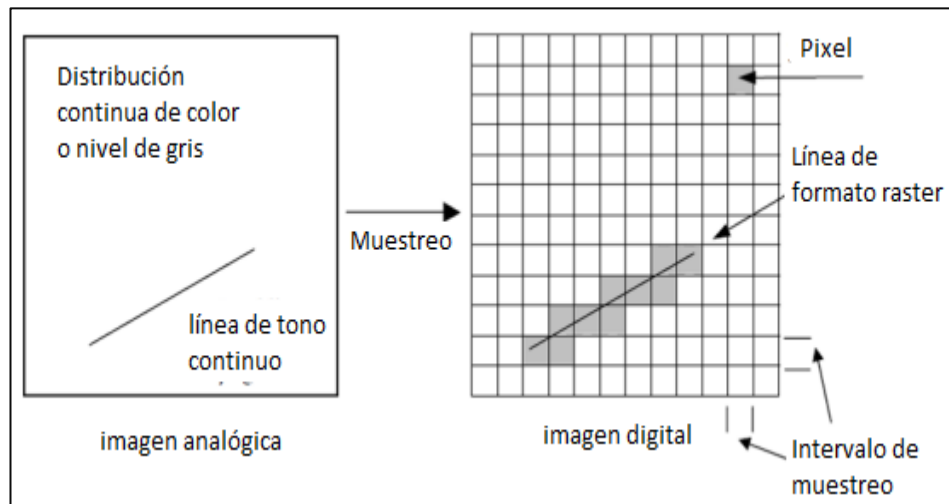
#### ***2.2.7.2 Fotogrametría digital***

Según Sidek & Ahmad (2008), una imagen digital es una representación de una imagen 2D como un conjunto finito de valores numéricos, también llamados elementos de imagen o píxeles. Cada píxel de la fila y la columna de una imagen digital contiene un número fijo. Un píxel es la unidad más pequeña de una imagen. Las imágenes digitales pueden crearse con diversos dispositivos y técnicas de entrada, como cámaras digitales, escáneres, máquinas de medición de coordenadas, radares meteorológicos, etc.

Las definiciones de imagen analógica y digital se muestran visualmente en la Figura 13.

#### **Figura 13**

### *Imagen analógica e imagen digital*



Nota: Imagen analógica y digital según Kraus (2007).

Yıldız (2010), afirma que la transición de las imágenes analógicas a las digitales ha dado origen a la fotogrametría digital, que es un nuevo método de evaluación para el campo de la fotogrametría. La fotogrametría digital permite procesar imágenes estereoscópicas grabadas en formato digital en un entorno informatizado y realizar los procesos de orientación y evaluación de forma semiautomática o totalmente automática.

El interés por la fotogrametría digital ha aumentado debido a la alta resolución de las imágenes rasterizadas, la posibilidad de obtener muchos colores en entorno informático y la capacidad de mejorar la imagen según se desee.

Por lo tanto, con la tecnología actual, las memorias potentes y los procesadores rápidos han propiciado el uso generalizado de la fotogrametría digital.

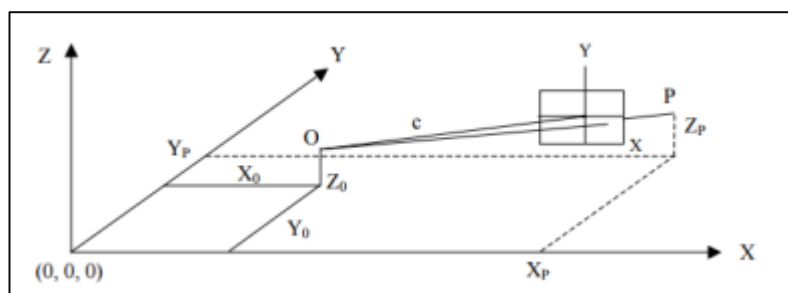


Según Arpacı (2013), los rayos que representan los puntos del espacio objeto se proyectan desde el centro de proyección de la máquina de adquisición de imágenes hasta el plano de la imagen real a lo largo de una línea según la condición de colinealidad. Para el reposicionamiento de las imágenes proyectadas, es necesario calcular los parámetros de orientación interna y orientación externa.

El objetivo de estos dos pasos es determinar los parámetros de orientación interna de la máquina de toma de imágenes, es decir, la longitud del punto principal y las coordenadas del punto principal, y, a continuación, calcular las coordenadas de las imágenes tomadas desde el punto de estación con coordenadas  $X_0$ ,  $Y_0$  y  $Z_0$  con valores de rotación  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\chi$  en el sistema de coordenadas del espacio corporal.

### Figura 15

*Modelo de proyección fotogramétrica terrestre*



Nota. Modelo de proyección según Marangoz (2002).

Las relaciones angulares entre los sistemas de coordenadas de la imagen y del espacio objeto vienen determinadas por la matriz de

transformación ortogonal (3x3) formada por los cosenos de las direcciones entre los ejes de coordenadas.

El vector imagen determina la posición del punto p en el sistema de coordenadas imagen;

$$P = \begin{vmatrix} x_p & x_o \\ y_p & y_o \\ 0 & c \end{vmatrix}$$

se convierte. Aquí  $x_0$ ,  $y_0$  son las coordenadas del origen,  $c$  es la distancia focal. La longitud del punto principal no es igual a la distancia focal a menos que la cámara esté enfocada a infinito. En este caso, el valor de la distancia del punto principal tiene una desviación de  $\Delta f$  respecto a la distancia focal.

$$c = f + \Delta f$$

Vector de posición del punto P en el sistema de coordenadas del espacio

$$P = \begin{vmatrix} X_p & X_o \\ Y_p & Y_o \\ Z_p & Z_o \end{vmatrix}$$

Según la ecuación de colinealidad, la relación matemática entre los vectores de imagen p y objeto P es

$$P = k \cdot D \cdot P$$

$$P = \begin{vmatrix} x_p & x_o \\ y_p & y_o \\ 0 & c \end{vmatrix} = k \cdot D \begin{vmatrix} X_p & X_o \\ Y_p & Y_o \\ Z_p & Z_o \end{vmatrix}$$

Aquí  $k$  es el factor de escala,

$$k = \frac{p}{p}$$

Coordenadas del objeto si las coordenadas de la imagen son valores conocidos, se expresa como.

$$k = \frac{1}{p} \cdot D^T \cdot P$$

$$\begin{vmatrix} x_p & x_o \\ y_p & y_o \\ 0 & c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ D^T \\ k \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_p & X_o \\ Y_p & Y_o \\ Z_p & Z_o \end{vmatrix}$$

El factor de escala  $k$  debe determinarse por separado para cada haz en las ecuaciones de colinealidad. En este caso, si se elimina el factor de escala  $k$  de las expresiones matemáticas,

$$f_1 = x - x_o + c \frac{a_{11}(X - X_o) + a_{12}(Y - Y_o) + a_{13}(Z - Z_o)}{a_{31}(X - X_o) + a_{32}(Y - Y_o) + a_{33}(Z - Z_o)}$$

### 2.2.8.1 Vehículos aéreos no tripulados

Akan et al. (2014), afirmaron que los vehículos aéreos no tripulados pueden definirse como vehículos aéreos sin piloto que disponen de su propio sistema de propulsión, transportan cargas útiles y pueden volarse automáticamente o con un sistema de mando a distancia. Los vehículos aéreos no tripulados reciben distintos nombres, como “robots aéreos” o “dron” - vehículo aéreo controlado desde tierra». En la actualidad, dron es el término más utilizado.

Asimismo, según Everaerts (2008) afirma que, gracias a la posibilidad de armar los modernos vehículos aéreos no tripulados, que empezaron a utilizarse con fines militares en la década de 1970, después del año 2000 se ha producido un importante desarrollo en el uso generalizado de los Vehículos aéreos no tripulados, en todo el mundo. Además de los modelos armados, los VANT se utilizan sobre todo con fines de inteligencia, como la vigilancia y la detección de objetivos en todos los ejércitos. Estos vehículos, que se guían a distancia desde diferentes plataformas, pueden controlarse ahora mediante comunicación por satélite desde miles de kilómetros de distancia.

Everaerts (2008), dice que, tras el gran éxito obtenido con los VANT en el ámbito militar, se han iniciado estudios sobre su utilización en la aviación civil. Especialmente gracias a su bajo costo y a su característica de vuelo sin piloto, será posible ofrecer soluciones muy ventajosas para el ámbito civil en zonas donde las áreas de trabajo son difíciles. Según la opinión de Bilal Ekşi, Director General de Aviación Civil, los Vehículos aéreos no tripulados pueden utilizarse especialmente en el control de líneas petrolíferas, líneas de ferrocarril, estructuras elevadas, en la fumigación agrícola, incluso en la determinación del rendimiento de los cultivos en la fumigación agrícola, en caso de terremoto y en muchas áreas civiles similares.

Por tanto, la ausencia física de un piloto a bordo no significa que la aeronave vuele sola. En muchos casos, la responsabilidad de la tripulación en los Vehículos aéreos no tripulados es mayor que en las aeronaves convencionales. Dado que se controlan desde tierra (estaciones de control en tierra, Ground Control Station), necesitan enlaces de comunicación fiables. Además, las autoridades de control del tráfico aéreo también prestan apoyo a cuando es necesario.

#### ***2.2.8.2 Tipo de drones***

Los drones pueden clasificarse según diversas características específicas.

- **Drones de ala rotatoria**

Bart (2013) afirma que estos dispositivos están equipados con hélices que giran para permitir despegues y aterrizajes verticales, así como mantener una posición fija en el aire. Destacan por su capacidad de vuelo estacionario y su movilidad en los tres ejes (horizontal, vertical y lateral). Además, son altamente versátiles, ya que pueden incorporar una amplia variedad de sensores según las necesidades. Sin embargo, su autonomía de vuelo generalmente no supera los 40 min.

### Figura 16

*Dron de ala rotatoria*



Nota. En la figura se muestra un Dron de ala multirotor tomado de Bart (2016).

### Tabla 3

*VANT de ala rotatoria y sus ventajas y desventajas*

Ventaja	Desventaja
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidad para permanecer en vuelo estacionario y moverse a lo largo de tres ejes, lo que les otorga total libertad de maniobra.</li> <li>• Ofrecen una gran versatilidad y eficiencia en las operaciones, gracias a su facilidad de pilotaje y la rapidez con la que se pueden montar.</li> <li>• Permiten la instalación de diversos tipos de sensores, como cámaras RGB, multiespectrales y termográficas, lo que posibilita la realización de una amplia variedad de trabajos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor autonomía, duración de la batería 40 minutos de vuelo.</li> </ul>

Nota. Ventajas y desventajas según Cruz (2018).

- **Tipo Ala Fija**

Según Bart (2016), afirma que tienen características muy parecidas a las de los aviones y planeadores. Son perfectos para realizar mapas de extensas áreas del terreno, con una duración de vuelo que puede alcanzar hasta 2 horas, y requieren un espacio despejado para despegar y aterrizar.

**Figura 17**

*Drone de ala fija*



Nota. La figura muestra un drone de ala fija, según Bart (2016).

**Tabla 4**

*Ventajas y desventajas de VANT de ala fija*

Ventaja	Desventaja
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrecen una mayor autonomía y la posibilidad de alcanzar velocidades superiores en comparación con otros tipos de aeronaves, lo que las hace ideales para la captura de amplias extensiones de terreno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin embargo, no pueden realizar vuelo estacionario, ya que carecen de la capacidad para mantenerse en el aire, lo que limita su desplazamiento a una sola dirección. Esto implica que necesitan un área amplia y libre de obstáculos para despegar y aterrizar.</li> </ul>

Nota. Ventajas y desventajas según Cruz (2018).

Basándose en las investigaciones presentadas, se puede confirmar que la utilización del Drone Phantom 4 Pro V2.0 es adecuado y se recomienda la herramienta más eficaz para la recolectar datos.

### **Figura 18**

*Drone Phantom 4 Pro V2.0 y Ipad 5 mini*



Nota. En la figura se muestra Drone Phantom e Ipad según Cubas (2021).

**Tabla 5***Drone Phantom 4 Pro v2.0 y sus características*

Descripción	Características
• Cámara	Sensor CMOS de 1'' y resolución de 20
• Sistema de transmisión	MP <u>OcuSync</u> 2.0 HD
• Tiempo de vuelo	30 minutos
• Peso de despegue	1375 g
• Velocidad máxima de ascenso	6 m/s
• Velocidad máxima	72 km/h
• Ángulo máximo de inclinación	42°

Nota. Características del Drone Phantom 4 Pro V2.0, obtenido de Cubas (2021).

### ***Aplicaciones VANT en la infraestructura vial***

Según Cubas (2021) afirma que el uso de VANT en proyectos de infraestructura vial abarca una amplia gama de aplicaciones que pueden llevarse a cabo en todas las fases del proyecto. Una de sus principales aplicaciones es la generación de modelos digitales de superficie y curvas de nivel para el análisis topográfico. Además, los VANT son herramientas altamente efectivas para la inspección de estructuras, incluyendo puentes, muros de contención, taludes, sistemas de drenaje y pavimentos.

Por tanto, En el área de pavimentos, diversas investigaciones han analizado el uso de VANT como herramienta para identificar y evaluar el deterioro, utilizando diferentes tipos de sensores.

La Tabla 6 ofrece un resumen bibliográfico sobre este tema.

**Tabla 6***Utilización de los VANT en la inspección de pavimentos*

Referencia	Tipo de sensor	Resumen
Zhu et al. (2021)	RGB	Se emplean tres algoritmos avanzados de detección de objetos, Faster R-CNN, YOLOv3 y YOLOv4, para entrenar un conjunto de datos orientado a la identificación de deterioros en el pavimento.
Saad y Tahar (2019)	RGB	El sistema ofrece una medición precisa y detallada de los deterioros utilizando imágenes capturadas por VANT, lo que optimiza la eficiencia en el monitoreo de las condiciones de la carretera.
Al Qurishee (2019)	RGB	Se plantea una solución en tiempo real y económica para evaluar el estado del pavimento, utilizando aprendizaje automático y redes neuronales, lo que permite una gestión más eficiente y rentable.
Li et al. (2019)	LIDAR	Este estudio analiza la factibilidad de detectar el deterioro del pavimento utilizando un VANT operando a baja altitud equipado con un sensor LIDAR
Tan y Li (2019)	RGB	Las imágenes capturadas por el VANT se emplean para reconstruir modelos tridimensionales (3D) de las carreteras, a partir de los cuales se detectan automáticamente los deterioros en el pavimento mediante el algoritmo desarrollado
Zhang et al. (2019)	RGB	Se evalúan algoritmos para reconocer distintos tipos de grietas, como las longitudinales, transversales y de tipo piel de lagarto, a partir de imágenes capturadas por el VANT.
Leonardi et al. (2018)	RGB	Se realiza una evaluación del desempeño de un sistema VANT en la obtención rápida y autónoma de datos tridimensionales (3D) destinados a la identificación de deterioros en el pavimento
Inzerillo et al. (2018)	RGB	El propósito de este documento es validar el empleo de tecnologías innovadoras y económicas para el análisis de pavimentos, evaluando su capacidad para optimizar la automatización y la precisión en la detección de deterioros

Pan et al. (2018)	MULTIESPECTRAL	Se utilizan imágenes multiespectrales capturadas por VANT para diferenciar entre pavimento en buen estado y áreas con deterioro. Para ello, se aplican algoritmos de aprendizaje automático, como redes neuronales artificiales.
Wu et al. (2018)	RGB/INFRARROJO	Se plantea un método para la evaluación de pavimentos y puentes mediante el empleo de imágenes de alta resolución y sensores infrarrojos capturados por un VANT, complementado con la aplicación de redes neuronales
Ersoz et al. (2017)	RGB	Se realiza la identificación de grietas en pavimentos rígidos mediante el análisis de imágenes capturadas por VANT, procesadas con técnicas de aprendizaje automático, con el propósito de monitorear las condiciones del pavimento
Pan et al. (2017)	RGB	Se utilizan imágenes digitales del pavimento capturadas por VANT junto con algoritmos como KNN, SVM, ANN y RF para diferenciar entre pavimentos en buen estado y aquellos con grietas o baches
Joo (2017)	RGB	Se plantea un método para identificar la superficie del pavimento mediante la configuración de regiones de interés (ROI) y la aplicación del método de detección de bordes Canny, utilizando imágenes capturadas por un VANT

---

Nota. En la tabla se presenta la viabilidad del uso de los VANT para la inspección de los pavimentos en especial el uso de los sensores el cual corresponde al RGB por su accesibilidad según Cubas (2021).

### 2.3. Definición de conceptos

#### Condición del pavimento

Es un sistema para evaluar las condiciones del pavimento por tipo, el nivel de daño que se produce y puede utilizarse como referencia en el negocio de mantenimiento (Rondón & Reyes, 2022).

#### Niveles de servicio

El estado de la infraestructura vial es calificado mediante indicadores, y usan límites admisibles (Rondón & Reyes, 2022).

### **Índice de Condición de Pavimento (PCI)**

Método estándar que evalúa la calidad del pavimento a partir de la identificación y cuantificación de defectos visibles en la superficie. (Rondón & Reyes, 2022).

### **Drone**

Vehículo aéreo no tripulado (UAV) que puede ser controlado de forma remota o autónoma y mantener un vuelo sostenido. (Cubas, 2021).

### **Gestión de conservación vial**

Conjunto de acciones coordinadas para planificar, financiar, implementar y monitorear la conservación de carreteras, garantizando eficiencia, seguridad y comodidad (Céspedes, 2001).

### **Conservación periódica**

Intervenciones programadas que incluyen tratamientos preventivos o correctivos más extensos, como bacheo o recubrimientos superficiales (Céspedes, 2001).

### **Reparación**

Son pavimentos que necesita reparación o mejoramiento para su serviciabilidad óptima, (Rondón & Reyes, 2022).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

La evaluación Funcional de pavimento flexible con el procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023, es de estado deficiente.

##### 3.1.2. Hipótesis Específicas

- a) La determinación de la evaluación funcional de Pavimento Flexible utilizando el método de Pavement Condition Index – PCI, en la carretera PE-40, Tacna 2023, es deficiente.
- b) La determinación del PCI mediante el procedimiento de imágenes binarios utilizando inteligencia artificial, en la carretera PE-40, Tacna 2023 es deficiente.
- c) Los valores PCI determinados, mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarias con inteligencia artificial en la carretera PE-40, Tacna 2023, son diferentes.

## **3.2. Operacionalización de variables**

### ***3.2.1. Identificación de la variable independiente***

VARIABLE INDEPENDIENTE

Evaluación superficial del pavimento flexible.

#### **Indicadores**

Piel de cocodrilo.

Baches.

Exudación.

Fisuras.

Hundimiento

### ***3.2.2. Identificación de la variable dependiente***

VARIABLE DEPENDIENTE

Metodología índice de condición del pavimento (PCI)

#### **Indicadores**

Rango de calificación del PCI

Índice de regularidad del pavimento

Índice de Servicialidad del pavimento

**Tabla 7***Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Variable dependiente:</b> Metodología índice de condición del pavimento (PCI)	Corresponde a la situación en la que el pavimento se encuentra, en cuanto al tiempo que ha desarrollado alguna actividad sobre el mismo, (Amaya y Rojas, 2017)	Corresponde a la determinación de los indicadores de condición, del pavimento recurrente al empleo de la metodología PCI	Índice estructural del pavimento	Rango de calificación del PCI	Escala de calidad Ordinal
<b>Variable independiente:</b> Evaluación superficial del pavimento flexible.	Es definida como aquella evaluación y clasificación que se realiza, sobre una superficie asfáltica, con la finalidad de poder detectar la presencia de fallas y analizar el nivel de daño que se ha presentado en las mismas (Bullón, 2018)	En el estudio de la variable presente se busca analizar la realidad del pavimento, en cuanto se hayan podido presentar fallas que caractericen el nivel de daño del pavimento.	Estado de deterioro	Piel de cocodrilo. Baches. Exudación. Fisuras. Hundimiento	Ficha de evaluación del pavimento.

### **3.3. Tipo de investigación**

La investigación es aplicada, porque se usa la ciencia y teoría ya existente para aplicarla a través de procesamiento de imágenes binarias con Método de Inteligencia Artificial, además el estudio es teórico y empíricamente relaciona las variables. (Sánchez & Reyes, 2015).

### **3.4. Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es Descriptivo, ya que no alteramos la realidad, solo se ha realizado la evaluación funcional del pavimento. (Sánchez & Reyes, 2015).

### **3.5. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es No experimental y transversal. El investigador no manipuló deliberadamente o intencionalmente las variables. (Sánchez & Reyes, 2015).

### **3.6. Ámbito y tiempo social de la investigación**

#### **AMBITO**

El estudio se centra en la carretera PE-40, situada en la zona de Tacna. La carretera objeto de análisis está clasificada y reconocida en (MTC, 2019) como parte del sistema nacional de carreteras, y la ruta N° PE-40 comienza en Emp PE-IS (Tacna) y termina en Tripartito (frontera con Chile y Bolivia).

## TIEMPO SOCIAL

Se realizó en los intervalos de enero a diciembre de 2024.

### 3.7. Población y muestra

#### 3.7.1. Unidad de estudio

La investigación comprende únicamente tramo PE-40, progresiva de inicio Km 21+00 y final Km 26+00, en el distrito de Pachía, ubicada en Provincia de Tacna del departamento de Tacna.

#### 3.7.2. Población

La carretera objeto de estudio está clasificada y reconocida en (MTC, 2019) como parte de la red nacional de carreteras y designada como ruta N° PE-40.

#### 3.7.3. Muestra

Ruta N° PE-40, tramo km 21+00 a Km 26+00

muestra total  $N=125$

Se determina muestra mínima de unidades:

$$n = \frac{125 \cdot 10^2}{\frac{5^2}{4} \cdot (125 - 1) + 10^2} \quad n = 14.29$$

$$I = 125/14.29 \rightarrow i = 8.75$$

Se ha trabajado con muestras igual a 8,0 unidades en toda la calzada:

U-5, U-13, U-21, U-29, U-37, U-45, U-53, U-61, U-69, U-77, U-85, U-93, U-101, U-109, U-117 y U-125.

También se evaluaron muestras adicionales: U-1A, U-6A, U-24A, U-42A, U60A y U-97A

### **3.8. Procedimiento, técnicas e instrumentos**

El diseño de la investigación es No experimental y transversal. El investigador no ha manipulado deliberadamente o intencionalmente las variables.

#### **3.8.1. Procedimiento**

- Se efectuó análisis del método propuesto con la información obtenida y un estudio de los trabajos ya investigados.
- Se exploró los documentos que existen para obtener una mejor delimitación del trabajo.
- Se ha aplicado el método propuesto en la evaluación del pavimento y se ha evaluado e interpretado los resultados.

#### **3.8.2. Técnicas**

Se empleó la metodología PCI y la binarización de imágenes, que consiste en utilizar el programa Matlab para evaluar la condición del pavimento. Utilizando datos ortofotográficos, se evaluó la transitabilidad y se identificaron las medidas necesarias para mejorar el transporte regular de pasajeros entre Pachia y Miculla.

Se ha usado el software **Agisoft Metashape** que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en aplicaciones SIG y producción de efectos visuales, así

como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas.

-Formatos de campo

-Observación

### ***3.8.3. Instrumentos***

Los instrumentos utilizados son:

-Conos de seguridad

-Odómetro manual

-Vehículo para evaluación

-Cámara fotográfica

-Dron

-Software

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

La zona en proyecto se encuentra ubicada en el distrito de Pachia carretera PE-40 Tacna tiene su inicio aproximadamente en la municipalidad de Pachia Km21+00 finalizando en Km26+00, tomando este tramo como zona de estudio.

Se inicio aplicando la metodología PCI en el tramo en mención para obtener los resultados del estado de Pavimento.

#### Figura 19

*Ubicación del tramo de estudio*



Nota. Tomado de Google Earth

## Figura 20

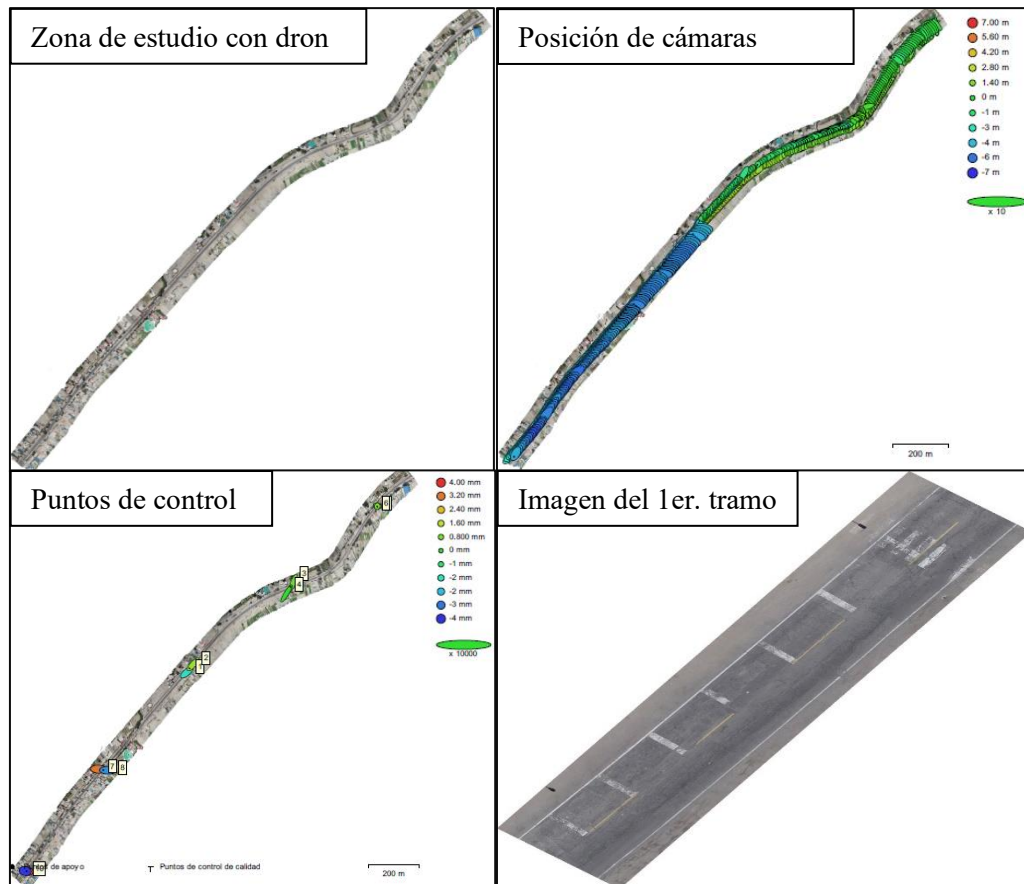
*Imágenes de la zona de estudio*



Nota. Elaboración propia

Según la Figura 20, se puede apreciar la longitud de calzada de 6m, Inicio de zona de estudio en el km 21.00, Imágen del inicio de zona de estudio donde se puede apreciar el estado del pavimento flexible e Imágen final de zona de estudio la cual se encuentra cerca al museo de Miculla.

Luego se ha tomado fotografías con dron en la zona estudio que se encuentra ubicada en el distrito de Pachía carretera PE-40.

**Figura 21***Imagen zona de estudio con dron*

Nota. Elaboración propia

Según la figura 21, se puede apreciar la imagen de zona de estudio con dron observándose toda su extensión, luego las posiciones de cámara para poder capturar las imágenes, en seguida los puntos de control terrestres desde el dron y finalmente se muestra la imagen del primer tramo de zona de estudio.

Por lo tanto, las imágenes se tomaron dentro de cada carril del

segmento PE-40 de la red nacional de carreteras: PE-40 km21+00 - km26+00 de pavimento flexible, a medida que el sistema de captación de imágenes se desplazaba a las unidades de muestreo que habían sido previamente identificadas con fallos establecidos en base al PCI

Se tomaron imágenes en formato JPEG a lo largo de toda la ruta de la carretera, mostrando diversos tipos de grietas, reparaciones y otros defectos. Las imágenes no pertinentes para el estudio se seleccionaron en el gabinete en función del recuento de muestras establecido por el PCI.

Finalmente se ha realizado trabajo de gabinete con los datos recopilados en la zona de estudio que se encuentra ubicada en el distrito de Pachia carretera PE-40.

## **4.2. Diseño de la presentación de resultados**

Cada unidad de muestreo se evaluó con el método PCI, y se utilizó la guía INGEPAV de Luis Ricardo Vásquez Varela, que indica que el área de estudio está segmentada en secciones.

### ***4.2.1. Cálculo del Índice de condición del pavimento PCI***

#### **Cálculo de la longitud de muestra**

Utilizando un ancho de calzada de 6.00m, de acuerdo a la metodología del PCI, se utiliza;

**Longitud de muestra = 40.00 m.**

### Cálculo de la longitud de muestra

Utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

N : Dato mínimo de muestra

N : Total de muestras

E : Error admisible

$\sigma$  : Desviación estándar (10) para pavimento flexible

Calculamos valor del N (número total de muestras)

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

**TRAMO: PACHIA KM 21+000 – MICULLA KM 26+000**

Cálculo de muestra total

$$N = 5000\text{m}/40 \rightarrow N = 125$$

Se determina muestra mínima de unidades:

$$n = \frac{125 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (125 - 1) + 10^2} \quad n = 14.29$$

Cálculo del intervalo de unidades de muestra.

Utilizamos la siguiente ecuación:

$$I = N/n$$

Donde:

n: Dato mínimo de muestra

N: Total de muestras

I: Intervalo entre muestra

Como resultado obtenemos

$$I = 125/14.29 \rightarrow i = 8.75$$

Finalmente se determina un intervalo de evaluación entre muestras igual a 8,0 unidades en toda la calzada, determinándose las siguientes unidades de muestra: U-5, U-13, U-21, U-29, U-37, U-45, U-53, U-61, U-69, U-77, U-85, U-93, U-101, U-109, U-117 y U-125.

También se evaluaron muestras adicionales:

Calzada total: U-1A, U-6A, U-24A, U-42A, U60A y U-97A

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1. Cálculo del Índice de condición del pavimento PCI

Considerando un tramo de evaluación que corresponde desde Pachía Km 21+000 — Miculla Km 26+000 en una calzada total, considerando muestras U-5, U-13, U-21, U-29, U-37, U-45, U-53, U-61, U-69, U-77, U-85, U-93, U-101, U-109, U-117 y U-125, en muestra de 40m. de longitud y 6.00 m. de ancho., las cuales presentamos a continuación:

**TRAMO DE EVALUACIÓN: PACHIA KM 21+000 — MICULLA KM 26+000, CALZADA TOTAL**

**Tabla 8**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+160–0+200*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
10	GLT	L	2.56	1.85	1.4	0.85	3.4	10.06	4.19	2.99
11	PA	M	16.24					16.24	6.77	26.06
19	DA	H	213.70					213.70	89.04	77.13
									<b>TOTAL VD:</b>	<b>106.18</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>				<b>3.10</b>						
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>				<b>77.13</b>						

Nota. En la muestra 5, se ha determinado que el valor deducido más alto es 77,13 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 9**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+480–0+520*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
10	GLT	L	2.56	0.85	0.90	1.80		6.11	2.55	1.14
10	GLT	M	2.50	1.8				4.30	1.79	4.85
11	PA	M	4.80					4.80	2.00	14.3
11	PA	H	44.00					44.00	18.33	65.42
19	DA	H	180.79					180.79	75.33	74.61
									<b>TOTAL VD:</b>	<b>160.32</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>				<b>3.33</b>						
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>				<b>74.61</b>						

Nota. En la muestra 13, se ha determinado que el valor deducido más alto es 74,61 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 10**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+800–0+840*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES			TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
3	PA	L	154.80			154.8	64.50	22.99
19	DA	H	85.20			85.2	35.50	64.29
							<b>TOTAL VD:</b>	<b>87.28</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>4.28</b>					
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>64.29</b>					

Nota. En la muestra 21, se ha determinado que el valor deducido más alto es 64,29 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 11**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+120–1+160*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES			TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
1	FC	M	7.85			7.85	3.27	33.34
10	GLT	L	1.60	2.60	1.45	5.65	2.35	0.77
11	PA	M	5.87	4.05	10.95	20.87	8.69	29.48
19	DA	H	205.64			205.64	85.86	76.52
							<b>TOTAL VD:</b>	<b>140.11</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.16</b>					
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>76.52</b>					

Nota. En la muestra 29, se ha determinado que el valor deducido más alto es 76,52 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 12**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+440–1+480*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)	
3	AB	L	34.3				34.3	14.29	10.19	
10	GLT	M	1.80	1.27	2.85		5.92	2.47	6.67	
19	DA	H	199.78				199.78	83.24	76.08	
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>92.24</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.20</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>76.08</b>							

Nota. En la muestra 37, se ha determinado que el valor deducido más alto es 76,08 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 13**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+760–1+800*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
10	GLT	L	1.53	3.65	2.25	0.90	0.67	9.00	3.75	2.60
10	GLT	M	3.50		4.85			8.35	3.48	9.05
19	DA	H	222.65				222.65	92.77	77.72	
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>89.37</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.05</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>77.72</b>							

Nota. En la muestra 45, se ha determinado que el valor deducido más alto es 77,72 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 14***Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+080–2+120*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)	
10	GLT	M	14.40	24.12	5.75	6.00	14.25	65.52	27.30	29.39
10	GLT	H	2.50	4.64				7.14	2.98	17.01
13	BA	H	1.00					1.00	0.42	37.08
19	DA	H	166.34					166.34	69.31	73.47
									<b>TOTAL VD:</b>	<b>156.95</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.44</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>73.47</b>							

Nota. En la muestra 53, se ha determinado que el valor deducido más alto es 73,47 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 15***Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+400–2+440*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)	
10	GLT	L	2.56	1.80	1.20	2.40	7.96	3.32	2.25	
10	GLT	M	5.80	4.67	1.30		11.77	4.9	11.36	
19	DA	H	220.27				220.27	91.78	77.57	
									<b>TOTAL VD:</b>	<b>91.20</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.06</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>77.57</b>							

Nota. En la muestra 61, se ha determinado que el valor deducido más alto es 77,57 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 16**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+720–2+760*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
10	GLT	L	2.56	3.30	7.85	5.64	2.46	6.27	28.08	11.70	8.71	
10	GLT	M	12.85	1.25	0.80	1.58	0.75	3.84	21.07	8.78	16.81	
19	DA	H	190.85							190.85	79.52	75.41
										<b>TOTAL VD:</b>	<b>100.94</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.26</b>									
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>75.41</b>									

Nota. En la muestra 69, se ha determinado que el valor deducido más alto es 75,41 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 17**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+040–3+080*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
19	DA	H	240.00							240.00	100.00	78.80
										<b>TOTAL VD:</b>	<b>78.80</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>2.95</b>									
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>78.80</b>									

Nota. En la muestra 77, se ha determinado que el valor deducido más alto es 78,80 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 18**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+360–3+400*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
11	PA	M	13.50	5.28	18.78	7.83	27.99
19	DA	H	221.22		221.22	92.18	77.63
						<b>TOTAL VD:</b>	<b>105.61</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.05</b>				
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>77.63</b>				

Nota. En la muestra 85, se ha determinado que el valor deducido más alto es 105,61 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 19**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+680–3+720*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES		TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
19	DA	H	240.00		240.00	100.00	78.80
						<b>TOTAL VD:</b>	<b>78.80</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>2.95</b>				
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>78.80</b>				

Nota. En la muestra 93, se ha determinado que el valor deducido más alto es 78,80 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 20**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+000–4+040*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
19	DA	H	240.00	240.00	100.00	78.80
					<b>TOTAL VD:</b>	<b>78.80</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>2.95</b>			
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>78.80</b>			

Nota. La muestra 101, se ha determinado que el valor deducido más alto es 78,80 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 21**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+320–4+360*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
19	DA	H	240.00	240.00	100.00	78.80
					<b>TOTAL VD:</b>	<b>78.80</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>2.95</b>			
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>78.80</b>			

Nota. En la muestra 109, se ha determinado que el valor deducido más alto es 78,80 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 22**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+640–4+680*

N°	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
19	DA	H	240.00	240.00	100.00	78.80
					<b>TOTAL VD:</b>	<b>78.80</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>2.95</b>			
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>78.80</b>			

Nota. En la muestra 117, se ha determinado que el valor deducido más alto es 78,80 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 23**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 4+960–5+000*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)	
19	DA	H	240.00				240.00	100.00	78.80	
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>78.80</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>2.95</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>78.80</b>							

Nota. En la muestra 125, se ha determinado que el valor deducido más alto es 78,80 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**MUESTRAS ADICIONALES: PACHIA KM 21+000 HASTA MICULLA KM 26+000, CALZADA TOTAL**

**Tabla 24**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+000–0+040*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)	
10	GLT	M	1.58	3.50	2.98	4.60	3.40	16.06	6.69	13.90
11	PA	H	60.00				74.25	30.94	75.48	
13	BA	H	1.00				1.00	0.42	37.08	
19	DA	H	148.69				148.69	61.95	72.07	
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>198.54</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.25</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>75.48</b>							

Nota. En la muestra 1-A, se ha determinado que el valor deducido más alto es 75,48 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 25***Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+200-0+240*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
6	DE	H	2.40				2.40	1.00	17.00
10	GLT	L	3.94	1.85	3.73		9.52	3.97	2.77
10	GLT	M	1.60	2.84			4.44	1.85	5.04
11	PA	L	7.50				7.50	3.13	6.78
11	PA	H	41.80				41.80	17.42	63.94
13	BA	H	2.00				2.00	0.83	48.83
19	DA	H	172.34				172.34	71.81	73.94
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>218.30</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.39</b>						
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>73.94</b>						

Nota. En la muestra 6-A, se ha determinado que el valor deducido más alto es 73,94 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 26***Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 0+920-0+960*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
10	GLT	L	1.35	1.15	2.67	0.80	5.97	2.49	1.03
10	GLT	M	8.50				8.50	3.54	9.19
11	PA	M	5.58				5.58	2.33	15.31
13	BA	H	1.00				1.00	0.42	37.08
19	DA	H	218.95				218.95	91.23	77.48
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>140.09</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.07</b>						
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>77.48</b>						

Nota. En la muestra 24-A, se ha determinado que el valor deducido más alto es 77,48 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 27**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 1+640-1+680*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
3	AB	L	136.80				136.80	57.00	21.95
19	DA	H	103.20				103.2	43.00	66.96
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>88.91</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>4.03</b>						
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>66.96</b>						

Nota. En la muestra 42-A, se ha determinado que el valor deducido más alto es 66,96 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 28**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 2+360-2+400*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
10	GLT	L	3.85	5.14	1.80	0.95	2.71	14.45	6.02	4.43
11	PA	L	2.40					2.40	1.00	2.30
11	PA	M	7.50					7.50	3.13	17.74
19	DA	H	215.65					215.65	89.95	77.27
								<b>TOTAL VD:</b>	<b>101.74</b>	
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.09</b>							
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>77.27</b>							

Nota. En la muestra 60-A, se ha determinado que el valor deducido más alto es 77,27 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

**Tabla 29**

*Cálculo de la densidad y valor deducido en la progresiva 3+840–3+880*

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(QVD)
11	PA	L	14.95	14.95	6.23	12.04
19	DA	H	225.05	225.05	93.77	77.87
<b>TOTAL VD:</b>						<b>89.91</b>
<b>Número Máximo Admisible de V.D. (m):</b>			<b>3.03</b>			
<b>Valor deducido más alto HDV:</b>			<b>77.87</b>			

Nota. En la muestra 97-A, se ha determinado que el valor deducido más alto es 89,91 para alcanzar la cantidad máxima permitida de valores deducidos (m).

#### **4.3.2. Resultados del valor PCI obtenido con el método PCI, Pachia km 21+000 – Miculla Km 26+000,**

En la determinación del valor PCI, se utilizaron la hoja de registro de las fallas presentes, su severidad, cálculo de densidad, cálculo del valor deducido por cada unidad de muestra desde U-5, U-13, U-21, U-29, U-37, U-45, U-53, U-61, U-69, U-77, U-85, U-93, U-101, U-109, U-117 y U-125, tramo que corresponde desde Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000, en la calzada total, también se registraron muestras adicionales U-1A, U-6A, U-24A, U-42A, U-60A y U-97A considerando un ancho de vía de 6.00, en carriles de 3.00 m. y área de evaluación por unidad de muestra igual a 240,000 m<sup>2</sup>.

**Tabla 30***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-5*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.13	26.06	2.99		106.20	3	66.41
2	77.13	26.06	2.00		105.20	2	73.50
3	77.13	2.00	2.00		81.10	1	81.10
						<b>Máx. VDC</b>	<b>81.10</b>
						<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>	<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>
							<b>18.90</b>
						<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>	<b>MUY MALO</b>

*Nota. En la muestra 5, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 81,10 para calcular el valor PCI en 18,90, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 31***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-13*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	74.61	65.42	14.30	1.60	155.90	3	91.07
2	74.61	65.42	2.00	1.60	143.60	2	92.34
3	74.61	2.00	2.00	1.60	80.20	1	80.20
						<b>Máx. VDC</b>	<b>92.34</b>
						<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>	<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>
							<b>7.66</b>
						<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>	<b>FALLADO</b>

*Nota. En la muestra 13, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 92,34 para calcular el valor PCI en 7,66, lo que da lugar a una calificación del pavimento de FALLADO.*

**Tabla 32**

*PCI y clasificación en la unidad de muestra U-21*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	64.29	22.99			87.30	2	62.38
2	64.29	2.00			66.30	1	66.30
						<b>Máx. VDC</b>	<b>66.30</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
						<b>33.70</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>MALO</b>	

*Nota. En la muestra 21, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 66,30 para calcular el valor PCI en 33,70, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MALO.*

**Tabla 33**

*PCI y clasificación en la unidad de muestra U-29*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	76.52	33.34	29.48	0.12	139.50	3	83.75
2	76.52	33.34	2.00	0.12	112.00	2	77.10
3	76.52	2.00	2.00	0.12	80.60	1	80.60
						<b>Máx. VDC</b>	<b>83.75</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
						<b>16.25</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 29, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 83,75 para determinar el valor del PCI igual a 16,25 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 34***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-37*

N°	VALORES DEDUCIDOS			VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	76.08	10.19	6.67	92.90	3	58.74
2	76.08	10.19	2.00	88.30	2	62.98
3	76.08	2.00	2.00	80.10	1	80.10
					<b>Máx. VDC</b>	<b>80.10</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>					<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
					<b>19.90</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>					<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 37, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 80,10 para calcular el valor PCI en 19,90, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 35***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-45*

N°	VALORES DEDUCIDOS			VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.72	9.05	2.60	89.40	3	56.63
2	77.72	9.05	2.00	88.80	2	63.28
3	77.72	2.00	2.00	81.70	1	81.70
					<b>Máx. VDC</b>	<b>81.70</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>					<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
					<b>18.30</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>					<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 45, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 81,70 para determinar el valor del PCI igual a 18,30 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 36***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-53*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	73.47	37.08	29.39	7.49	147.40	4	81.70
2	73.47	37.08	29.39	2.00	141.90	3	84.82
3	73.47	37.08	2.00	2.00	114.60	2	78.53
4	73.47	2.00	2.00	2.00	79.50	1	79.50
						<b>Máx. VDC</b>	<b>84.82</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
						<b>15.18</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 53, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 84,82 para calcular el valor PCI en 15,18, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 37***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-61*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.57	11.38	2.25		91.20	3	57.72
2	77.57	11.38	2.00		90.90	2	64.61
3	77.57	2.00	2.00		81.60	1	81.60
						<b>Máx. VDC</b>	<b>81.60</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
						<b>18.40</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 61, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 81,60 para determinar el valor del PCI igual a 18,40 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 38***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-69*

N°	VALORES DEDUCIDOS			VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	75.41	16.81	8.71	100.90	3	63.50
2	75.41	16.81	2.00	94.20	2	66.86
3	75.41	2.00	2.00	79.40	1	79.40
					<b>Máx. VDC</b>	<b>79.40</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>					<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
					<b>20.60</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>					<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 69, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 79,40 para calcular el valor PCI en 20,60, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 39***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-77*

N°	VALORES DEDUCIDOS			VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80			78.80	1	78.80
					<b>Máx. VDC</b>	<b>78.80</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>					<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
					<b>21.20</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>					<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 77, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 78,80 para determinar el valor del PCI igual a 21,20 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 40***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-85*

N°	VALORES DEDUCIDOS		VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.63	27.99	105.60	2	73.71
2	77.63	2.00	79.60	1	79.60
				<b>Máx. VDC</b>	<b>79.60</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>				<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
				<b>20.40</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>				<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 85, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 79,60 para calcular el valor PCI en 20,40, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 41***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-93*

N°	VALORES DEDUCIDOS		VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80		78.80	1	78.80
				<b>Máx. VDC</b>	<b>78.80</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>				<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
				<b>21.20</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>				<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 93, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 78,80 para determinar el valor del PCI igual a 21,20 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 42***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-101*

N°	VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80	78.80	1	78.80
			<b>Máx. VDC</b>	<b>78.80</b>
	<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>		<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
				<b>21.20</b>
	<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>		<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 101, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 78,80 para calcular el valor PCI en 21,20, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 43***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-109*

N°	VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80	78.80	1	78.80
			<b>Máx. VDC</b>	<b>78.80</b>
	<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>		<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
				<b>21.20</b>
	<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>		<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 109, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 78,80 para determinar el valor del PCI igual a 21,20 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 44***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-117*

N°	VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80	78.80	1	78.80
			<b>Máx. VDC</b>	<b>78.80</b>
		<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>	<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
			<b>21.20</b>	
		<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>	<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 117, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 78,80 para calcular el valor PCI en 21,10, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 45***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-125*

N°	VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80	78.80	1	78.80
			<b>Máx. VDC</b>	<b>78.80</b>
		<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>	<b>PCI = 100 - (Máx VDC)</b>	
			<b>21.20</b>	
		<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>	<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra 125, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 78,80 para determinar el valor del PCI igual a 21,20 obteniendo una calificación del pavimento como MUY MALO.*

**Tabla 46***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-1 ADICIONAL*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	75.48	72.07	37.08	3.47	188.10	4	95.77
2	75.48	72.07	37.08	2.00	186.60	3	100.00
3	75.48	72.07	2.00	2.00	151.60	2	95.48
4	75.48	2.00	2.00	2.00	81.50	1	81.50
<b>Máx. VDC</b>							<b>100.00</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
						<b>0.00</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>FALLADO</b>	

*Nota. En la muestra U-1, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 100,00 para calcular el valor PCI en 0,00, lo que da lugar a una calificación del pavimento de FALLADO.*

**Tabla 47***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-6 ADICIONAL*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	73.94	63.94	48.83	6.63	193.30	4	96.79
2	73.94	63.94	48.83	2.00	188.70	3	100.00
3	73.94	63.94	2.00	2.00	141.90	2	91.64
4	73.94	2.00	2.00	2.00	79.90	1	79.90
<b>Máx. VDC</b>							<b>100.00</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
						<b>0.00</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>FALLADO</b>	

*Nota. En la muestra 6, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 100,00 para determinar el valor del PCI igual a 00,00 obteniendo una calificación del pavimento como FALLADO.*

**Tabla 48***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-24 ADICIONAL*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.48	37.08	15.31	0.64	130.50	3	78.80
2	77.48	37.08	2.00	0.64	117.20	2	79.96
3	77.48	2.00	2.00	0.643	82.10	1	82.10
<b>Máx. VDC</b>							<b>82.10</b>
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
						<b>17.90</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>MUY MALO</b>	

*Nota. En la muestra U-24, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 82,10 para calcular el valor PCI en 17,90, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 49***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-42 ADICIONAL*

N°	VALORES DEDUCIDOS			VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
1	66.96	21.95		88.90	2	63.34	
2	66.96	2.00		69.00	1	69.00	
<b>Máx. VDC</b>						<b>69.00</b>	
<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>						<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>	
						<b>31.00</b>	
<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>						<b>MALO</b>	

*Nota. En la muestra 42, se determina el máximo valor deducido corregido igual a 69,00 para determinar el valor del PCI igual a 31,00 obteniendo una calificación del pavimento como MALO.*

**Tabla 50***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-60 ADICIONAL*

N°	VALORES DEDUCIDOS				VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.27	17.74	4.43	0.21	99.60	3	62.76
2	77.27	17.74	2.00	0.21	97.20	2	68.90
3	77.27	2.00	2.00	0.207	81.50	1	81.50
						<b>Máx. VDC</b>	<b>81.50</b>
						<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>	<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>
							<b>18.50</b>
						<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>	<b>MUY MALO</b>

*Nota. En la muestra U-60, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 81,50 para calcular el valor PCI en 18,50, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 51***PCI y clasificación en la unidad de muestra U-97 ADICIONAL*

N°	VALORES DEDUCIDOS		VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	77.87	12.04	89.90	2	63.94
2	77.87	2.00	79.90	1	79.90
				<b>Máx. VDC</b>	<b>79.90</b>
				<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI):</b>	<b>PCI = 100 - (Máx. VDC)</b>
					<b>20.10</b>
				<b>CLASIFICACION SEGÚN EL PCI:</b>	<b>MUY MALO</b>

*Nota. En la muestra U-97, se ha determinado que el valor deducido ajustado más alto es 79,90 para calcular el valor PCI en 20,10, lo que da lugar a una calificación del pavimento de MUY MALO.*

**Tabla 52***Cantidad de daños según tipo y severidad*

ÍTEM	TIPO DE DAÑO	CÓDIGO	UNIDAD	NIVEL DE SEVERIDAD	CANTIDAD
1	Piel de cocodrilo	PC	m2	H	0.00
				M	7.85
				L	0.00
2	Exudación	EX	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
3	Agrietamiento en Bloque	AB	m2	H	199.78
				M	5.92
				L	325.90
4	Abultamientos y Hundimientos	AH	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
5	Corrugación	CO	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
6	Depresión	DE	m2	H	2.40
				M	0.00
				L	0.00
7	Grieta de Borde	GB	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
8	Grieta de Reflexión de Junta	GJ	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
9	Desnivel Carril/ Berma	DCB	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m2	H	7.14
				M	135.71
				L	101.82
11	Parcheo y acometidas de servicio	PA	m2	H	160.05
				M	73.77
				L	24.85
12	Pulimiento de Agregados	PUA	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
13	Huecos o baches	BA	m2	H	5.00
				M	0.00
				L	0.00
14	Cruce de Vía Férrea	CVF	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
15	Ahuellamiento	AH	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
16	Desplazamiento	DES	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
17	Grietas Parabólicas o por deslizamiento	GP	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
18	Hinchamiento	HI	m2	H	0.00
				M	0.00
				L	0.00
19	Meteorización/ Desprendimiento de Agregados	DA	m2	H	4101.50
				M	0.00
				L	0.00

*Nota. En la tabla se puede visualizar la cantidad de daños y la severidad*

**Tabla 53***Número Admisible Máximo de Deducidos*

UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL (Km)	PROGRESIVA FINAL (Km)	Máx. VDC	m
U-05	0+160.00	0+200.00	77.13	3.10
U-13	0+480.00	0+520.00	74.61	3.33
U-21	0+800.00	0+840.00	64.29	4.28
U-29	1+120.00	1+160.00	76.52	3.16
U-37	1+440.00	0+480.00	76.08	3.20
U-45	1+760.00	1+800.00	77.72	3.05
U-53	2+080.00	2+120.00	73.47	3.44
U-61	2+400.00	2+440.00	77.57	3.06
U-69	2+720.00	2+760.00	75.41	3.26
U-77	3+040.00	3+080.00	78.80	2.95
U-85	3+360.00	3+400.00	77.63	3.05
U-93	3+680.00	3+720.00	78.80	2.95
U-101	4+000.00	4+040.00	78.80	2.95
U-109	4+320.00	4+360.00	78.80	2.95
U-117	4+640.00	4+680.00	78.80	2.95
U-125	4+960.00	5+000.00	78.8	2.95
U-1 ADIC	0+000.00	0+040.00	75.48	3.25
U-6 ADIC	0+200.00	0+240.00	73.94	3.39
U-24 ADIC	0+920.00	0+960.00	77.48	3.07
U-42 ADIC	1+640.00	1+680.00	66.96	4.03
U-60 ADIC	2+360.00	2+400.00	77.27	3.09
U-97 ADIC	3+840.00	3+880.00	77.87	3.03

*Nota. En la tabla se puede visualizar los valores máximos deducidos*

#### **4.3.3. Análisis de los resultados del índice de condición del pavimento PCI**

En la calzada total del tramo Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000, visualizamos los resultados obtenidos del PCI por cada unidad de muestra, por lo que es necesario obtener un valor ponderado de todo el tramo, cuyo valor es igual a 18.36%, el cual ayuda a calificar el estado del pavimento donde una calificación MUY MALO.

**Tabla 54**

*Resumen de resultados del PCI en la calzada total del tramo Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000*

CALZADA	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL (Km)	PROGRESIVA FINAL (Km)	LONGITUD DE LA MUESTRA (m)	VALOR PCI	CALIFICACIÓN
CALZADA TOTAL	U-05	0+160.00	0+200.00	40	18.90	MUY MALO
	U-13	0+480.00	0+520.00	40	7.66	FALLADO
	U-21	0+800.00	0+840.00	40	33.70	MALO
	U-29	1+120.00	1+160.00	40	16.25	MUY MALO
	U-37	1+440.00	1+480.00	40	19.90	MUY MALO
	U-45	1+760.00	1+800.00	40	18.30	FALLADO
	U-53	2+080.00	2+120.00	40	15.18	MUY MALO
	U-61	2+400.00	2+440.00	40	18.40	MUY MALO
	U-69	2+720.00	2+760.00	40	20.60	MUY MALO
	U-77	3+040.00	3+080.00	40	21.20	MUY MALO
	U-85	3+360.00	3+400.00	40	20.40	MUY MALO
	U-93	3+680.00	3+720.00	40	21.20	MUY MALO
	U-101	4+000.00	4+040.00	40	21.20	MUY MALO
	U-109	4+320.00	4+360.00	40	21.20	MUY MALO
	U-117	4+640.00	4+680.00	40	21.20	MUY MALO
	U-125	4+960.00	5+000.00	40	21.20	MUY MALO
	MUESTREO ADICIONAL	U-1 ADIC	0+000.00	0+040.00	40	0.00
U-6 ADIC		0+200.00	0+240.00	40	0.00	FALLADO
U-24 ADIC		0+920.00	0+960.00	40	17.90	MUY MALO
U-42 ADIC		1+640.00	1+680.00	40	31.00	MALO
U-60 ADIC		2+360.00	2+400.00	40	18.50	MUY MALO
	U-97 ADIC	3+840.00	3+880.00	40	20.10	MUY MALO
				PONDERADO	18.36	MUY MALO

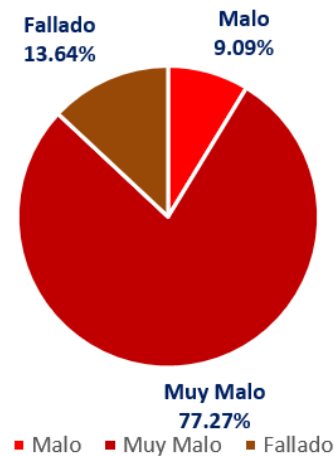
*Nota. En la tabla se puede visualizar los valores del PCI por tramo y muestras adicionales, evaluado para determinar el valor del PCI ponderado igual a 18.36% y una calificación del pavimento como MUY MALO, resultados que nos permite realizar el análisis de la discusión para el comparativo con metodologías y resultados similares.*

**Tabla 55***Porcentaje por Rango de la Condición del Pavimento Flexible*

CONDICIÓN	UNIDAD DE MUESTRA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
Excelente	0	0	0.00
Muy Bueno	0	0	0.00
Bueno	0	0	0.00
Regular	0	0	0.00
Malo	2	480	9.09
Muy Malo	17	4080	77.27
Fallado	3	720	13.64
Total	22	5280	100

*Nota. En la tabla se puede observar el porcentaje***Figura 22***Gráfico Circular de Porcentajes por Rango de PCI de la vía en estudio*

**PORCENTAJE DE CONDICION DE PAVIMENTO FLEXIBLE  
DEL LA VIA PE-40 TRAMO:KM 21+000 – KM 26+000**

*Nota. En el gráfico se muestra la condición del pavimento*

#### **4.3.4. Resultados del uso de dron en la zona de estudio**

A continuación, se detalla los pasos para llevar a cabo un levantamiento fotogramétrico:

##### **1. Planificación del levantamiento:**

- **Objetivo del levantamiento:** Realizar el trabajo de levantamiento de datos en la Vía Pachia desde el Km 21 al Km 23.
- **Elección del equipo:** Para el desarrollo del trabajo se utilizó un Dron DJI Phantom 4 pro.
- **Control de puntos geodésicos:** Se definió Puntos de control a Cada 500 m. en toda la intervención. Estos se utilizaron para su correcta Georeferenciación.

##### **2. Adquisición de imágenes:**

- **Altura de vuelo o distancia de captura:** Se realizó el Vuelo a una altura de 60 mts. De forma constante en todo el recorrido. Para obtener un valor de GSD. De 1.58 cm/px.
- **Superposición de imágenes:** El Traslape fue de 90%, lo cual garantiza que las imágenes se puedan combinar correctamente para generar modelos 3D precisos.
- **Control de calidad de las imágenes:** Se Verificó que las imágenes sean nítidas y de alta resolución, evitando distorsiones, sombras u otros problemas.

##### **3. Establecimiento de puntos de control terrestre (GCP):**

- **Ubicación de los puntos de control:** Se determinó un espaciado de puntos de control con un radio de 500 mts. Entre cada punto y establecidos en ambos bordes de la vía.

- **Medición de coordenadas:** Se utilizó un Equipo GNSS de alta precisión para la toma de coordenadas. En cada uno de los puntos de control establecidos en el área de intervención.

#### 4. Procesamiento de imágenes:

- **Uso de software fotogramétrico:** Se utilizó los programas Agisoft Metashape, para el procesamiento de las fotos obtenidas por el dron.
- **Reconocimiento de puntos comunes:** El software busca y reconoce puntos comunes en las imágenes para alinear y crear un modelo tridimensional o mapa.
- **Ajuste de los puntos de control:** Se cargó la Data obtenida por el equipo GNSS con las coordenadas de los puntos de control terrestre en el software para asegurar la precisión en georeferenciación
- **Generación de modelos 3D y ortofotos:** El software genera un modelo tridimensional de la superficie capturada y/o ortofoto (imagen georreferenciada).

#### 5. Validación de resultados:

- **Comprobación de precisión:** Se evaluó el margen de precisión y para esta se obtuvo 0.004 m. de Error acumulado en toda la extensión del trabajo.
- **Revisión de la calidad:** Se obtuvo un Mapa y Modelo de alta calidad para obtener datos de precisión.

## 6. Entrega de productos:

- **Mapas, ortofotos:** Se obtuvo el resultado del procesamiento Fotogramétrico.
- **Informe Fotogramétrico:** Se generó un informe detallado que incluye metodología, equipos utilizados, precisión alcanzada, y cualquier otra información relevante.

### Figura 23

*Vuelo de dron en zona de estudio*



Nota: Imagen de vuelo de dron en la zona de estudio

### 4.3.5. Resultados de las unidades de la muestra según las ortofotos

Según anexo de los resultados de las muestras con Ortofotos, se ha llegado a determinar el estado del pavimento flexible de las 50 unidades de muestra, en la mayoría de los casos de la muestra es Muy Malo, cada unidad tiene 40m de longitud por 6m de ancho, logrando un ponderado promedio de 19.1 cuya calificación es Muy Malo, verificando la hipótesis planteada.

### 4.3.6. Comparación de los dos métodos:

**Tabla 56**

*PCI e imágenes Binarias*

Unidad de muestra	Progresiva inicial	Progresiva final	Longitud de muestra	PCI		Imágenes	
				valor PCI	Calificación	valor PCI	Calificación
U-01	0+000	0+040	40	0	Fallado Muy	8	Fallado Muy
U-05	0+160	0+180	40	18.9	Malo	20	Malo
U-06	0+200	0+240	40	0	Fallado	9	Fallado
U-13	0+480	0+520	40	7.66	Fallado	8.1	Fallado
U-21	0+800	0+840	40	33.7	Malo Muy	30	Malo Muy
U-24	0+920	0+960	40	17.9	Malo Muy	20	Malo Muy
U-29	1+120	1+160	40	16.3	Malo Muy	18	Malo Muy
U-37	1+440	1+480	40	19.9	Malo	20	Malo
U-42	1+640	1+680	40	31	Malo Muy	19	Malo Muy
U-45	1+760	1+800	40	18.3	Malo	20	Malo
				Promedio	16.4	Muy Malo	Muy Malo

### 4.3.7. Resultados del procesamiento de imágenes binarios

Los siguientes resultados es producto de ejecutar el código fuente del proceso de imágenes en el programa MatLab.

**Tabla 57***Procesamiento de Imágenes Binarias con MatLab*

UNIDAD DE MUESTRA	LONGITUD DE FISURA (m)	AREA TOTAL DE FISURA (m <sup>2</sup> )
UM1	174.22	13.25
UM2	154.35	14.56
UM3	115.25	15.26
UM4	134.25	13.98
UM5	90.25	16.05
UM6	100.56	14.25
UM7	115.25	16.35
UM8	145.25	14.89
UM9	139.28	17.02
UM10	154.25	16.25
UM11	135.26	14.56
UM12	122.45	15.45
UM13	109.25	15.11
UM14	112.26	15.25
UM15	115.36	13.25
UM16	113.28	14.25
UM17	119.58	14.69
UM18	148.25	14.58
UM19	127.23	17.26
UM20	98.23	15.26
UM21	108.26	16.25
UM22	107.26	14.89
UM23	112.83	14.08
UM24	94.25	14.25
UM25	111.24	14.04
UM26	123.25	15.26
UM27	104.36	17.25
UM28	108.65	16.25
UM29	104.36	14.98
UM30	168.25	15.23

UM31	114.21	15.23
UM32	126.25	17.15
UM33	128.36	16.25
UM34	124.35	16.29
UM35	125.26	14.35
UM36	124.36	16.25
UM37	125.35	15.28
UM38	128.65	15.09
UM39	123.58	14.26
UM40	124.25	16.25
UM41	125.45	13.58
UM42	124.12	13.98
UM43	122.45	13.58
UM44	125.25	16.58
UM45	111.24	15.29
UM46	108.25	14.95
UM47	108.26	15.25
UM48	107.25	14.68
UM49	104.35	14.58
UM50	93.25	13.98

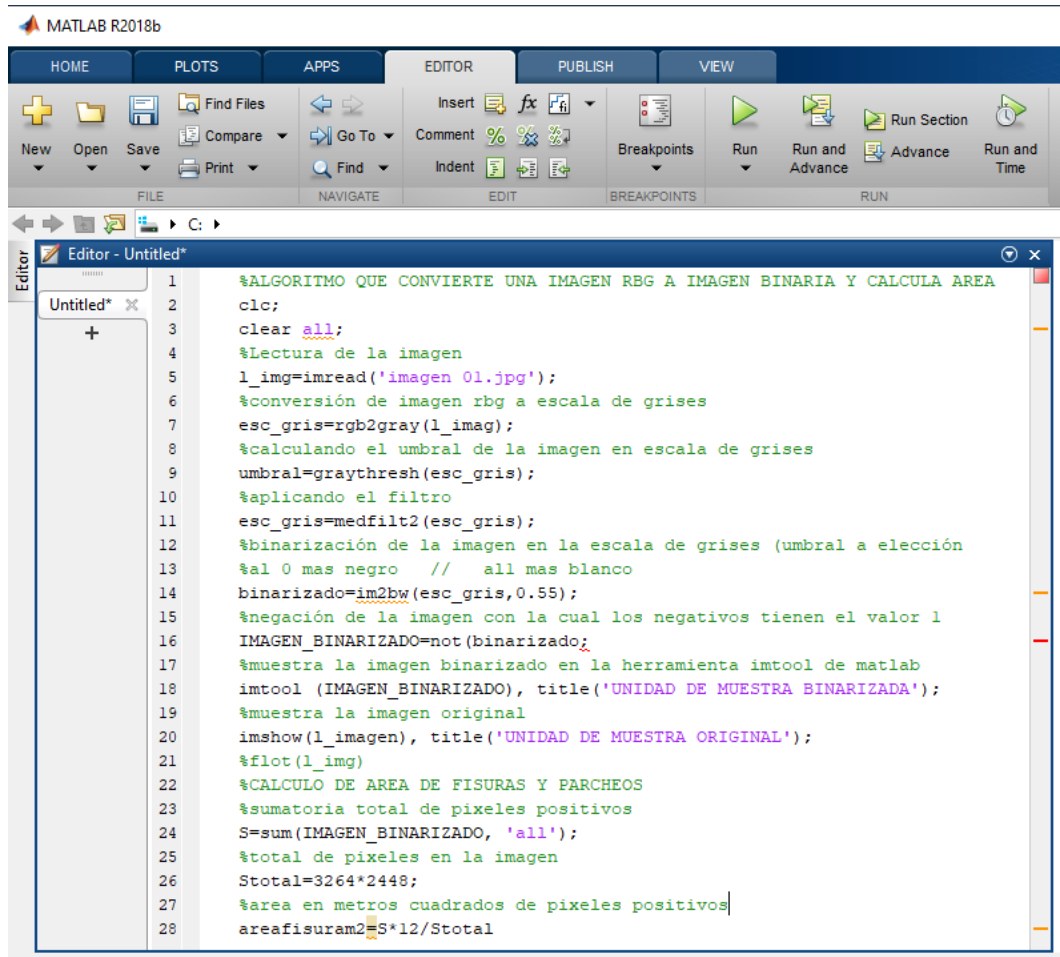
---

En la tabla 57 se puede apreciar las 50 unidades de muestra, es decir cincuenta imágenes las cuales han sido binarizados con el software MatLab, luego se ha obtenido a través de este programa la longitud y área de falla en el pavimento; lográndose obtener 168.25m de longitud máxima en UM30.

### 4.3.8. Código fuente de Matlab, llamando funciones

**Figura 24**

*Código fuente en Matlab*



```

MATLAB R2018b
HOME PLOTS APPS EDITOR PUBLISH VIEW
New Open Save Find Files Compare Go To Insert Comment Breakpoints Run Run and Run and
Print Find Indent Breakpoints Advance Time
FILE NAVIGATE EDIT BREAKPOINTS RUN
C:\
Editor - Untitled*
1 %ALGORITMO QUE CONVIERTE UNA IMAGEN RBG A IMAGEN BINARIA Y CALCULA AREA
2 clc;
3 clear all;
4 %Lectura de la imagen
5 l_img=imread('imagen 01.jpg');
6 %conversión de imagen rgb a escala de grises
7 esc_gris=rgb2gray(l_img);
8 %calculando el umbral de la imagen en escala de grises
9 umbral=graythresh(esc_gris);
10 %aplicando el filtro
11 esc_gris=medfilt2(esc_gris);
12 %binarización de la imagen en la escala de grises (umbral a elección
13 %al 0 mas negro // all mas blanco
14 binarizado=im2bw(esc_gris,0.55);
15 %negación de la imagen con la cual los negativos tienen el valor 1
16 IMAGEN_BINARIZADO=not(binarizado);
17 %muestra la imagen binarizado en la herramienta imshow de matlab
18 imshow(IMAGEN_BINARIZADO), title('UNIDAD DE MUESTRA BINARIZADA');
19 %muestra la imagen original
20 imshow(l_img), title('UNIDAD DE MUESTRA ORIGINAL');
21 %flot(l_img)
22 %CALCULO DE AREA DE FISURAS Y PARCHEOS
23 %sumatoria total de pixeles positivos
24 S=sum(IMAGEN_BINARIZADO, 'all');
25 %total de pixeles en la imagen
26 Stotal=3264*2448;
27 %area en metros cuadrados de pixeles positivos
28 areafisuram2=S*12/Stotal
  
```

### 4.4. Discusión de resultados

En la calzada total del tramo Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000, visualizamos los resultados, cuyo valor es igual a 18.36%, el cual ayuda a calificar el estado del pavimento donde una calificación MUY MALO.

**Tabla 58**

*Resumen de resultados del PCI de un tramo de Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000 en toda su longitud*

<b>TRAMO DE EVALUACIÓN</b>	<b>VALOR PCI</b>
Calzada total tramo de Pachía Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000	18.36%
<b>PONDERADO TOTAL</b>	
<b>TRAMO PACHÍA – MICULLA</b>	<b>18.36%</b>

*Nota. En la tabla se puede visualizar los valores del PCI por tramo de evaluación, obteniendo un valor PCI ponderado de todo el tramo de investigación igual a 18.36%. Con ello se obtiene una calificación del estado del pavimento como MUY MALO, resultados que nos permite recomendar alternativas de intervención para el tramo desde Pachia Km 21+000 hasta Miculla Km 26+000.*

**Tabla 59**

*Alternativas de intervención de acuerdo al PCI*

<b>PCI</b>	<b>ESTADO</b>	<b>INTERVENCIÓN</b>
0 – 30	Malo	Reconstrucción
31 - 70	Regular	Rehabilitación
71 - 100	Bueno	Mantenimiento

*Nota. (Shahin, 2005)*

En la Tabla 58, del resumen de resultados obtenidos, el PCI obtenido fue de 18,36%, clasificando el pavimento del tramo Pachía – Miculla como muy malo y evidenciando la necesidad de una reconstrucción total o rehabilitación integral de su estructura flexible. El análisis se complementó con un procesamiento binario de imágenes, mediante MatLab y algoritmos especializados, que permitió medir con precisión las áreas y longitudes de grietas en 50 muestras. Estas imágenes, capturadas con dron, aseguraron una cobertura completa, datos confiables y recolección segura sin riesgos para el personal técnico.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Berrio y Ussa (2012), donde expone la creación y ejecución de un sistema de auscultación para pavimentos rígidos que utiliza procesamiento de imágenes, creado con MATLAB R2010a, incluye una interfaz gráfica que permite a los usuarios cargar imágenes, analizarlas, mostrar los resultados y guardarlos. El enfoque se evaluó con un conjunto de 17 fotografías de pavimentos rígidos. Los resultados revelaron que la técnica de alta precisión alcanza una eficiencia en la detección de fallos del 87%, mientras que la técnica de baja precisión ofrece una eficiencia del 80 %, no obstante, el método inicial exige un tiempo computacional 13 veces mayor para el análisis.

De manera similar, se observa concordancia con los resultados

obtenidos por Burgos y Ronceros (2024), donde el empleo de drones para prolongar la vida útil de las superficies asfálticas en las vías urbanas” tenía como objetivo principal evaluar la eficacia del uso de drones para examinar el estado del pavimento asfáltico, identificando las categorías de defectos de la superficie, las dimensiones y las áreas de cada defecto, en un tramo de 1260 metros (630 metros en cada sentido de la circulación) en la avenida Guardia Civil, situada entre las avenidas El Sol y Alipio Ponce, en el distrito de Chorrillos de Lima. Al examinar los tramos analizados con el enfoque PCI, descubrieron que en la parte ascendente (Av. El Sol en dirección a Av. Alipio Ponce), el PCI medio registrado con el dron es de 24, lo que indica un estado “grave” del pavimento, y en el segmento descendente (Av. Alipio Ponce en dirección a Av. El Sol), el PCI medio obtenido con el dron es de 38, lo que corresponde a una condición de pavimento “Muy Pobre”.

Del mismo modo, hay coincidencia con los hallazgos reportados por Gonzalo y Beingolea (2021), quienes determinan que la evaluación de la serviciabilidad mediante el método IRI en el pavimento de la avenida internacional mostró que, para la porción evaluada, se lograron resultados comparables entre el rugosímetro MERLIN y la aplicación para smartphone ABAKAL IRI, con el pavimento en ambas direcciones clasificado como “Muy malo” según los valores IRI establecidos por el MTC en Perú.

## CONCLUSIONES

1. En este trabajo de investigación, se evaluó el estado del pavimento flexible utilizando la metodología PCI junto con el procesamiento de imágenes binarias en toda la red nacional de carreteras PE-40 Km21+000 – Km26+000, Tacna – 2023; con un valor de PCI de 17.2% Muy Malo
2. Se ha obtenido el PCI del pavimento flexible, usando la metodología del Pavement Condition Index, en el tramo de estudio Km 21+000 a Km26+000m con el ponderado de índice de 18.36% cuya calificación es Muy Malo.
3. Se ha determinado el PCI mediante procedimiento de imágenes binarios usando ortofotos obtenidos con dron y transformarlos a imágenes binarios obteniendo un resultado de 19.1% Muy Malo.
4. Se determinó el valor de 16.4% para PCI y 17.2% usando imágenes binarias con el programa MatLab; haciendo la comparación que son similares ambos resultados en el Pavimento flexible de la en la red vial PE-40, ambos resultados se califican un estado Muy malo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los ingenieros de carretera y al Municipio de Pachía priorizar la capacitación técnica en el uso de herramientas tecnológicas y el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) donde estas tecnologías han demostrado ser eficaces para realizar diagnósticos precisos del estado del pavimento, optimizando la toma de decisiones y el uso eficiente de recursos en proyectos de rehabilitación vial.
2. Se recomienda a las entidades, en particular a las Provias Descentralizadas responsables de los proyectos de carreteras nacionales, que velen por la correcta ejecución de las actividades de asfaltado y mantenimiento de las carreteras, ya que éstas revisten una gran importancia y deben ser óptimas y satisfactorias para sus usuarios.
3. Se recomienda mayor interés en este estudio y tener en cuenta la seguridad para evitar incidentes de tráfico y lesiones, ya que esta carretera es una vía una parte es recta y los vehículos circulan a gran velocidad; además, provoca importantes fallos en el pavimento.
4. Se recomienda promover la cooperación entre los gobiernos regionales, las autoridades locales y los miembros de la comunidad para mejorar el mantenimiento de las carreteras, permitiendo que los ciudadanos ayuden informando sobre el estado de las carreteras.

## REFERENCIAS

- Akan, S., Bayram, I., Çam, Y. y Kacar, H. (2014). “*İnsansız Hava Araçlarının Sivil havacılıkta Kullanımı*” (Bitirme Tezi). Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Haziran 2014, Kayseri.
- Ara, Inc. & Eres Consultants Division (2004). Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. National Cooperative Highway Research Program-NCHRP, TRB, NRC.
- Arpacı, K. (2013). “Düşük Maliyetli Fotogrametrik Sistemlerin Küçük Objelerin 3 Boyutlu Modellenmesi Çalışmalarında Kullanım Olanakları” (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avşar, E. (2006). “Tarihi köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi” (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bart, C. (2016). *Drone technology: Types, payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and future developments*. Holanda: Universidad de Leiden.
- Berrio, L. & Ussa, A. (2012) *Auscultación de pavimentos mediante interpretación de imágenes* (Tesis, Universidad Militar Nueva Granada)
- Berrio, L. & Ussa, A. (2012). *Auscultación de pavimentos mediante interpretación de imágenes* [Tesis pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio UMNG. file:///C:/Users/Win10/Downloads/BerrioCorreaLauraAndrea2012%20(1).pdf
- Burgos, E. & Ronceros, S. (2024). *Uso de drones para prolongar la vida útil de pavimentos asfálticos en vías metropolitanas*. [Tesis pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio URP. file:///C:/Users/Win10/Downloads/T030\_74053572\_T%20%20%20Ronceros%20Paredes,%20Sergio%20Bratzon.pdf
- Céspedes, J. (2001). Los Pavimentos en las vías terrestres: calles, carreteras y aeropistas. Primera Edición. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

- Cruz, J. (2018). *Cálculo del Índice de Condición del Pavimento con imágenes del vehículo aéreo no tripulado*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cubas, J. (2021). *Uso de un Dron para optimizar la evaluación superficial del pavimento flexible por el método PCI en la Av. Los Conquistadores, distrito de San Isidro, Lima-2021*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Delgado, K., & Morales, L. (2020). *Condición superficial del Pavimento Flexible con la metodología Vizir y PCI de la carretera Vecinal tramo KM 00+00 al KM 05+00 de los distritos de la Victoria y Monsefu, Ubicado en la Provincia de Chiclayo - Departamento de Lambayeque*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres, Perú]. [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7704/delgado\\_kw-morales\\_gl.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7704/delgado_kw-morales_gl.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Everaerts, J. (2008). *The Use Of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) For Remote Sensing And Mapping*. Inter-Commission WG I/V.
- Fowler, J. (2016). American Geoservices. flexible pavements. <https://americangeoservices.com/flexible-pavements.html>
- Fuentes, P. (2018, 11 de agosto). IngeCivil. Tipos de pavimentos. <https://www.ingecivil.net/2018/08/11/tipos-de-pavimentos/>
- González, J. (2016). *Evaluación de Pavimentos en la conservación de carreteras en México*. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://tesiumamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2016/marzo/0742709/0742709.pdf>
- Gonzalo, J. & Beingolea, H. (2021). *Aplicación del smartphone y el rugosímetro de merlin para la medición de la rugosidad del pavimento flexible en la av. internacional, Tacna – 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/20.500.12969/1801/1/Gonzalo-Lopez-Beingolea-Villarreal.pdf](https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/20.500.12969/1801/1/Gonzalo-Lopez-Beingolea-Villarreal.pdf)
- Guzmán, M. (2017). *Evaluación superficial del pavimento flexible de la Av. Jorge*

*Basadre Grohmann del distrito de Pocollay tramo Av. Jorge Basadre Grohmann este - Av. Basadre y Forero, Aplicando el Método del PCI.* [Tesis pregrado, Universidad Privada de Tacna].  
file:///C:/Users/admin/Downloads/Guzman-Navarro-Marco-Antonio-Christian.pdf

- Herra, L. (2018). Conceptualización del procesamiento digital de imágenes para la evaluación de superficies de pavimento en Costa Rica. *Infraestructura Vial / LanammeUCR*, 20(35), 20-26.  
<https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/34831/34388>
- Hu, Y. , Zhao, Ch. & Wang, H. (2010). Automatic Pavement Crack Detection Using Texture and Shape Descriptors. Article in *IETE Technical Review*. Vol. 27, No 5, September, 2010. College of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology (NUST), 200 Xiaolingwei Street, Nanjing - 210 094, People's Republic of China.  
[https://www.researchgate.net/publication/47153780\\_Automatic\\_Pavement\\_Crack\\_Detection\\_Using\\_Texture\\_and\\_Shape\\_Descriptors](https://www.researchgate.net/publication/47153780_Automatic_Pavement_Crack_Detection_Using_Texture_and_Shape_Descriptors)
- Koch, C., Jog, G., & Brilakis, L. (2013). Automated Pothole Distress Assesment Using Pavement Video Data. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 370-378.
- Kraus, K. (2007). *Photogrammetry Geometry from Images and Laser Scans*, 2nd edition, Walter de Gruyter, Berlin-NewYork.
- Marangoz, A. (2002). “Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları” (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mora, J., & Serrano, J. (2020). *Evaluacion Funcional de un Pavimento Flexible en la Via Espinal - Suarez Mediante La Aplicacion del metodo PCI-2020.* [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia].  
<https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9342/EVALUACION%20FUNCIONAL%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE%20EN%20LA%20VIA%20ESPINAL%20SUAREZ%20MEDIANTE%20LA%20APLICACION%20DEL%20METODO%20PCI-2020>

- N%20DEL%20M%c3%89TODO%20PCI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pachay, I. (2017). Evaluacion de la condicion del pavimento flexible via de acceso a la parroquia la Union (0+000-0+966) Aplicado el metodo PCI. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/929/1/UNESUM-ECU-CIVIL-2017-32.pdf>
- Porras, H.; Castañeda, E.; Sanabria, D. y Medina, G. (2012). Detección automática de grietas de pavimento asfáltico aplicando características geométricas y descriptores de forma. *Revista INGE CUC*, Volumen 8, Número 1, pp. 261-280. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/265/254>
- Riascos, M. (2012). Índice de Condicion del Pavimento de las vias Los Hongos - San Francisco - Glorieta, Tunja. Utilizando las metodologías VIZIR y PCI. *L'esprit Ingénieux Tunja - Colombia V3* pp. 61- 71. <file:///C:/Users/Win10/Downloads/125-Texto%20del%20art%C3%ADculo-429-2-10-20210730.pdf>
- Rodríguez, E. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla. Piura, Perú*. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/a6954c3f-4409-43cc-b563-bc758df4ee90/content>
- Rondón, H. & Reyes, F. (2022). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. 2da. Edición. Editorial ECOE. Colombia.
- Rubio, N. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento para la vía de acceso al parque natural Chicaque en el municipio de Soacha, Cundinamarca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. [file:///C:/Users/admin/Downloads/507108\\_RUBIO.%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/507108_RUBIO.%20(2).pdf)
- Sidek, F. y Ahmad, A. (2008). Development of Mapping Procedures Using Digital Imagery Derived from Unmanned Aerial Vehicle System. 7th International Symposium & Exhibition on Geoinformation, 13-15 October 2008, Putra World Trade Centre(PWTC), Kuala Lumpur, Malaysia.
- Vásquez, L. (2002). Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos

y de Concreto En Carreteras. Universidad Nacional de Colombia. Ingepav, pp. 90.: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>.

Yıldız, F. (2010). Dijital(Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi [Powerpoint sunum], Cebit Bilişim Zirvesi, 08 Ekim 2010, İstanbul.


# APÉNDICE

**Matriz de consistencia.**  
**EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023.**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>INTERROGANTE PRINCIPAL</b></p> <p>¿Será la condición Funcional de pavimento flexible mediante procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Analizar la condición Funcional de pavimento flexible mediante procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La evaluación Funcional de pavimento flexible con el procesamiento de imágenes binarias con método de Inteligencia Artificial en la carretera PE-40 Tacna, 2023, es de estado deficiente.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Evaluación superficial del pavimento flexible.</p> <p><b>INDICADORES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piel de cocodrilo.</li> <li>• Baches.</li> <li>• Exudación.</li> <li>• Fisuras.</li> <li>• Hundimiento</li> </ul>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACION</b></p> <p>La investigación es aplicada.</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>Diseño de investigación no experimental</p> <p><b>AMBITO DE ESTUDIO</b></p> <p>Departamento de Tacna y Universidad Privada de Tacna</p>
<p><b>INTERROGANTES ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo determinar la evaluación funcional al Pavimento Flexible utilizando el método de</li> </ul>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la evaluación funcional al Pavimento Flexible utilizando el método de</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La determinación de la evaluación funcional de Pavimento Flexible utilizando el método de</li> </ul>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Metodología índice de condición del pavimento (PCI)</p>	<p><b>POBLACION y MUESTRA</b></p> <p>La carretera en estudio es clasificada e identificada en el (MTC, 2019) como red vial nacional y ruta N° PE-40</p>

<p>Pavement Condition Index – PCI, en la carretera PE-40, Tacna 2023?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo determinar el PCI mediante el procedimiento de imágenes binarios utilizando inteligencia artificial, en la carretera PE-40, Tacna 2023?</li> <li>• ¿Cómo determinar los valores PCI mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarios con inteligencia artificial en la carretera PE-40, Tacna 2023?</li> </ul>	<p>Pavement Condition Index – PCI, en la carretera PE-40, Tacna 2023.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el PCI mediante el procedimiento de imágenes binarios utilizando inteligencia artificial, en la carretera PE-40, Tacna 2023.</li> <li>• Determinar los valores PCI mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarios con inteligencia artificial en la carretera PE-40, Tacna 2023.</li> </ul>	<p>Pavement Condition Index – PCI, en la carretera PE-40, Tacna 2023, es deficiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La determinación del PCI mediante el procedimiento de imágenes binarios utilizando inteligencia artificial, en la carretera PE-40, Tacna 2023 es deficiente.</li> <li>• Los valores PCI determinados, mediante el comparativo de las metodologías PCI e imágenes binarias con inteligencia artificial en la carretera PE-40, Tacna 2023, son diferentes.</li> </ul>	<p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de calificación del PCI</li> <li>• Índice de regularidad del pavimento</li> <li>• Índice de Servicialidad del pavimento</li> </ul>	<p>TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <p>El estudio de investigación tomará los datos obtenidos del procesamiento en hojas de cálculo, software de ingeniería.</p> <p>INSTRUMENTOS</p> <p>La metodología de recolección será en base a la observación de los resultados obtenidos, a través de fichas; análisis de contenidos, observación y registros.</p>
--	--	--	--	---

## Resultados Obtenidos Utilizando el Formato PCI por Unidad de Muestra

		<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA</b> ESCUELA DE POSTGRADO <b>MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES</b> <b>ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	
<b>PROYECTO</b>		*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*	
<b>TRAMO:</b> UNIDAD DE MUESTREO	<b>Nº01</b> U-01ADIC	<b>CALZADA:</b> U-01ADIC	<b>COMPLETA</b> U-01ADIC
<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b> 240.00 m <sup>2</sup>		<b>FECHA:</b> 14/09/2023	
<b>PROGRESIVA INICIAL:</b> Km 0+000.00 <b>PROGRESIVA FINAL:</b> km 0+040.00 <b>ANCHO DE LA VÍA:</b> 6.00 m		<b>EVALUADOR:</b> YAPUCHURA PLATERO VICTOR	

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Fiel 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	Grietas de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Caril y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parcheo	PA	m2
12	Pulimento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)	
10	GLT	M	1.58	3.50	2.98	4.60	3.40				16.06	6.69	13.90
11	PA	H	60.00	14.25							74.25	30.94	75.48
13	BA	H	1.00								1.00	0.42	37.08
19	DA	H	148.69								148.69	61.95	72.07
<b>Total VD:</b>												198.54	

Número Máximo Admisible V.D. (m): 3.25  
 Valor deducido más alto HDV: 75.48

Nº	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	75.48	72.07	37.08	3.47				188.10	4.00	95.77
2	75.48	72.07	37.08	2.00				186.60	3.00	100.00
3	75.48	72.07	2.00	2.00				151.60	2.00	95.48
4	75.48	2.00	2.00	2.00				81.50	1.00	81.50
<b>Máx. VDC:</b>										100.0

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:** PCI=100-(MáxVDC)  
0.00

**CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI:** FALLADO



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON METODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	Nº01	<b>CALZADA:</b>	COMPLETA
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-05		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m <sup>2</sup>
<b>FECHA:</b>	14/09/2023

<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 0+160.00
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 0+200.00
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m

<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR
------------------	--------------------------

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Fiel de coodirilo	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 Camil y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parcheo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
			1	2	3	4	5	6	7			
10	GLT	L	2.56	1.85	1.40	0.85	3.40			10.06	4.19	2.99
11	PA	M	16.24							16.24	6.77	26.06
19	DA	H	213.70							213.70	89.04	77.13
											<b>Total VD:</b>	106.18

Número Máximo Admisible V.D. (m): 3.10  
 Valor deducido más alto HDV: 77.13

Nº	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
	1	2	3	4	5	6	7				
1	77.13	26.06	2.99					106.20	3.00	66.41	
2	77.13	26.06	2.00					105.20	2.00	73.50	
3	77.13	2.00	2.00					81.10	1.00	81.10	
										<b>Máx. VDC</b>	81.10

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI=100-(MáxVDC)  
18.90

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: MUJY MALO



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON METODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	Nº01	<b>CALZADA:</b>	COMPLETA
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-06ADIC		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m2
<b>FECHA:</b>	14/09/2023

<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 0+200.00
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 0+240.00
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m

<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR
------------------	--------------------------

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Fiel de coodirilo	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 Camil y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parcheo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
6	DE	H	2.40							2.40	1.00	17.00
10	GLT	L	3.94	1.85	3.73					9.52	3.97	2.77
10	GLT	M	1.60	2.84						4.44	1.85	5.04
11	PA	L	7.50							7.50	3.13	6.78
11	PA	H	41.80							41.80	17.42	63.94
13	BA	H	2.00							2.00	0.83	48.83
19	DA	H	172.34							172.34	71.81	73.94
											<b>Total VD:</b>	218.30

Número Máximo Admisible V.D. (m): **3.39**  
 Valor deducido más alto HDV: **73.94**

Nº	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
1	73.94	63.94	48.83	6.63				193.30	4.00	96.79	
2	73.94	63.94	48.83	2.00				188.70	3.00	100.00	
3	73.94	63.94	2.00	2.00				141.90	2.00	91.64	
4	73.94	2.00	2.00	2.00				79.90	1.00	79.90	
										<b>Máx. VDC</b>	<b>100.00</b>

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI=100-(MáxVDC)  
0.00

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: FALLADO





**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON METODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	<b>Nº01</b>	<b>CALZADA:</b>	<b>COMPLETA</b>
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-21		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m <sup>2</sup>
<b>FECHA:</b>	14/09/2023

<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 0+800.00
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 0+840.00
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m

<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR
------------------	--------------------------

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Piel de coodriño	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	Grietas de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Caril y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parqueo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
3	AB	L	154.80							154.80	64.50	22.99
19	DA	H	85.20							85.20	35.50	64.29
<b>Total VD:</b>											87.28	

Número Máximo Admisible V.D. (m): 4.28  
 Valor deducido más alto HDV: 64.29

Nº	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	64.29	22.99						87.30	2.00	62.38
2	64.29	2.00						66.30	1.00	66.30
<b>Máx. VDC</b>										66.30

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:

PCI=100- (MáxVDC)
33.70

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI:

MALO
------



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON METODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	<b>Nº01</b>	<b>CALZADA:</b>	<b>COMPLETA</b>
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-24ADIC		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m <sup>2</sup>
<b>FECHA:</b>	14/09/2023

<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 0+920.00
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 0+960.00
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m

<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR
------------------	--------------------------

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Fiel de codoñito	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 Camil y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parcheo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)	
10	GLT	L	1.35	1.15	2.67	0.80					5.97	2.49	1.03
10	GLT	M	8.50								8.50	3.54	9.19
11	PA	M	5.58								5.58	2.33	15.31
13	BA	H	1.00								1.00	0.42	37.08
19	DA	H	218.95								218.95	91.23	77.48
												<b>Total VD:</b>	140.09

Número Máximo Admisible V.D. (m): 3.07

Valor deducido más alto HDV: 77.48

Nº	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
1	77.48	37.08	15.31	0.64				130.50	3.00	78.80	
2	77.48	37.08	2.00	0.64				117.20	2.00	79.96	
3	77.48	2.00	2.00	0.64				82.10	1.00	82.10	
										<b>Máx. VDC</b>	<b>82.10</b>

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:

PCI=100-(MáxVDC)
17.90

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI:

MUY MALO
----------

















**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	Nº01	<b>CALZADA:</b>	COMPLETA
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-69		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m2
<b>FECHA:</b>	14/09/2023

<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	km 2+720.00
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 2+760.00
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m

<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR
------------------	--------------------------

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Piel de cocodrilo	PC	m2
2	Exudación	EX	m2
3	Agritamiento 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	Grietas de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Carril y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parcheo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)	
10	GLT	L	2.56	3.30	7.85	5.64	2.46	6.27				28.08	11.70	8.71
10	GLT	M	12.85	1.25	0.80	1.58	0.75	3.84				21.07	8.78	16.81
19	DA	H	190.85									190.85	79.52	75.41
												<b>Total VD:</b>	100.94	

Número Máximo Admisible V.D. (m): **3.26**  
 Valor deducido más alto HDV: **75.41**

Nº	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
1	75.41	16.81	8.71						100.90	3.00	63.50	
2	75.41	16.81	2.00						94.20	2.00	66.86	
3	75.41	2.00	2.00						79.40	1.00	79.40	
											<b>Máx VDC</b>	<b>79.40</b>

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:** PCI=100-(MáxVDC)  
20.60

**CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI:** MUY MALO







**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

**PROYECTO** \* EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023\*

TRAMO:	Nº01	CALZADA:	COMPLETA
UNIDAD DE MUESTREO	U-93		
PROGRESIVA INICIAL:	Km 3+680.00		
PROGRESIVA FINAL:	km 3+720.00		
ANCHO DE LA VÍA:	6.00 m		

ÁREA DE LA UNIDAD:	240.00 m2
FECHA:	14/09/2023
EVALUADOR	YAPUCHURA PLATERO VICTOR

Nº	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	Grietas 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

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)	
19	DA	H	240.00									240.00	100.00	78.80
<b>Total VD:</b>													<b>78.80</b>	

Número Máximo Admisible V.D. (m): 2.95  
 Valor deducido más alto HDV: 78.80

Nº	VALORES DEDUCIDOS										VDT	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80										78.80	1.00	78.80
<b>Máx. VDC</b>												<b>78.80</b>	

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI=100-(M&VDC)  
21.20

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: MUY MALO





**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	Nº01	<b>CALZADA:</b>	COMPLETA
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-101		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m2
<b>FECHA:</b>	14/09/2023

<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 4+000.00
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 4+040.00
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m

<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR
------------------	--------------------------

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Piel de cocodrilo	PC	m2
2	Exudación	EX	m2
3	Agritamiento 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	Grietas de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Carril y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parcheo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PUA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
19	DA	H	240.00								240.00	100.00	78.80
<b>Total VD:</b>												<b>78.80</b>	

Número Máximo Admisible V.D. (m): **2.95**  
 Valor deducido más alto HDV: **78.80**

Nº	VALORES DEDUCIDOS										VDI	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80										78.80	1.00	78.80
<b>Máx. VDC</b>												<b>78.80</b>	

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI=100-(MáxVDC)  
21.20

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: MUY MALO



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	Nº01	<b>CALZADA:</b>	COMPLETA
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-109		
<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 4+320.00		
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 4+360.00		
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m2
<b>FECHA:</b>	14/09/2023
<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR

Nº	Tipo de falla	Código	Unidad
1	Piel de coqueo/drito	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	Grietas 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

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
19	DA	H	240.00								240.00	100.00	78.80
<b>Total VD:</b>												78.80	

Número Máximo Admisible V.D. (m): 2.95  
 Valor deducido más alto HDV: 78.80

Nº	VALORES DEDUCIDOS										VDI	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80										78.80	1	78.80
<b>Máx. VDC</b>													78.80

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:** PCI=100-(MáxVDC)  
21.20

**CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI:** MUY MALO



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES**  
**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - PAVIMENTO FLEXIBLE**

<b>PROYECTO</b>	*EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES BINARIAS CON MÉTODO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CARRETERA PE-40 TACNA, 2023*
-----------------	--

<b>TRAMO:</b>	Nº01	<b>CALZADA:</b>	COMPLETA
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	U-117		
<b>PROGRESIVA INICIAL:</b>	Km 4+640.00		
<b>PROGRESIVA FINAL:</b>	km 4+680.00		
<b>ANCHO DE LA VÍA:</b>	6.00 m		

<b>ÁREA DE LA UNIDAD:</b>	240.00 m2
<b>FECHA:</b>	14/09/2023
<b>EVALUADOR</b>	YAPUCHURA PLATERO VICTOR

Nº	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	Grietas de reflexión de junta	GJ	m
9	Desnivel Cantil y Berma	DCB	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m
11	Parqueo	PA	m2
12	Pulimiento de agregados	PLA	m2

Nº	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

Nº	FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO (VD)
19	DA	H	240.00							240.00	100.00	78.80
<b>Total VD:</b>												78.80

Número Máximo Admisible V.D. (m): 2.95  
 Valor deducido más alto HDV: 78.80

Nº	VALORES DEDUCIDOS									VDI	q	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO
1	78.80									78.80	1	78.80
<b>Máx. VDC</b>												78.80





INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: PCI=100-(MáxVDC)  
21.20

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PCI: MUY MALO



*Resultados de las muestras con Ortofotos*





UNIDAD DE MUESTRA	ORTOFOTO	LONGITUD	ÍNDICE	CALIFICACIÓN
UM1		40	8	FALLADO
UM2		40	22.1	MUY MALO
UM3		40	20	MUY MALO
UM4		40	19	MUY MALO

UM5		40	20	MUY MALO
UM6		40	9	FALLADO
UM7		40	19.1	MUY MALO
UM8		40	18	MUY MALO

UM9		40	19	MUY MALO
UM10		40	18	MUY MALO
UM11		40	19	MUY MALO
UM12		40	15	MUY MALO

UM13		40	8.1	FALLADO
UM14		40	11	MUY MALO
UM15		40	20	MUY MALO
UM16		40	21	MUY MALO

UM17		40	19	MUY MALO
UM18		40	18	MUY MALO
UM19		40	19	MUY MALO
UM20		40	20	MUY MALO

UM21		40	30	MALO
UM22		40	28	MALO
UM23		40	21	MUY MALO
UM24		40	20	MUY MALO

UM25		40	20	MUY MALO
UM26		40	23	MUY MALO
UM27		40	19	MUY MALO
UM28		40	20	MUY MALO



UM29		40	18	MUY MALO
UM30		40	19	MUY MALO
UM31		40	20	MUY MALO
UM32		40	20	MUY MALO

UM33		40	19.5	MUY MALO
UM34		40	20	MUY MALO
UM35		40	21	MUY MALO
UM36		40	22	MUY MALO

UM37		40	20	MUY MALO
UM38		40	19.5	MUY MALO
UM39		40	20	MUY MALO
UM40		40	19	MUY MALO

UM41		40	20	MUY MALO
UM42		40	19	MUY MALO
UM43		40	19.5	MUY MALO
UM44		40	20	MUY MALO

UM45		40	20	MUY MALO
UM46		40	19	MUY MALO
UM47		40	20	MUY MALO
UM48		40	18	MUY MALO

UM49		40	17	MUY MALO
UM50		40	20	MUY MALO

PONDERADO 19.1 MUY MALO