

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO UTILIZANDO UN
VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN LA AVENIDA CONFRATERNIDAD DE
LA CIUDAD DE ANDAHUAYLAS**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Alex Rodas Guizado

Asesor:

Juan Pablo Zamora Beyk


Lima, Diciembre, 2025

Informe de Similitud

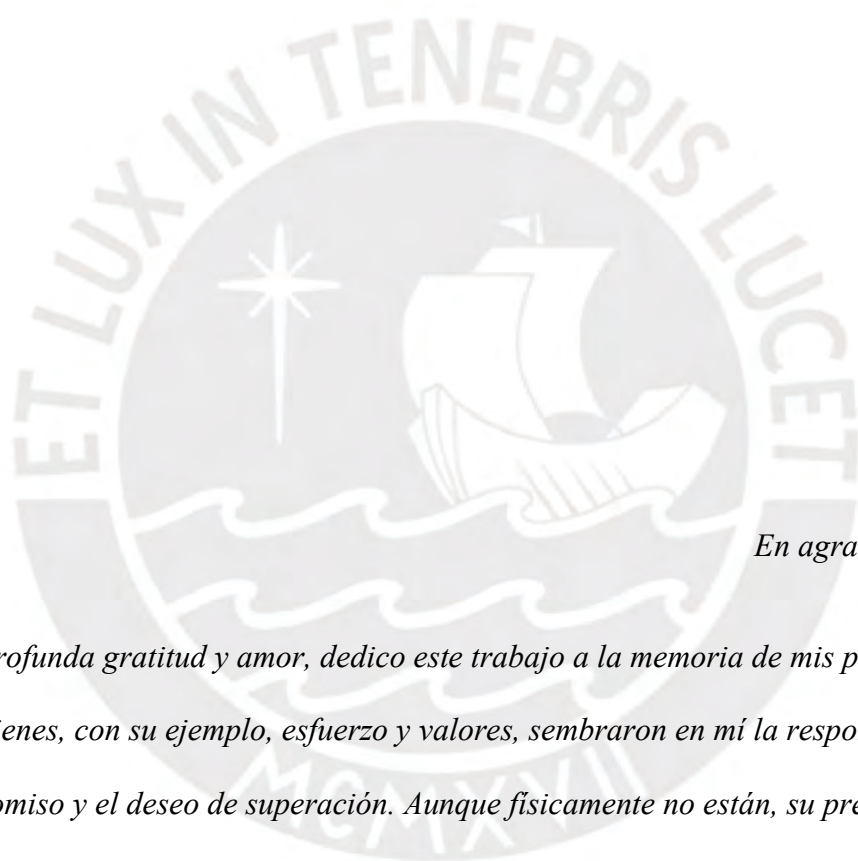
Yo, Juan Pablo Zamora Beyk, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO UTILIZANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EN LA AVENIDA CONFRATERNIDAD DE LA CIUDAD DE ANDAHUAYLAS, del autor Alex Rodas Guizado, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 19%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 06/12/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 06 de diciembre del 2025.

Apellidos y nombres del asesor: Zamora Beyk, Juan Pablo	
DNI: 42867511	Firma 
ORCID: 0000-0002-0849-6958	

Agradecimiento



En agradecimiento a:

Con profunda gratitud y amor, dedico este trabajo a la memoria de mis padres, Mauro y Rosa, quienes, con su ejemplo, esfuerzo y valores, sembraron en mí la responsabilidad, el compromiso y el deseo de superación. Aunque físicamente no están, su presencia me ha acompañado en cada momento de este camino.

A mis hermanos y hermanas, por su respaldo incondicional, su aliento constante y por estar siempre presentes cuando más los he necesitado.

También expreso mi reconocimiento a mis docentes y asesores por su guía académica y compromiso, así como a todas las personas que de alguna manera colaboraron en el desarrollo de esta tesis.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la condición superficial del pavimento flexible de la avenida Confraternidad, en la ciudad de Andahuaylas, mediante la aplicación del método *Pavement Condition Index* (PCI), utilizando imágenes obtenidas con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). Esta estrategia busca optimizar el diagnóstico técnico a través de herramientas tecnológicas que mejoren la planificación y gestión del mantenimiento vial.

La metodología consiste en seis etapas: definición del problema, revisión bibliográfica, adquisición de datos con VANT, procesamiento fotogramétrico, evaluación del pavimento mediante el PCI y análisis de alternativas de intervención. Para ello, se empleó un dron Phantom 4 Pro, obteniéndose 1996 imágenes aéreas, procesadas posteriormente en el software *Agisoft PhotoScan* para generar un ortomosaico georreferenciado. Sobre esta base, las fallas se identifican y clasifican por tipo y severidad mediante la inspección visual sistemática del ortomosaico, siguiendo los criterios establecidos por la metodología PCI. Posteriormente, se calcula el índice en 20 tramos de 50 metros cada uno.

Los resultados muestran que la mayor parte de los tramos analizados del pavimento presentan una condición regular a buena, aunque se identificaron sectores críticos que requieren atención prioritaria. El uso del VANT permite reducir significativamente los tiempos de inspección en campo, ampliar la cobertura visual y generar un registro georreferenciado del estado del pavimento, evidenciando su utilidad como herramienta complementaria al método PCI.

En conclusión, la integración de VANT con el método PCI constituye una alternativa eficaz, precisa y costo-efectiva para la evaluación técnica y la gestión sostenible del mantenimiento de pavimentos urbanos.

Palabras clave: Pavimento flexible, Índice de Condición del Pavimento (PCI), Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), Fotogrametría, Ortofoto.

Tabla de contenidos

Resumen.....	i
Tabla de contenidos	ii
Lista de figuras.....	v
Lista de tablas.....	vii
1. Capítulo I: Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.1.1. Objetivos generales.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcance y limitaciones.....	4
2. Capítulo II. Fundamento teórico.....	5
2.1. Pavimentos	5
2.1.1. Pavimento rígido	8
2.1.2. Pavimentos flexibles.....	9
2.1.3. Pavimentos semirrígidos	11
2.2. Identificación y clasificación de fallas en pavimentos flexibles.....	13
2.2.1. Importancia de identificación de fallas.....	13
2.2.2. Tipos de fallas en pavimentos flexibles	14
2.2.3. Severidad de fallas	21
2.3. Evaluación superficial de pavimentos	27

2.3.1.	Importancia y fundamentos	27
2.3.2.	Variables de evaluación.....	27
2.3.3.	Métodos de evaluación superficial.....	29
2.4.	Índice de Condición de Pavimento PCI.....	31
2.4.1.	Definición	31
2.4.2.	Proceso de evaluación	32
2.4.3.	Procedimiento de cálculo.....	36
2.5.	Vehículo Aéreo No Tripulado	40
2.5.1.	Conceptos Básicos	41
2.5.2.	Drones para levantamientos topográficos	43
2.5.3.	Aplicación del dron en la evaluación del pavimento.....	44
3.	Capítulo III. Metodología	47
4.	Capítulo IV. Caso de estudio	50
4.1.	Ubicación de la avenida Confraternidad	50
4.2.	Materiales e instrumentos usados en el análisis	51
4.3.	Levantamiento topográfico con dron de la avenida Confraternidad	52
4.4.	Obtención de fotografías aéreas.....	56
4.5.	Procesamiento de las imágenes obtenidas.....	58
4.6.	Obtención de la ortofoto	62
5.	Capítulo V. Análisis del índice de condición de pavimento PCI	63
5.1.	Unidades de muestreo	63

5.2.	Cálculo de PCI de una muestra	63
5.3.	Cálculo de los resultados finales del PCI de todos los tramos.....	71
5.4.	Interpretación de resultados	72
6.	Capítulo VI. Propuestas técnicas de rehabilitación y análisis económico	77
6.1.	Distinción de tramos según severidad de daño	77
6.2.	Propuestas de solución para cada tipo de falla.....	78
6.3.	Evaluación económica del mantenimiento	81
6.4.	Relación entre el valor del PCI y los costos de mantenimiento.....	86
6.5.	Ciclo de vida del pavimento.....	88
7.	Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones	90
	Referencias Bibliográficas.....	93
	Anexos	98
	Anexo A: Formatos de cálculo del PCI de cada tramo.....	99
	Anexo B: Planos de ortofoto y metrado de fallas Av. Confraternidad	120
	Anexo C: Análisis y evaluación de fallas.....	131

Lista de figuras

Figura 1: Distribución de cargas en el pavimento.	6
Figura 2: Capas del pavimento rígido.	8
Figura 3: Capas del pavimento flexible.	10
Figura 4: Capas del pavimento semirrígido.	12
Figura 5: Falla tipo piel de cocodrilo.	21
Figura 6: Falla tipo exudación.	21
Figura 7: Falla tipo agrietamiento en bloque.	21
Figura 8: Falla tipo abultamientos y hundimientos.	22
Figura 9: Falla tipo corrugación.	22
Figura 10: Fallas tipo depresión.	22
Figura 11: Falla tipo grieta de borde.	22
Figura 12: Falla tipo grieta de reflexión de junta.	23
Figura 13: Falla tipo desnivel carril / berma.	23
Figura 14: Fallas tipo longitudinal y transversal.	23
Figura 15: Falla tipo parcheo.	24
Figura 16: Falla tipo pulimiento de agregados.	24
Figura 17: Falla tipo hueco.	24
Figura 18: Falla tipo cruce de vía férrea.	24
Figura 19: Falla tipo ahuellamiento.	25
Figura 20: Falla tipo desplazamiento.	25
Figura 21: Falla tipo parabólica.	25
Figura 22: Falla tipo hinchamiento.	25
Figura 23: Falla tipo meteorización / desprendimiento de agregados.	26
Figura 24: Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.	33

Figura 25: Curva del Valor Deducido.....	37
Figura 26: Curva de corrección para pavimento asfáltico.	39
Figura 27: Tipos de drones.	41
Figura 28: Metodología general de la investigación.....	47
Figura 29: Plano de ubicación de la avenida Confraternidad.	50
Figura 30: Vuelo del dron.	51
Figura 31: Ubicación del tramo de estudio de la avenida Confraternidad.....	53
Figura 32: Calibración del dron Phantom 4 Pro.	54
Figura 33: Despegue del dron Phantom 4 Pro.	55
Figura 34: Ejecución del plan de vuelo del dron Phantom 4 Pro RTK.....	55
Figura 35: Procesamiento de imágenes en el programa Agisoft Photoscan.	56
Figura 36: Calibración del dron antes del despegue.	57
Figura 37: Imagen del segundo Vuelo del dron.....	58
Figura 38: Fotografías importadas en el programa Agisoft PhotoScan.....	59
Figura 39: Ortomosaico importadas en el programa Agisoft PhotoScan.	61
Figura 40: Ortomosaico importadas en el programa Agisoft PhotoScan.	62
Figura 41: Metrado de fallas Tramo 05.	64
Figura 42: Abaco de falla de piel de cocodrilo	65
Figura 43: Curva de corrección para pavimento asfáltico.	67
Figura 44: Hoja de registro.	70
Figura 45: Gráfico de variación del PCI en función de las progresivas.	72
Figura 46: Distribución porcentual de tramos según clasificación del PCI.....	73
Figura 47: Análisis del PCI en los 20 tramos.	76
Figura 48: Relación entre PCI y costos de reparación.....	87
Figura 49: Ciclo de vida de un pavimento.	88

Lista de tablas

Tabla 1: Severidad de huecos en el pavimento según su diámetro.....	18
Tabla 2: Imágenes de los tipos de fallas en pavimentos flexibles.	21
Tabla 3: Clasificación de la condición de rodadura según valores de IRI.....	30
Tabla 4: Rangos de clasificación del PCI.	32
Tabla 5: Formato longitud de la unidad de muestreo para carreteras con superficie asfáltica.	34
Tabla 6: Longitud de análisis.....	63
Tabla 7: Cálculo de valores deducidos.	66
Tabla 8: Valores deducidos corregidos.....	68
Tabla 9: Valores del PCI de cada tramo y su clasificación.....	71
Tabla 10: Metrado de fallas del tramo 1 al 10.	74
Tabla 11: Metrado de fallas del tramo 11 al 20.	74
Tabla 12: Resumen de metrado de fallas.	75
Tabla 13: Tipos de Mantenimiento.....	77
Tabla 14: Clasificación de tramos, principales fallas y mantenimiento recomendado.....	77
Tabla 15: Costos de mantenimiento rutinario y preventivo.....	82
Tabla 16: Costos de mantenimiento correctivo.	83
Tabla 17: Costos de rehabilitación de pavimento.....	84
Tabla 18: Evaluación de costos a diferentes plazos.....	85
Tabla 19: Costos de mantenimiento de cada tramo.	86

1. Capítulo I: Generalidades

1.1. Introducción

El crecimiento significativo del tránsito vehicular en los últimos años, especialmente del tránsito pesado, ha provocado un incremento en el deterioro de los pavimentos urbanos a nivel nacional. Esta problemática se refleja en bajos niveles de servicio, acelerado deterioro estructural, carencia de información actualizada sobre las condiciones reales de las vías y, en muchos casos, intervenciones de rehabilitación poco eficientes. Estas deficiencias dificultan la toma de decisiones oportunas para el mantenimiento y conservación de la infraestructura vial. Una vía representativa de esta problemática es la avenida Confraternidad, ubicada en la provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. Esta avenida evidencia un deterioro significativo en su pavimento, lo cual repercute directamente en la calidad del servicio vehicular. Ante estos problemas, es indispensable priorizar el diagnóstico de las avenidas e informar a las municipalidades competentes para que puedan establecer políticas de gestión para el mantenimiento y rehabilitación de las vías a nivel nacional.

En respuesta a estos desafíos, resulta imprescindible implementar metodologías eficaces que permitan diagnosticar el estado de los pavimentos de manera precisa y económica. Una de las técnicas más utilizadas a nivel nacional e internacional es el *Pavement Condition Index* (PCI), una metodología que se basa en la inspección visual donde se identifica la clase, severidad y cantidad de fallas presentes en la vía. Sin embargo, la metodología tradicional demanda tiempos prolongados, personal capacitado y herramientas manuales que limitan su aplicación en tramos de gran longitud.

En este contexto, el uso de tecnologías avanzadas, como los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), representa una solución innovadora. Los drones permiten la captura de imágenes aéreas de alta resolución, las cuales pueden ser procesadas con el fin de realizar

evaluaciones detalladas y rápidas del estado del pavimento. Este enfoque no solo agiliza el proceso de diagnóstico y amplía la cobertura de inspección, sino que también minimiza los costos y tiempos asociados.

El propósito de esta tesis es calcular el valor del PCI mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado. Este estudio incluye el análisis, la identificación de los tipos de falla, severidad de daños y la propuesta de soluciones técnicas y económicas para la rehabilitación de la avenida Confraternidad. Los resultados permiten generar un diagnóstico integral que sirve de base para la implementación de políticas de gestión vial más eficientes.

1.2. Justificación

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido optimizar los procesos de diagnóstico y evaluación de infraestructura vial, siendo el uso de dron una herramienta destacada por su eficiencia operativa. Estos equipos han demostrado ser altamente efectivos en tareas como levantamientos topográficos en zonas de difícil acceso, control de avance de obras, generación de ortofotos para planificación urbana y recientemente, en el análisis de fallas en pavimentos mediante imágenes de alta resolución (Cortés, 2021).

La importancia de este estudio radica en que permite aplicar nuevas tecnologías a la evaluación del estado de pavimentos urbanos, contribuyendo así a modernizar la gestión vial. Tradicionalmente, la evaluación mediante el método PCI exige inspecciones visuales directas, que implican recorridos a pie, uso de herramientas manuales y una considerable inversión de tiempo y personal, lo cual resulta poco eficiente para tramos largos o en entornos urbanos con alta circulación. Este proceso manual también está expuesto a errores humanos y riesgos operativos.

En cambio, el uso de drones en este contexto soluciona varios de estos problemas, ya que permite recolectar imágenes georreferenciadas de alta resolución en menor tiempo,

optimizando los recursos humanos y materiales, además de reducir la exposición del personal a condiciones de campo. De este modo, se obtiene una cobertura espacial más amplia y una documentación visual detallada del estado del pavimento, lo que facilita la evaluación mediante el método PCI. Asimismo, contar con información actualizada del estado de los pavimentos permite tomar decisiones oportunas respecto a intervenciones de mantenimiento o rehabilitación. Esto es crucial, ya que según Gutiérrez (2016), un mantenimiento preventivo planificado puede extender la vida útil del pavimento entre 1 y 6 años, y genera un ahorro significativo frente a los costos que implica una reconstrucción total.

En resumen, esta investigación aporta un enfoque innovador al diagnóstico vial mediante drones, ofreciendo una alternativa técnica y económica que puede ser replicada por gobiernos locales y entidades responsables del mantenimiento urbano. Además, promueve la toma de decisiones basadas en evidencia para mejorar la transitabilidad, reducir costos de intervención y aumentar la seguridad vial.

1.3. Objetivos

1.1.1. Objetivos generales

Analizar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) de la avenida Confraternidad en Andahuaylas, utilizando un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) como herramienta para evaluar su estado superficial.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar y clasificar las fallas del pavimento flexible de la avenida Confraternidad mediante imágenes obtenidas con VANT, aplicando el método PCI.
- Calcular los valores del PCI por tramos y determinar el nivel de deterioro del pavimento.

- Proponer soluciones técnicas y económicas de mantenimiento o rehabilitación, basadas en los resultados del análisis PCI.

1.4. Alcance y limitaciones

La presente investigación tiene como alcance brindar información sobre los tipos de fallas presentes en la avenida Confraternidad mediante la aplicación del método PCI. En este estudio se limita exclusivamente al análisis del pavimento flexible, empleando un dron Phantom 4 Pro para la recolección de información. Si bien la data obtenida con el dron podría utilizarse para otros fines de estudio, en este caso se usa únicamente para identificar fallas superficiales y calcular el valor del PCI.

Con respecto a las limitaciones, la avenida Confraternidad presenta un alto nivel de tráfico, lo cual dificulta la recolección de data; esto implica estar propenso a sufrir accidentes de tránsito. Otra limitante es la existencia de vegetación y quebradas de gran altura, lo cual impide el enlace entre el dron y los satélites para iniciar con el plan de vuelo. Si no se puede realizar el vuelo de manera programada, se podría volar manualmente; sin embargo, la toma de fotografías y su respectivo traslape entre imagen podría no ser la requerida para el procesamiento fotogramétrico.

2. Capítulo II. Fundamento teórico

2.1. Pavimentos

Un pavimento es una estructura diseñada para soportar cargas de tránsito y proporcionar condiciones adecuadas de seguridad y comodidad a los usuarios. Está constituida por diferentes capas; tales como: suelos naturales, materiales granulares mezclas asfálticas o concreto hidráulico, entre otros. (AASHTO, 1993); algunos necesitan de geotextiles para separar las capas. El principal objetivo de los pavimentos es facilitar el desplazamiento de personas de una manera rápida, segura, económica y confortable, siempre u cuando las vías se encuentren en condiciones adecuadas.

El diseño estructural adecuado de un pavimento urbano exige la consideración de múltiples factores interrelacionados. Entre los más relevantes se encuentran la calidad del suelo de fundación y de la subrasante, así como el tipo y volumen del tránsito proyectado durante el periodo de diseño. Asimismo, deben contemplarse la vida útil estimada del pavimento, las condiciones climáticas y de drenaje del entorno, las características geométricas de la vía y, finalmente, el tipo de pavimento a implementar según lo establecido en la Norma Técnica de Edificación NTE CE.010 Pavimentos Urbanos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

Los pavimentos deben cumplir una serie de requisitos técnicos que garanticen su desempeño estructural y funcional a lo largo de su vida útil. Según Montejo (2002), es esencial que estas estructuras posean características específicas que aseguren un comportamiento óptimo frente a las condiciones de servicio establecidas. En primer lugar, deben ser capaces de resistir las cargas impuestas por el tránsito actual, ya que una sobrecarga futura, superior a la considerada en el diseño, puede acelerar el deterioro del pavimento. En segundo lugar, deben soportar los cambios de temperatura, considerando que la diversidad climática provoca

pavimentos rígidos es más uniforme a lo largo de la sección, mientras que, en los pavimentos flexibles, la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la parte central de la sección, es decir, donde se aplica la carga que normalmente transmite el neumático de los vehículos (Huang, 2004).

Vivar (1995) destaca las ventajas y limitaciones tanto de los pavimentos rígidos como de los flexibles. Los primeros requieren una inversión inicial más elevada, pero presentan menores necesidades de mantenimiento a largo plazo. En contraste, los pavimentos flexibles tienen un costo inicial menor, aunque demandan intervenciones de conservación más frecuentes. Asimismo, los pavimentos flexibles resultan más sencillos de ejecutar, mientras que los rígidos ofrecen mayor resistencia frente a agentes químicos y combustibles. Estas diferencias también inciden en la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), dado que el tipo de pavimento influye directamente en la aparición, tipo y severidad de los deterioros observados en campo, aspecto clave para la planificación del mantenimiento vial (Montejo, 2002).

En el marco de estas tipologías, cabe señalar que además de los pavimentos rígidos y flexibles, el Manual de Carreteras del MTC (2014) reconoce al pavimento semirrígido como una alternativa intermedia. Esta solución incorpora bases estabilizadas con cemento, cal o asfalto espumado, lo que mejora la distribución de cargas y el desempeño ante tránsito pesado. Aunque en este trabajo no se analiza de manera detallada, su mención resulta pertinente para contextualizar la diversidad de alternativas consideradas en el diseño vial peruano. A fin de contextualizar el estudio, a continuación, se presenta una descripción general de los principales tipos de pavimento.

2.1.1. Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos también conocidos como “pavimentos de concreto hidráulico”, están conformados por una losa de concreto apoyada sobre capas mejoradas. Los pavimentos rígidos cuentan con tres capas principales: la losa de concreto, base y subrasante (Montejo, 2002). En la Figura 2 se muestra la distribución de las capas del pavimento.

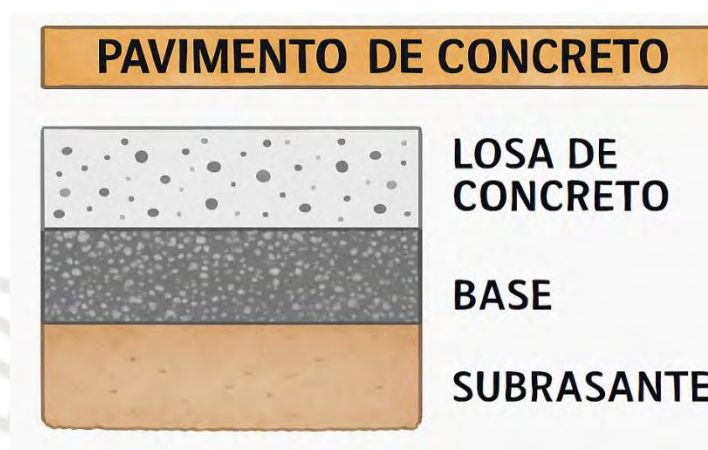


Figura 2: Capas del pavimento rígido.

Tomado de “Pavement Analysis and Design”. Huang, 2004.

A continuación, se explica la función que cumple cada estrato del pavimento rígido.

Losa de concreto: es la capa superior que se encuentra en contacto con las cargas de tráfico y la que sufre mayor desgaste. La función de la capa de rodadura es soportar y transmitir los esfuerzos hacia capas inferiores que son la base y subrasante (Vega, 2018). La losa de concreto debe ser impermeable e impedir el paso del agua al interior de la estructura del pavimento.

Base: en el pasado, la losa de concreto se solía colocar directamente sobre la subrasante, especialmente en vías con bajo volumen de tránsito. Sin embargo, cuando aumentó el tráfico y se presentaron suelos finos con altos contenidos de humedad, se evidenció el fenómeno de bombeo, proceso en el cual las cargas repetidas provocan la expulsión de agua y finos a través de las juntas. Para mitigar este problema, se incorporó la capa base, que mejora el soporte, reduce la humedad en el contacto con la losa y disminuye la ocurrencia del bombeo. La función

que cumple la base puede ser sustituida si se aumenta el espesor de la capa de concreto, debido a que se obtiene un esfuerzo similar en el concreto sin hacer uso de dicha carpeta (Vega, 2018). Las principales funciones que cumple una base granular se explican en el siguiente párrafo.

Primero, el control del bombeo, el deterioro de los pavimentos inicia por la unión de las losas y se daña por la filtración de agua que arrastra material fino. Segundo, el mejoramiento del drenaje: la capa de la base está conformada principalmente por materiales granulares; por ende, la permeabilidad aumenta, lo cual contribuye con el drenado del agua. Tercero, el control de cambios volumétricos, cuando la subrasante absorbe agua, ocasiona un abultamiento; por esta razón, se necesita un control de dicha filtración en la capa base. Por último, la facilidad de construcción, sobre la base se realiza trabajos como colocación de herramientas y materiales; por ello, es recomendable mantener la superficie limpia y seca para facilitar los trabajos de construcción (Vega, 2018).

Subrasante: corresponde al terreno natural y constituye la capa que debe garantizar la adecuada capacidad de soporte para el pavimento. Su espesor se extiende hasta una profundidad donde las cargas aplicadas por el tránsito no generen deformaciones excesivas. La calidad requerida de la subrasante depende del espesor del diseño del pavimento rígido, si este se somete a cargas excesivas, es necesario mejorar las propiedades del terreno; asimismo, es indispensable considerar la humedad presente debido a que algunos suelos sufren cambios de volumen (hinchamiento – retracción). Estos cambios provocan roturas en la carpeta de rodadura; por esta razón, se deben evitar las variaciones en la humedad del suelo, y así diseñar teniendo en cuenta la impermeabilización de la estructura (Montejo, 2002).

2.1.2. Pavimentos flexibles

El primer pavimento construido a base de pavimento flexible fue el *Pennsylvania Avenue* en Washington. Este fue realizado a partir de una mezcla caliente de cemento asfáltico con relleno mineral y arena limpia (Huang, 2004). Los pavimentos flexibles están conformados por

4 capas en su estructura que son las siguientes: carpeta asfáltica, base, sub-base y subrasante. En estas capas se distribuyen los esfuerzos de las cargas de tránsito, siendo las capas superiores soportan mayores esfuerzos, los cuales disminuyen según la profundidad.

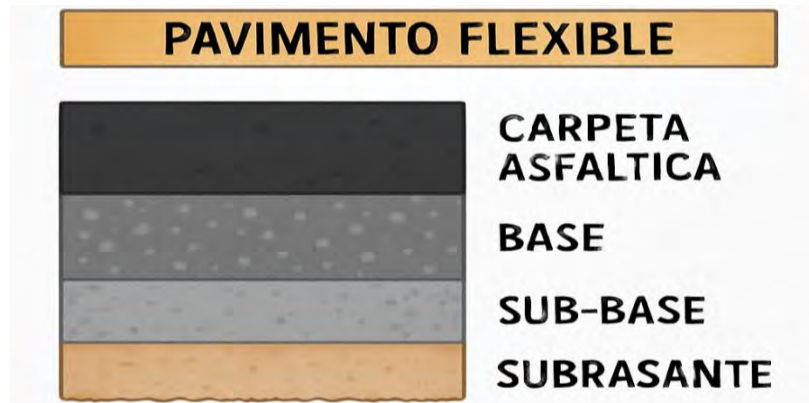


Figura 3: Capas del pavimento flexible.

Tomado de "Pavement Analysis and Design". Huang, 2004.

En la Figura 3 se muestra la distribución de las capas presentes en un pavimento flexible, para lo cual se explica sobre la función de cada una en los siguientes ítems.

Carpeta asfáltica: es la capa más costosa y está conformada por dos subcapas: *surface course* y *binder course*. La primera está hecha de hormigón asfáltico y cumple la función de impermeabilizar, además de ser resistente al deslizamiento debido al desgaste que generan los componentes de la rodadura por fricción. Esta capa se encuentra en contacto directo con las cargas transmitidas por los neumáticos y cumple con la función de resistir las deformaciones que se produzcan. La segunda capa, *binder course*, también está realizada a base de hormigón asfáltico; sin embargo, este está compuesto por materiales más grandes y tiene una menor proporción de asfalto. Esta capa se coloca, ya que el hormigón asfáltico no se puede compactar en una sola capa, es decir, es necesario compactar en dos capas. Cabe destacar que el costo del binder course es menor al surface course, ya que contiene una menor cantidad de hormigón asfáltico (Huang, 2004).

Base: es el principal componente estructural de los pavimentos flexibles y está constituida, por lo general, por material granular de alta calidad. Su función es proporcionar un material que resista y transmita los esfuerzos hacia la capa sub-base; además, se encarga de reducir las deformaciones por tracción que se presentan en la carpeta asfáltica y permite que el agua filtrada drene en el pavimento, esto mediante sistemas longitudinales.

Sub-Base: es un suelo con mayor capacidad portante en comparación al terreno compactado, se coloca con el objetivo de reducir el espesor de la capa base con el fin de aminorar costos. Al igual que la “base”, esta es una capa drenante, ya que permite que las aguas provenientes del nivel freático, aniegos, etc., se evacúen sin problema alguno. Cabe precisar que existen dos subcapas; una que impide el arrastre de finos de la subrasante hacia las capas superiores, así como retener las gravas y piedras en la base, conocida como “subrasante blanda”; y otra subcapa que es resistente y distribuye las cargas de tránsito a la subrasante (Vega, 2018).

Subrasante: es el mismo material del lugar y se utiliza como suelo de fundación para toda la estructura del pavimento. Dicha capa es nivelada, perfilada y aplanada para mejorar sus características y capacidades portantes. En algunos lugares con suelos arcillosos; por ejemplo, en la selva peruana, las propiedades físicas y/o químicas se modifican para cumplir con los requisitos de capacidad de soporte (Huang, 2004).

2.1.3. Pavimentos semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos, también denominados pavimentos con base tratada, están compuestos por una carpeta asfáltica colocada sobre una base estabilizada con cemento Portland, cal o asfalto espumado, la cual se apoya a su vez sobre una subrasante mejorada o material seleccionado. A diferencia de los pavimentos flexibles y rígidos, los semirrígidos no requieren necesariamente una subbase, ya que la rigidez de la base tratada permite una distribución más eficiente de las cargas vehiculares. Sin embargo, en proyectos donde la

subrasante presenta baja capacidad portante o cuando el diseño estructural así lo exige, se puede incorporar una subbase granular como capa adicional, tal como se muestra en la Figura 4 (MTC, 2014),

Según el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), este tipo de estructura es recomendable para vías que soportan más de 1 000 000 de ejes equivalentes (EE) y cuentan con subrasantes de buena calidad, con un CBR ≥ 20 %. La configuración de capas se presenta en la Figura 4, donde el espesor de cada estrato varía en función de la calidad de los materiales y del volumen de tránsito proyectado.



Figura 4: Capas del pavimento semirrígido.

Adaptado de “Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones” (MTC, 2014).

A continuación, se detallan las funciones principales de cada componente estructural del pavimento semirrígido:

Carpeta asfáltica: constituye la capa superficial encargada de proteger la estructura frente a la penetración de agua, además de ofrecer una superficie de rodadura segura, uniforme y resistente al desgaste provocado por el tránsito vehicular.

Base tratada: actúa como elemento estructural clave, aportando rigidez al sistema, facilitando la distribución eficiente de las cargas hacia las capas inferiores y reforzando la capacidad portante del conjunto. El MTC (2014) establece coeficientes estructurales mínimos

según el tipo de tratamiento: 0.070/cm para cemento, 0.080/cm para cal y 0.115/cm para asfalto espumado.

Sub-Base: corresponde a la capa intermedia ubicada entre la base tratada y la subrasante, la cual no es obligatoria en todos los pavimentos semirrígidos. Sin embargo, cuando el diseño lo requiere, esta capa cumple funciones importantes, como distribuir de manera más uniforme las cargas provenientes de las capas superiores hacia el terreno natural. Asimismo, contribuye al incremento de la capacidad estructural del sistema, ya que proporciona soporte adicional y reduce la presión directa sobre la subrasante.

Subrasante: corresponde al terreno natural que sirve de apoyo a la estructura del pavimento. Su calidad influye directamente en el comportamiento mecánico de la vía; por ello, en presencia de suelos con baja resistencia o alta expansividad, se recomienda aplicar técnicas de estabilización para mejorar su desempeño.

La clasificación previamente expuesta permite comprender las características fundamentales y funciones estructurales de los distintos tipos de pavimento utilizados en infraestructura vial.

En el contexto de la presente investigación, se enfatiza el análisis de los pavimentos flexibles, dado que la vía evaluada corresponde a esta tipología. En ese sentido, el siguiente capítulo aborda los tipos de falla que afectan este tipo de superficie.

2.2. Identificación y clasificación de fallas en pavimentos flexibles

2.2.1. Importancia de identificación de fallas

La identificación de fallas en pavimentos flexibles representa un paso esencial dentro del proceso de diagnóstico de la infraestructura vial. A través de una detección precisa, es posible no solo valorar el estado superficial del pavimento, sino también estimar el nivel de deterioro y definir con mayor claridad las acciones necesarias para su mantenimiento o rehabilitación.

Estas manifestaciones de daño pueden adoptar múltiples formas sobre la carpeta asfáltica y suelen estar asociadas tanto a causas funcionales y estructurales, relacionadas con la magnitud y repetición del tránsito vehicular o con deficiencias en la ejecución constructiva, como a factores ambientales, entre los que destacan las variaciones térmicas, la humedad y un sistema de drenaje inadecuado.

2.2.2. Tipos de fallas en pavimentos flexibles

Se desarrollan los 19 tipos de fallas presentes en pavimentos flexibles

A. Piel de cocodrilo

La falla piel de cocodrilo también se conoce como “agrietamiento por fatiga”, hace referencia a un conjunto de fisuras interconectadas causadas por las repeticiones de carga o tráfico. Las grietas tienen forma de polígonos irregulares y de hasta medio metro de largo, se ubican en lugares sujetos a las sollicitaciones de tránsito (en las huellas que demarcan los neumáticos de los vehículos) (MTC, 2018).

B. Exudación

La exudación se presenta en la superficie del asfalto, se evidencia una capa de material bituminoso visible. El área adquiere un aspecto brillante, resbaladizo y reflectante que, generalmente, llega a ser pegajoso en climas cálidos. La exudación es causada por diversos factores como: uso de cantidades excesivas de cemento asfáltico, uso de sello bituminoso en alto porcentaje, mínimos porcentajes de vacíos, etc. Esta falla se evidencia en condiciones climáticas cálidas, el asfalto se llena en los vacíos y se expande sobre la superficie del pavimento (Vergara, 2015).

C. Agrietamiento en bloque

Las fisuras en bloque se evidencian en fisuras rectangulares interconectadas de diversas dimensiones, desde aproximadamente 0.30 x 0.30 m hasta 3.00 x 3.00 m. A diferencia de la

falla piel de cocodrilo, el agrietamiento en bloque no ocurre debido a las cargas de tránsito, sino a la contracción del concreto asfáltico y los cambios de temperatura (Medina & De La Cruz ,2015).

D. Abultamientos (BUMPS) y Hundimientos (SAGS)

En estos tipos de falla existen desplazamientos verticales, en ambos sentidos, localizados en la superficie asfáltica (cabe precisar que son mínimos). Estas deformaciones se forman por levantamientos de la carpeta, principalmente, por los siguientes motivos: expansión o congelación de la carpeta asfáltica, infiltración o acumulación de material en una fisura del pavimento, expansión del suelo de fundación, deficiencias en el drenaje del paquete estructural del pavimento, entre otros factores. Cuando las protuberancias se ubican de manera perpendicular al sentido del tránsito y se encuentran separadas por menos de 3 metros, se identifican como “corrugaciones”. Por el contrario, si aparecen de forma desordenada en amplias zonas del pavimento, generando depresiones extensas y pronunciadas, se les denomina “hinchamientos” (Rodríguez, 2009).

E. Corrugación

La corrugación, también denominada, “arqueamiento de tabla de lavado”, se caracteriza por una sucesión de ondulaciones compuesta por cimas y depresiones que se encuentran muy próximas entre sí. Además, dichas ondulaciones presentan separaciones menores a los tres metros a lo largo de la superficie del pavimento (Vásquez, 2002). Cabe precisar que las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito debido principalmente a la interacción entre el tránsito vehicular y la falta de estabilidad de las capas superficiales o de la base del pavimento.

F. Depresión

En las fallas de depresión, se observan áreas localizadas con niveles de elevación menores a los bordes del pavimento. Estas son evidenciadas por las precipitaciones debido a la acumulación de agua sobre estas superficies; además, se pueden observar manchas causadas

por esta acumulación. Las depresiones de la carpeta asfáltica se generan por el hundimiento de la subrasante o como resultado de ineficientes procesos constructivos. El resultado de esta falla es generar rugosidad en la superficie de la pista, y cuando tienen una profundidad considerable, pueden hacer que los neumáticos de un vehículo pierdan contacto con el pavimento (Robles, 2015).

G. Grieta de borde

Las grietas de borde tienen la misma dirección longitudinal que la arista externa del pavimento, se encuentran ubicadas a una distancia de treinta y sesenta centímetros de la parte externa del asfalto. El pavimento puede sufrir grietas de borde en caso que aumenten las cargas de tránsito. Otro factor de debilitamiento son las condiciones climáticas en las capas internas de la base y subrasante cuando ésta sufre congelamiento en lugares próximos al borde de las aristas del pavimento (Fiestas & Merino, 2018).

H. Grieta de reflexión de junta

Este tipo de falla solo se manifiesta en pavimentos con superficie asfáltica que fueron construidos arriba en un concreto cemento portland. La falla se manifiesta cuando los bloques de concreto empiezan a separarse una de la otra por diferentes factores, una de ellas es la temperatura o la humedad. Las cargas ejercidas por los neumáticos no son motivo de la separación; sin embargo, a veces causan rotura en el cemento portland muy próximo a la grieta (MOPC,2016).

I. Desnivel carril / berma

Esta falla se evidencia en el desnivel entre el borde del carril y la berma, existe una diferencia de elevación, esto se produce a causa de la erosión de la berma según transcurre el tiempo; además, ocurre asentamientos o la colocación de nuevas carpetas en la calzada en desnivel de la berma (Fiestas & Merino, 2018).

J. Grietas longitudinales y transversales

Las fisuras longitudinales son grietas paralelas al eje de la vía, que ocurren en líneas casi rectas. Las grietas transversales, en cambio, son perpendiculares al eje central de la vía. Estas fallas no son provocadas por la cantidad y peso vehicular, sino por otros factores como juntas en construcciones pobremente construidas, contracción y expansión del pavimento por cambios de temperatura, fisuras de reflexión causadas por agrietamientos bajo la carga superficial, uso de ligantes de baja calidad, entre otros (Robles, 2015).

K. Parcheo y acometidas de servicios públicos

Los parcheos se colocan en hoyos y fisuras de gran magnitud que fueron reparados con material nuevo. En las instalaciones de cables eléctricos, tuberías de agua y desagüe se realizan cortes que deben ser reparados con parches. Si se coloca el concreto buscando un comportamiento similar a la del pavimento original, no se obtendrá una uniformidad deseada, usualmente, existe una rugosidad asociada a esta falla (Carpio, 2017).

L. Pulimiento de agregados

En el agregado pulido, la carpeta asfáltica sufre desgaste progresivo; lo que genera una pérdida de fricción entre los neumáticos y la superficie del pavimento. Como resultado, la zona afectada se vuelve resbaladiza, brillante y suave al tacto. La causa principal son las repeticiones de tránsito vehicular, que producen el desgaste de la microtextura superficial. Otros factores contribuyentes son: la insuficiente proporción de agregado extendida en la mezcla asfáltica, inexistente aspereza y textura del pavimento, poca contribución de la textura del pavimento, entre otros (Terrones & Carmen, 2020).

M. Huecos

Son hoyos presentes en la superficie de la vía; los agujeros con diámetros menores a 0.90 metros, usualmente, se consideran como fallas tipo hueco para el análisis del PCI. Una de las

principales causas son los esfuerzos excesivos transmitidos por los neumáticos, los cuales desprenden pequeños pedazos de la superficie del pavimento. Otra causa de la desintegración del asfalto es el uso de insumos de mala calidad en el proceso constructivo. Las fallas de piel de cocodrilo con severidad alta, se convierten en huecos debido a que existen desprendimientos del asfalto. Según Vázquez, los huecos se clasifican en tres niveles según su severidad: baja (*L low*), media (*M medium*) y alta (*H high*) y dependen de las dimensiones del hueco.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la severidad según el diámetro de los huecos:

Tabla 1: Severidad de huecos en el pavimento según su diámetro.

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
>25.4 a 50.8mm	L	M	H
>50.8mm	M	M	H

Nota: Fuente (Vázquez, 2002).

N. Cruce de vía férrea

En ciertos sectores donde circulan trenes, se presentan cruces sobre la vía férrea, lo que genera defectos relacionados con otras fallas, tales como hundimientos o elevaciones en las áreas cercanas o entre los rieles (Vázquez, 2002).

O. Ahuellamiento

El ahuellamiento presenta una concavidad longitudinal continua al área del paso del neumático, se genera por el hundimiento de las capas internas del pavimento, principalmente, de la subrasante. Esta falla es causada por una compactación deficiente del paquete estructural en el proceso constructivo, lo que origina una consolidación y movimiento lateral de los materiales por los esfuerzos producidos por los vehículos. Los ahuellamientos severos provocan fallas estructurales de consideración, las cuales son de difícil reparación y con costos elevados. (Carpio, 2017).

P. Desplazamiento

Los desplazamientos ocurren cuando las mezclas estructurales sufren traslaciones debido a la falta de adherencia entre los materiales. También se puede explicar cómo corrimientos longitudinales en un área determinada y son permanentes. La causa principal son los esfuerzos producidos provenientes del tránsito vehicular, los cuales impulsan contra la carpeta asfáltica produciendo una onda corta y brusca en la superficie del pavimento (Vergara, 2015).

Q. Grietas parabólicas

Las fisuras parabólicas son grietas que tienen una forma curvilínea, como si la porción central de la fisura sufriera mayor desplazamiento que los laterales. Por lo general, la dirección de dichas fallas se presenta en forma transversal a la dirección del tránsito. Una de las causas es el frenado repentino de los vehículos, esto provoca fisuras por la fuerza de fricción entre las ruedas y el pavimento; en estas fallas la calidad de la carpeta asfáltica es mala, ya que no soportan la acción de frenado de las ruedas. Otra razón es la mala adherencia entre la subbase y la carpeta asfáltica del pavimento (MTC, 2018).

R. Hinchamiento

El hinchamiento es un abultamiento que se reconoce por tener un pandeo vertical hacia arriba de la superficie del asfalto, la falla se evidencia en forma de onda larga abrupta, pronunciada y gradual con una longitud mayor de tres metros (Cruz, 2018). El hinchamiento puede tener fisuras y agrietamientos superficiales, el principal motivo de esta falla son las condiciones climáticas como congelamiento, y están presentes en suelos arcillosos.

S. Desprendimiento de agregados

La superficie del pavimento sufre un desgaste gradual del ligante asfáltico, esto ocurre a causa de la desintegración y material fino de la carpeta asfáltica. Mientras el matic (ligante más fino) se desprende. Existen dos razones para que ocurra dicho pobre, o se ha endurecido el




ligante asfáltico, o sus componentes son están mal dosificados y de baja calidad. Además, existen otras razones para el desprendimiento, como el tránsito de maquinarias pesadas tipo orugas. También se considera como desprendimiento cuando existe una pérdida de agregados al verter aceites en el asfalto (Vásquez, 2002).










2.2.3. Severidad de fallas





La Tabla 2 muestra las 19 fallas en pavimentos flexibles, clasificadas por tres niveles de severidad: L (*Low*-Baja) para daños incipientes, M (*Medium*-Media) para afectaciones moderadas, y H (*High*-Alta) para deterioros severos que comprometen la funcionalidad y seguridad vial.





Tabla 2: Imágenes de los tipos de fallas en pavimentos flexibles.

TIPO DE FALLA	IMAGEN REFERENCIAL	NIVELES DE SEVERIDAD
<p>Nº1 Piel de cocodrilo</p>	 <p>Figura 5: Falla tipo piel de cocodrilo. Fuente propia.</p>	<p>L: Grietas finas longitudinales y paralelas sin fractura estructural M: Fisuras menores a 5 mm con polígonos pequeños y angulosos. H: Polígonos definidos, bordes descascarados y desplazamientos bajo carga.</p>
<p>Nº2 Exudación</p>	 <p>Figura 6: Falla tipo exudación. <i>Tomado de "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla". Rodríguez, 2009.</i></p>	<p>L: Coloración tenue, ligera migración del ligante. M: Asfalto pegajoso, adherencia en clima cálido. H: Acumulación visible, superficie húmeda y adhesiva incluso en clima frío.</p>
<p>Nº3 Agrietamiento en bloque</p>	 <p>Figura 7: Falla tipo agrietamiento en bloque. Fuente propia.</p>	<p>L: Fisuras longitudinales y transversales predominantes en los bloques M: Fisuras más severas, con mayor apertura y continuidad. H: Grietas pronunciadas y extensas, visibles en toda la superficie afectada.</p>

TIPO DE FALLA	IMAGEN REFERENCIAL	NIVELES DE SEVERIDAD
<p>N°4 Abultamientos (BUMPS) y Hundimientos (SAGS)</p>	 <p>Figura 8: Falla tipo abultamientos y hundimientos.</p> <p>Tomado de “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla”. Rodríguez, 2009.</p>	<p>L: Leves ondulaciones o depresiones que no afectan significativamente la calidad de tránsito.</p> <p>M: Deformaciones moderadas con impacto perceptible en el confort de circulación.</p> <p>H: Protuberancias o hundimientos pronunciados que comprometen la seguridad y funcionalidad de la vía.</p>
<p>N°5 Corrugación</p>	 <p>Figura 9: Falla tipo corrugación.</p> <p>Tomado de “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco - Piura usando drones”. Fiestas & Merino, 2018.</p>	<p>L: Ondulaciones leves, perceptibles, pero sin afectar la funcionalidad.</p> <p>M: Cimas más marcadas, afectan el confort y estabilidad en la conducción.</p> <p>H: Ondulaciones severas, comprometen la seguridad y requieren intervención.</p>
<p>N°6 Depresión</p>	 <p>Figura 10: Fallas tipo depresión.</p> <p>Tomado de “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco - Piura usando drones”. Fiestas & Merino, 2018.</p>	<p>L: Depresiones de 13 a 25 mm, sin afectar la estabilidad del vehículo.</p> <p>M: Depresiones entre 25 y 50 mm, generan incomodidad al transitar.</p> <p>H: Depresiones > 50 mm, riesgo de pérdida de contacto neumático-pavimento</p>
<p>N°7 Grieta de borde</p>	 <p>Figura 11: Falla tipo grieta de borde.</p> <p>Fuente propia.</p>	<p>L: Fisuramiento sin desprendimiento ni fragmentación.</p> <p>M: Presencia de fisuras con deterioro parcial del borde.</p> <p>H: Fragmentación extensa a lo largo del borde del pavimento</p>

TIPO DE FALLA	IMAGEN REFERENCIAL	NIVELES DE SEVERIDAD
<p>N°8 Grieta de reflexión de junta</p>	 <p>Figura 12: Falla tipo grieta de reflexión de junta. Tomado de "Concrete Pavement Distress Assessments and Solutions". Ayers et al., 2018.</p>	<p>L: Grieta con ancho < 10 mm o de cualquier ancho con material de relleno en buen estado. M: Grieta sin relleno entre 10 mm y 76 mm, o > 76 mm con fisuras aleatorias leves en su entorno. H: Grieta > 76 mm sin relleno, o con pavimento fracturado severamente alrededor.</p>
<p>N°9 Desnivel carril / berma</p>	 <p>Figura 13: Falla tipo desnivel carril / berma. Tomado de "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco - Piura usando drones". Fiestas & Merino, 2018.</p>	<p>L: Diferencia de elevación entre 25 y 50 mm. M: Diferencia entre 50 y 100 mm. H: Diferencia superior a 100 mm</p>
<p>N°10 Grietas longitudinales y transversales</p>	 <p>Figura 14: Fallas tipo longitudinal y transversal. Fuente propia.</p>	<p>L: Grietas sin relleno con ancho < 10 mm. M: Grietas entre 10 y 76 mm de ancho. H: Grietas > 76 mm de ancho.</p>

TIPO DE FALLA	IMAGEN REFERENCIAL	NIVELES DE SEVERIDAD
<p>N°11 Parcheo y acometidas de servicios públicos</p>	 <p>Figura 15: Falla tipo parcheo. Fuente propia.</p>	<p>L: Parche en buen estado, similar al pavimento original, sin afectación al tránsito. M: Parche parcialmente deteriorado, genera molestias en la circulación. H: Parche completamente dañado, requiere renovación total para restablecer funcionalidad.</p>
<p>N°12 Pulimiento de agregados</p>	 <p>Figura 16: Falla tipo pulimiento de agregados. Fuente propia.</p>	<p>Causado por tránsito repetitivo, insuficiente agregado superficial, o escasa textura del pavimento. No se clasifican niveles de severidad; se registra si el pulimiento es visible y perceptible al tacto.</p>
<p>N°13 Huecos</p>	 <p>Figura 17: Falla tipo hueco. Fuente propia.</p>	<p>L: Diámetro ≤ 457 mm y profundidad ≤ 50.8 mm M: Diámetro ≤ 457 mm y profundidad > 50.8 mm, o diámetro entre 457 y 762 mm con profundidad ≤ 50.8 mm H: Diámetro ≥ 457 mm y profundidad > 50.8 mm</p>
<p>N°14 Cruce de vía férrea</p>	 <p>Figura 18: Falla tipo cruce de vía férrea. Tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018.</p>	<p>L: Cruzamiento no afecta la calidad de tránsito ni genera deformaciones significativas. M: Hundimientos o elevaciones moderadas que provocan incomodidad al circular. H: Deformaciones pronunciadas que comprometen la seguridad o estabilidad vehicular.</p>

TIPO DE FALLA	IMAGEN REFERENCIAL	NIVELES DE SEVERIDAD
<p>N°15 Ahuellamiento</p>	 <p>Figura 19: Falla tipo ahuellamiento. Fuente propia.</p>	<p>L: Profundidad entre 6 y 13 mm. M: Profundidad entre 13 y 25 mm. H: Profundidad superior a 25 mm.</p>
<p>N°16 Desplazamiento</p>	 <p>Figura 20: Falla tipo desplazamiento. Tomado de "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco - Piura usando drones". Fiestas & Merino, 2018.</p>	<p>L: Desplazamientos mínimos pero visibles, sin afectación funcional. M: Desplazamientos medibles, generan incomodidad en la conducción. H: Desplazamientos severos, afectan la calidad de tránsito y obligan a reducir la velocidad.</p>
<p>N°17 Grietas parabólicas</p>	 <p>Figura 21: Falla tipo parabólica. Fuente propia.</p>	<p>L: Ancho < 10 mm. M: Ancho entre 10 y 40 mm. H: Ancho > 40 mm.</p>
<p>N°18 Hinchamiento</p>	 <p>Figura 22: Falla tipo hinchamiento. Fuente propia.</p>	<p>L: Onda leve, difícil de detectar visualmente, perceptible al conducir a velocidad constante. M: Deformación visible que afecta la calidad del tránsito. H: Deformación severa, con impacto notable en la funcionalidad vial.</p>

TIPO DE FALLA	IMAGEN REFERENCIAL	NIVELES DE SEVERIDAD
<p>N°19 Desprendimiento de agregados</p>	 <p>Figura 23: Falla tipo meteorización / desprendimiento de agregados.</p> <p>Fuente propia.</p>	<p>L: Inicio de pérdida de ligante o agregados; superficie dura ante contacto con moneda. M: Pérdida moderada; textura rugosa y ahuecada; superficie suave y penetrable con moneda. H: Pérdida considerable; superficie muy rugosa, severamente ahuecada; agregado suelto por debilitamiento del ligante.</p>

Nota: Fuente propia.

La identificación precisa de las 19 fallas que afectan a los pavimentos flexibles es fundamental para una evaluación técnica de su condición. Este proceso permite fortalecer el análisis del PCI y orientar la toma de decisiones con mayor precisión. En el siguiente capítulo se aborda la evaluación superficial del pavimento, detallando los métodos y procedimientos aplicados para diagnosticar su estado funcional y definir las intervenciones más pertinentes.

2.3. Evaluación superficial de pavimentos

2.3.1. Importancia y fundamentos

La evaluación superficial de pavimentos flexibles constituye un procedimiento técnico esencial para determinar el estado actual de la estructura vial, identificar posibles deficiencias y planificar intervenciones de mantenimiento oportunas. Según lo indicado por Thenoux (1995), este proceso debe considerar dos aspectos fundamentales que inciden directamente en el desempeño del pavimento: el nivel de servicio al usuario y la capacidad estructural.

El nivel de servicio al usuario se vincula con la comodidad, seguridad y eficiencia que ofrece el pavimento tanto a vehículos como a peatones. Por su parte, la capacidad estructural se refiere a la habilidad del pavimento para resistir las cargas aplicadas a lo largo de su vida útil, sin comprometer su integridad ni funcionalidad (Salas, 2025).

La evaluación funcional del pavimento tiene como propósito identificar las deficiencias presentes en la superficie de rodadura, las cuales inciden directamente en la serviciabilidad, la seguridad vial y los costos operativos para el usuario. De no ser detectadas oportunamente, estas deficiencias pueden evolucionar hacia deterioros estructurales significativos, lo que conlleva un aumento en la necesidad de intervenciones mayores (Thenoux, 1995).

2.3.2. Variables de evaluación

Las principales variables consideradas en la evaluación de la condición superficial del pavimento comprenden la rugosidad, las fallas superficiales visibles y la pérdida de fricción, cada una con implicaciones directas en el rendimiento funcional y estructural de la vía.

La rugosidad hace referencia a las irregularidades longitudinales y transversales que presenta la superficie del pavimento. Estas irregularidades afectan el confort del usuario, generan vibraciones indeseadas en el vehículo y provocan cargas dinámicas adicionales que

impactan negativamente sobre la estructura del pavimento. Para su evaluación, se emplean diversos métodos, entre los que destacan:

- PSR (*Present Serviceability Rating*): método subjetivo basado en la apreciación de observadores capacitados.

- PSI (*Present Serviceability Index*): índice que integra rugosidad, presencia de fallas visibles y grado de ahuellamiento.

- IRI (*International Roughness Index*): parámetro objetivo recomendado por el Banco Mundial y ampliamente utilizado en modelos de gestión como el HDM-III. Este índice se expresa en m/km y se determina mediante equipos especializados como el perfilómetro láser, el *Mays Meter* y el sistema *MERLIN* (Thenoux, 1995).

Las fallas superficiales comprenden los deterioros que pueden ser identificados mediante inspección visual sin requerir el uso de equipamiento complejo. Estas fallas deben clasificarse según su tipo, severidad y extensión, dado que constituyen un indicador relevante del grado de desgaste funcional del pavimento. Entre las más representativas se encuentran:

- Grietas (transversales, longitudinales y en bloque).
- Ahuellamientos y presencia de baches.
- Exudación de ligantes asfálticos, fisuras en los bordes y pérdida de agregados.

La recopilación de estos datos se realiza habitualmente mediante fichas técnicas de inspección, como las utilizadas en la metodología PCI (Thenoux, 1995).

La fricción entre los neumáticos de los vehículos y la superficie del pavimento es un factor crítico para preservar la seguridad vial, especialmente en zonas donde se requiere mayor adherencia, como en frenados de emergencia, curvas pronunciadas y pendientes. La reducción de la fricción puede derivarse del desgaste superficial, presencia de contaminantes o pérdida de textura, lo que puede provocar:

- Mayor riesgo de deslizamientos.
- Reducción en la capacidad de frenado.
- Incremento del rociado de agua (spray) en condiciones húmedas.

Para cuantificar esta variable se utilizan ensayos específicos, tales como el péndulo británico, la prueba de mancha de arena y dispositivos como el *Mu-Meter*, aplicables principalmente en contextos urbanos exigentes o superficies aeroportuarias (Thenoux, 1995).

2.3.3. Métodos de evaluación superficial

La evaluación funcional del pavimento puede llevarse a cabo mediante diversos métodos, cuya elección está condicionada por varios factores técnicos y operativos. Entre ellos se incluyen el tipo de vía, la disponibilidad de equipos especializados, las restricciones presupuestarias y el nivel de precisión exigido por el estudio.

Con base en estos criterios, a continuación, se describen los principales enfoques utilizados en la evaluación superficial de pavimentos, los cuales permiten caracterizar su condición funcional y orientar las decisiones de mantenimiento y rehabilitación.

El PCI (*Pavement Condition Index*) es un indicador técnico que permite evaluar la condición superficial del pavimento a través de inspecciones visuales sistemáticas, mediante la identificación, clasificación y cuantificación de fallas según su tipo, severidad y extensión. En el apartado 2.4 se desarrolla en detalle el método PCI, dado que constituye la herramienta principal de evaluación empleada en la presente investigación.

El IRI (*International Roughness Index*) mide la rugosidad longitudinal del pavimento, expresada en metros por kilómetro (m/km), y guarda una relación directa con el confort del usuario durante la conducción. Reconocido como un estándar internacional, ha sido adoptado por instituciones como el Banco Mundial. Para su obtención se emplean dispositivos como el *Roughometer III*, que registra las irregularidades presentes en el perfil longitudinal de la vía.

Salas (2025) señala que el equipo *Roughometer III* es un dispositivo portátil y de operación sencilla que permite obtener valores confiables de IRI, siendo ideal para vías rurales o con acceso limitado a tecnología avanzada. En la siguiente tabla se muestra la condición de rodadura según el valor de IRI obtenido.

Tabla 3: Clasificación de la condición de rodadura según valores de IRI.

IRI (m/km)	Condición de Rodadura	Nivel de Servicio
0 – 1.5	Muy buena	Alta
1.6 – 2.5	Buena	Media
2.6 – 3.5	Regular	Media-baja
> 3.5	Deficiente	Baja

Nota: Tomado de “Manual de Gestión de Pavimentos en Redes Viales”. MTC, 2018.

El método **VIZIR**, desarrollado en Francia, combina una inspección visual sistematizada con una ficha estructurada para el registro de fallas. Clasifica la condición superficial del pavimento en categorías cualitativas mediante códigos estandarizados, permitiendo así evaluaciones ágiles en redes viales extensas. Aunque su precisión es menor en comparación con el PCI, resulta especialmente útil en contextos de mantenimiento preventivo y rutinas de conservación (Thenoux, 1995).

Adicionalmente, existen herramientas que complementan los métodos de evaluación superficial:

- Modelo del Cuarto de Carro (*Quarter Car Model*): simula el comportamiento dinámico de un vehículo al transitar sobre irregularidades del pavimento.
- Escala de Rugosidad y Eventos Singulares: permite identificar zonas específicas con deformaciones atípicas o anomalías críticas.
- Puntos Críticos: facilita la priorización de intervenciones en sectores estratégicos por razones funcionales o de seguridad.

Con el objetivo de establecer un diagnóstico técnico confiable sobre el estado superficial de los pavimentos analizados, se ha seleccionado el método PCI como herramienta principal

de evaluación funcional. Este enfoque permite sistematizar la inspección de fallas visibles en la superficie de rodadura, brindando resultados cuantificables que facilitan la toma de decisiones en materia de mantenimiento vial. A continuación, se presenta el desarrollo completo del método PCI, abordando su fundamentación teórica, procedimiento tradicional y su adaptación con tecnologías modernas como el VANT.

2.4. Índice de Condición de Pavimento PCI

2.4.1. Definición

El PCI se enfoca en la inspección visual de fallas presentes en un pavimento. Constituye una metodología basada en modelos de gestión vial, donde no requiere de herramientas especializadas en su ejecución; es sencilla, objetiva y muy completa. Este método evalúa y determina el estado de los pavimentos rígidos y flexibles. El PCI fue elaborado con el objetivo de aportar un valor cuantitativo al estado superficial funcional del pavimento, de manera que sea posible estimar su nivel de deterioro y conocer la condición operativa de la vía. La metodología determina el deterioro superficial a partir del análisis de tres variables: el tipo de falla, su severidad y la extensión que presenta (Zafar et al., 2019).

Según Vásquez (2002) el PCI se evalúa en un rango de 0 a 100, donde cien representa a un pavimento en perfectas condiciones y cero es un pavimento completamente deteriorado o afectado. El siguiente cuadro muestra los rangos de PCI indicados en la norma ASTM D6433. La clasificación del PCI no solo permite cuantificar la condición funcional del pavimento, sino que también orienta la planificación de intervenciones adecuadas, ya sea mantenimiento rutinario, mantenimiento preventivo, rehabilitación parcial o reconstrucción.

Tabla 4: Rangos de clasificación del PCI.

RANGO	CLASIFICACIÓN	INTERVENCIÓN
100 - 85	Excelente	Mantenimiento
85 - 70	Muy bueno	Mantenimiento
70 - 55	Bueno	Rehabilitación
55 - 40	Regular	Rehabilitación
40 - 25	Malo	Rehabilitación
25 - 10.	Muy Malo	Construcción
10 - 0	Fallado	Construcción

Nota: Tomado de “*Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*”. ASTM-D6433, 2007.

El objetivo del PCI es cuantificar la condición superficial funcional del pavimento. Cabe resaltar que el PCI no mide la capacidad estructural del pavimento ni proporciona una determinación directa de su resistencia; únicamente refleja es estado observable de sus componentes superficiales conforme a lo establecido por la norma ASTM-D6433 (2007). La información presentada en los anexos permite validar la trazabilidad de los cálculos del PCI y confirma la concentración de deterioros en intersecciones y zonas de maniobra, por lo que estos puntos deben priorizarse, mientras el resto de la vía puede controlarse con acciones rutinarias y preventivas fricción o la rugosidad general (ASTM-D6433, 2007).

2.4.2. Proceso de evaluación

Para calcular el valor del PCI es necesario realizar trabajos en campo y gabinete. En campo se determinan los tipos de fallas, su severidad y la extensión que presentan; esta etapa corresponde a la identificación y registro de dichas variables. En esta investigación, las variables asociadas a las fallas son analizadas en gabinete, dado que la recolección de información se realizó mediante imágenes captadas con drones. La data obtenida se sistematiza en formatos y tablas apropiadas para este fin. A continuación, se presenta la Figura 24, que muestra el formato de diagnóstico empleado en pavimentos asfálticos. Dado que en esta investigación se evalúa un pavimento flexible, se utiliza únicamente el formato correspondiente.

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO			ESQUEMA		
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m ²)			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
INSPECCIONADA POR		FECHA			
<input type="text"/>		<input type="text"/>			
No.	Daño	No.	Daño		
1	Piel de cocodrilo.	11	Parqueo.		
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.		
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.		
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.		
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.		
6	Depresión.	16	Desplazamiento.		
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)		
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.		
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.		
10	Grietas long y transversal.				
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Valor deducido

Figura 24: Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.

Tomado de “*Pavement Condition Index (Pci) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras*” Vásquez, 2002.

A continuación, se detalla el proceso técnico seguido para calcular el Índice de Condición del Pavimento, conforme a criterios normativos y operativos establecidos para pavimentos flexibles.

A. Unidades de muestreo:

Las unidades de muestreo obedecen a las características del tipo de vía, capas de rodadura y el ancho de calzada. Lo que se realiza es dividir en secciones (unidades de muestreo) la vía analizada y se trabaja en metros. Para carreteras con capa de rodadura asfáltica, pavimento flexible, y un ancho menor a 7.30 metros, el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ (Vásquez, 2002).

La Tabla 5 presenta una longitud de muestreo para diferentes anchos de calzada, mientras el ancho sea menor, la longitud de muestreo será mayor.

Tabla 5: Formato longitud de la unidad de muestreo para carreteras con superficie asfáltica.

Ancho de calzada (m)	Longitud de unidad de muestreo (m)
5	46.0
5.5	41.8
6	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Nota: Tomado de “*Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*”.ASTM-D6433, 2007.

B. Determinación de las unidades de muestreo:

Las vías de tránsito tienen muchos kilómetros, por lo que también hay una gran cantidad de unidades de muestreo. Como resultado, el diagnóstico del PCI puede demandar tiempo y recursos; para reducir la carga de trabajo, es necesario aplicar métodos estadísticos y solo analizar muestras. Por otro lado, en el análisis de un proyecto es necesario realizar una inspección de todas las unidades de muestreo, de lo contrario, el número mínimo se determinará aplicando la ecuación 01. Esta ecuación proporciona un resultado del PCI con un error de $\pm 5\%$ del valor real con una confiabilidad del 95% (Tacza & Rodríguez, 2018).

Ecuación 01:
$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n: Cantidad mínima de unidades de muestreo.

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

e: Error aceptable en la estimación de la sección PCI (e = 5%)

σ : desviación estándar del PCI de una unidad de muestra a otra dentro de la sección

Al realizar la inspección inicial, se supone que la desviación estándar es 10 para pavimento asfáltico (AC) y 15 para pavimentos de concreto (PCC). Si el número mínimo de muestreo es menor a 5, es fundamental evaluar todas las unidades, estos valores son propuestos por la Norma ASTM (ASTM-D6433, 2007).

C. Selección y diagnóstico de las unidades de muestreo para inspección:

Tal como indican Tacza & Rodriguez (2018), se realiza un mejor análisis si las muestras seleccionadas tienen el mismo espaciamiento. Por lo tanto, es recomendable elegir secciones de las unidades de muestreo similares en toda la sección. La elección del intervalo del espaciamiento se realiza de manera aleatoria y sistemática mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 02:
$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

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

n: Cantidad mínima de unidades de muestreo.

i: Intervalo de muestreo

El siguiente proceso es inspeccionar las unidades de muestra dentro de una sección, estos son incrementos sucesivos del intervalo i después de la primera unidad seleccionada al azar. Por lo tanto, la primera unidad de muestreo se selecciona de forma aleatoria entre las unidades de muestra 1 hasta la muestra (i). Por ejemplo, si seleccionamos una unidad de muestreo 1 y un intervalo de muestreo 3, las unidades de muestra siguen un patrón de incrementos sucesivos de +3. Por lo tanto, las unidades de muestra serían 1, 4, 7 y así sucesivamente. No obstante, si se requieren cantidades de daño exactas, es necesario analizar todas y cada una de las unidades de muestreo (Vásquez, 2002).

D. Sección de las unidades de muestreo adicionales

La selección aleatoria de muestreo tiene algunas limitaciones en su análisis, uno de los cuales es la exclusión de tramos en muy mal estado. Para resolver este problema, se seleccionan e incluyen unidades de muestreo adicionales en el análisis; estas se pueden complementar o sustituir a otras unidades de muestreo. Además, es posible que en todo el tramo analizado haya un solo error; por ejemplo, un cruce de vía férrea, en cuyo caso este error también debe ser analizado para obtener un valor de PCI más realista. Cuando se incluyen unidades de muestreo

adicionales, el valor del PCI se cambia ligeramente para evitar la extrapolación de las condiciones atípicas en toda la sección (Vásquez, 2002).

Tal como lo expone Shaim (2005), uno de los principales inconvenientes asociados al muestreo aleatorio sistemático cuando se aplica a nivel de proyecto, así como al muestreo representativo utilizado a nivel de red, radica en que las unidades de muestra que presentan condiciones excepcionalmente malas pueden no ser consideradas dentro de la inspección. Asimismo, unidades con deterioros poco comunes, como por ejemplo pasos a nivel, podrían ser incluidas de forma no representativa dentro del conjunto de muestras, afectando negativamente la fidelidad del análisis. En ese sentido, para contrarrestar estas desventajas, el autor recomienda que las unidades inusuales sean inspeccionadas por separado como “unidades adicionales”, lo cual permite evitar que condiciones atípicas influyan en el cálculo global del índice de condición del pavimento. De este modo, se logra minimizar el sesgo y se mantiene la representatividad del diagnóstico. No obstante, esta limitación puede superarse mediante la inspección directa y detallada de la totalidad de las secciones que conforman el área de estudio. En consecuencia, el análisis desarrollado no depende de técnicas de muestreo, sino que se sustenta en datos exhaustivos, lo cual refuerza la confiabilidad de los resultados obtenidos y asegura una evaluación más precisa del estado del pavimento (Shaim, 2005).

2.4.3. Procedimiento de cálculo

Una vez recopilados los datos en campo de los tipos, severidad y densidad de las fallas, se procede con la determinación del valor del PCI de la muestra. En este punto, se utilizan “Valores Deducidos” para los tipos de falla, y se siguen una serie de pasos, los cuales son divididos en 4 etapas explicados a continuación:

En la primera etapa, se contabiliza la cantidad de fallas, se identifica su severidad y se calcula la densidad. Primero, se suman los tipos de fallas identificando su nivel de severidad (*Low, Medium y High*); estos datos se plasman en los casilleros del formato presentado

anteriormente en la Figura 24. La cantidad se registra en metros lineales o metros cuadrados, dependiendo el caso, ya que cada tipo de falla tiene su unidad de medición. Segundo, el siguiente procedimiento es dividir la cantidad de tipos de daño y los niveles de severidad entre el valor del área total de la muestra analizada, dichos resultados son calculados en porcentajes; la división efectuada representa la severidad de la falla que también se establece en el formato. Tercero, en la Figura 25 se muestra la curva denominada “valor deducido del daño” y valor deducido, este último se calcula en función del primero, se traza una línea vertical y a partir de la intersección con la curva de severidad se traza otra línea horizontal para obtener el valor deducido, el análisis se realiza para cada tipo de falla (Tacza & Rodriguez, 2018).

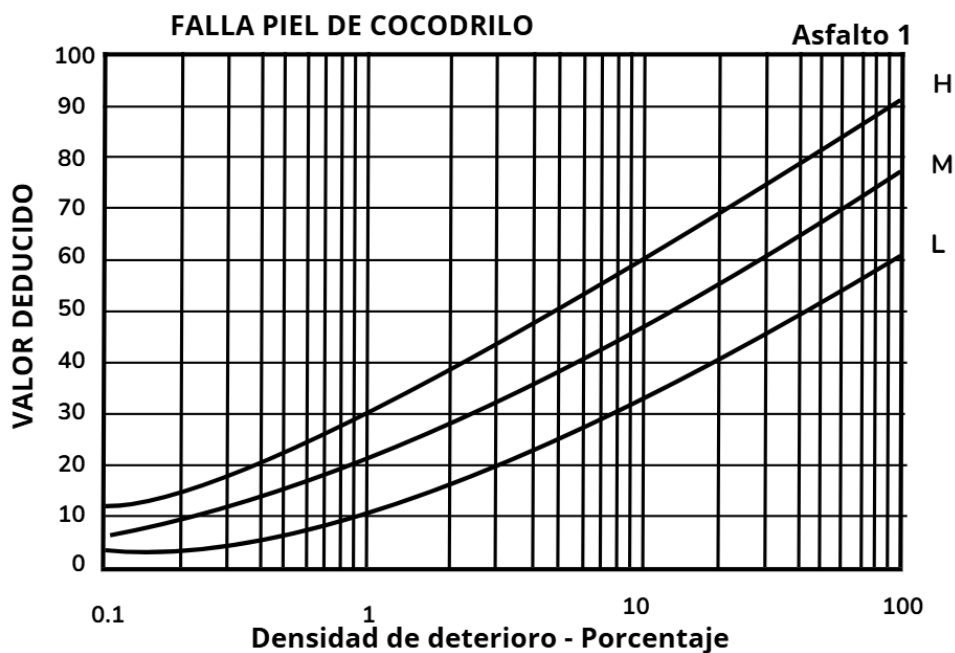


Figura 25: Curva del Valor Deducido.

Tomado de “*Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras*”. Vásquez, 2002.

En la segunda etapa, se presentan números admisibles a partir de los valores deducidos de la etapa anterior. La metodología del PCI indica que, si uno o ningún valor deducido es mayor a 2, se emplea el valor deducido total en lugar del valor deducido corregido (VDC); si no es el caso, se procede con el siguiente procedimiento. Primero, se ordenan de forma

ascendente los valores deducidos independientemente. Segundo, se emplea la siguiente ecuación para determinar en número máximo de valores deducidos:

Ecuación 03:
$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1)$$

Donde:

m: Número permitido de deducciones, incluidas fracciones (debe ser menor o igual a diez)

HDV = Valor de deducción individual más alto.

En la tercera etapa, el máximo valor corregido (VDC) es calculado mediante procesos iterativos. Primero, se deben contabilizar todos los valores que superan a 2, este se representa por la letra “q”. Segundo, se determina el valor deducido total (VDT), la sumatoria de los valores deducidos individuales. Tercero, en función de valor “q” y en VDT, se determina el VDC, utilizando la curva de corrección que se muestra en la Figura 26. Cuarto, se procede a disminuir el mínimo valor deducido individual a un valor de 2, después de lo cual se suma y calcula un nuevo valor de VDT. Dicho procedimiento es iterativo hasta obtener un valor “q” igual a 1. Finalmente, el máximo VDC será el mayor de todos los VDC obtenidos durante el desarrollo (Vásquez, 2002).

CURVA DE CORRECCIÓN PARA PAVIMENTO ASFÁLTICO

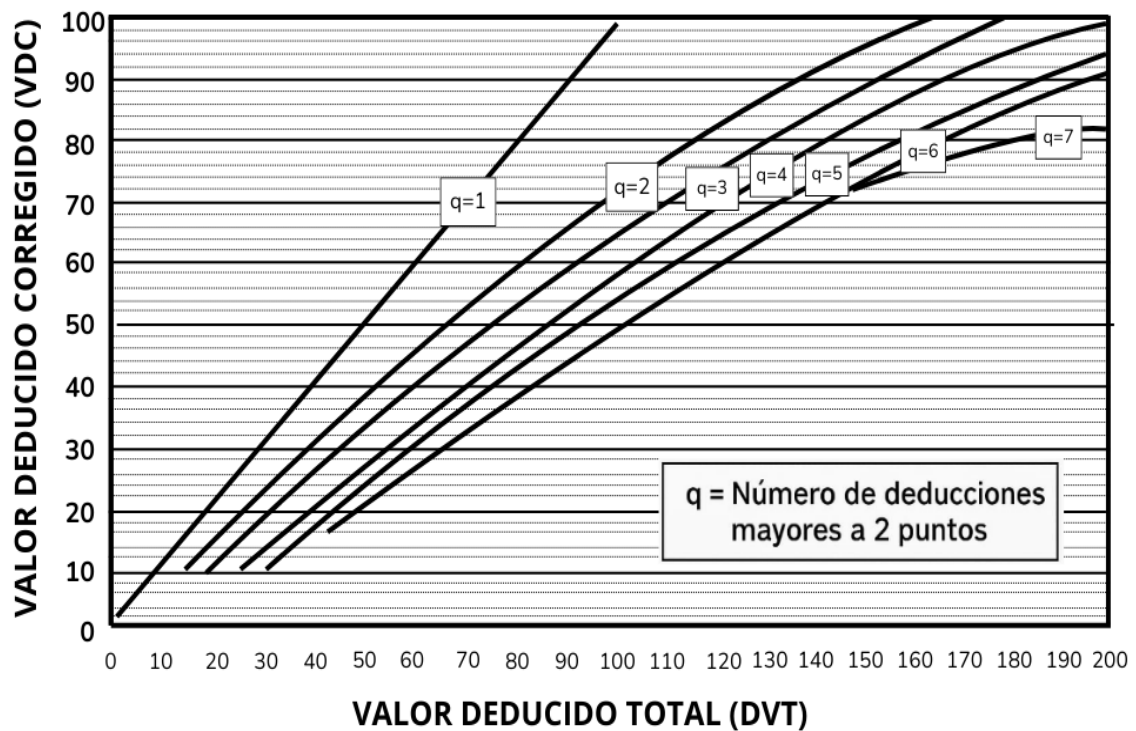


Figura 26: Curva de corrección para pavimento asfáltico.

Tomado de "Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras".
Vásquez, 2002.

Finalmente, **en la cuarta etapa** se determina el valor del PCI de la muestra analizada con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 04: } PCI = 100 - \max VDC$$

Donde:

PCI: Índice de condición del pavimento

maxVDC: Máximo valor corregido deducido

En complemento al cálculo del PCI, el siguiente capítulo presenta la incorporación de vehículos aéreos no tripulados (VANT) como herramienta auxiliar en la evaluación de pavimentos. Se expone su utilidad en la obtención de datos precisos y su contribución al diagnóstico técnico, favoreciendo una planificación más eficiente de las intervenciones viales.

2.5. Vehículo Aéreo No Tripulado

La incorporación de los vehículos aéreos no tripulados (VANT) en el ámbito de la ingeniería civil ha experimentado un notable desarrollo. Esto se debe, en gran parte, a que dichas plataformas tecnológicas han abierto nuevas oportunidades para realizar tareas de análisis, evaluación y monitoreo de infraestructuras de forma más eficiente. En comparación con los métodos convencionales, los VANT permiten recopilar información geoespacial con alta precisión y resolución en periodos significativamente más cortos, además de representar una reducción considerable en los costos operativos. Por lo tanto, su uso se ha consolidado como una alternativa moderna y eficaz dentro de los procesos de levantamiento y diagnóstico en obras civiles.

En este contexto, *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) o VANT, por sus siglas en español, han revolucionado los procesos de adquisición de datos espaciales, constituyéndose como una alternativa eficaz y de bajo costo frente a la fotogrametría aérea convencional. Estos equipos se pueden operar con cámaras digitales convencionales, y permiten ejecutar vuelos manuales, semiautónomos o totalmente automatizados, generando productos tridimensionales como modelos digitales de superficie DSM (*Digital Surface Models*), modelos de terreno DTM (*Digital Terrain Models*), ortofotos con gran precisión, etc.

Los VANT se han convertido en herramientas clave para el levantamiento y monitoreo de áreas de difícil acceso, especialmente en sectores como la geomática, la arqueología, la agricultura, el análisis urbano y la atención a emergencias. Su implementación ha ampliado las posibilidades de inspección y modelado en el corto y medio alcance, facilitando estudios morfológicos detallados y la evaluación de transformaciones espaciales con alta resolución y bajo requerimiento logístico (Nex & Remondino, 2013).

2.5.1. Conceptos Básicos

Los Vehículos Aéreos No Tripulados pertenecen al campo de la robótica, aeronáutica y electrónica, siendo una de las tecnologías más avanzadas. Son dispositivos que cuentan con una diversidad de tamaños y formas, se manejan mediante un control remoto y se controlan vía terrestre o satelital, generalmente, mediante un transmisor que cuenta con un receptor que recibe la señal. Además de usar un control remoto, pueden ser manejados de la siguiente manera: manual, semiautomático, automático o autónomo (Idiart, 2020). En el vuelo manual, el operador controla directamente todas las funciones del dron. A diferencia del método anterior, el vuelo semiautomático cuenta con el apoyo de un GPS. Otro método es el vuelo automático, este método es similar al anterior; con la diferencia de que el operador puede programar al dron para realizar tareas específicas y tomar decisiones por su cuenta, apoyándose en la inteligencia artificial (Fiestas & Merino, 2018).

Existen tres tipos de drones que se utilizan con fines ingenieriles. En primer lugar, se encuentra el dron tipo multirrotor, un dispositivo con aletas giratorias estructuradas en la rotación de las palas que realiza ascensos y descensos verticales permaneciendo suspendido y estable en pleno vuelo. Por otro lado, el dron tipo helicóptero, este posee una sola hélice y cuenta con un solo rotor. Finalmente, el dron tipo ala fija, este dispositivo opera de manera similar a los aviones (Zafra, 2018).

La Figura 27 muestra los tres tipos de drones.



Figura 27: Tipos de drones.

Tomado de “Manual Para El Postproceso De Imágenes Obtenidas a Partir De Una Aeronave Tripulada Remotamente (drone) En Los Software Agisoft Photoscan Y Pix4D”. Zafra, 2018.

Los drones son sistemas complejos que integran diversos componentes electrónicos y mecánicos diseñados para garantizar su estabilidad, control y funcionalidad durante el vuelo; su empleo en ingeniería civil ha crecido considerablemente debido a su capacidad para recopilar información geoespacial precisa en tiempo real, lo cual depende directamente de la eficiencia de sus componentes internos. Entre estos elementos, uno de los más relevantes es el sistema de propulsión, el cual consta de motores eléctricos y hélices que generan el empuje necesario para elevar y mantener el dron en el aire. En el caso de los drones multirrotores, este sistema requiere una sincronización milimétrica para conservar la estabilidad durante el vuelo, especialmente ante perturbaciones externas como el viento (Hashim, 2025).

Asimismo, otro componente fundamental es el controlador de vuelo, considerado como el cerebro del dron, ya que procesa la información proveniente de los sensores y de las órdenes del operador. Este dispositivo regula de manera continua la potencia entregada a cada motor, lo que permite mantener el equilibrio y ejecutar trayectorias definidas con precisión (Bui et al., 2022). A este sistema se suma el de navegación, el cual combina el uso del sistema de posicionamiento global (GPS) y la unidad de medición inercial (IMU), posibilitando así la determinación exacta de la ubicación y orientación del dron. Este componente resulta indispensable en operaciones como la fotogrametría y el mapeo, donde la precisión posicional es crítica (Grupo MATIC, 2024).

Por otro lado, los sistemas de comunicación permiten la interacción constante entre el dron y la estación terrestre. A través de este canal se transmiten comandos, datos de telemetría y, en muchos casos, la visualización en tiempo real de las imágenes captadas por la cámara (Hassija et al., 2021). Complementariamente, la carga útil que puede estar compuesta por cámaras fotográficas, multispectrales o sensores LiDAR es el componente encargado de adquirir la información del entorno. La elección del tipo de sensor dependerá del propósito del levantamiento, siendo un factor clave en trabajos como levantamientos topográficos, monitoreo

de obras o inspección de infraestructuras (YellowScan, 2024). En cuanto a la fuente de energía, los drones emplean baterías recargables, generalmente de polímero de litio (LiPo), que proporcionan una alta densidad energética con un peso reducido. Estas baterías son determinantes para definir la autonomía del equipo, aspecto crucial cuando se requiere cubrir grandes extensiones de terreno (Hashim, 2025).

Finalmente, la estructura o chasis del dron, fabricado comúnmente con materiales livianos y resistentes como fibra de carbono o plástico ABS (*Acrilonitrilo Butadieno Estireno*), cumple funciones esenciales como sostener los componentes, protegerlos ante impactos y contribuir a la eficiencia aerodinámica del equipo (Bui et al., 2022). En conjunto, todos estos elementos conforman un sistema tecnológico integral que permite ejecutar misiones aéreas con altos niveles de precisión, confiabilidad y seguridad, convirtiendo a los drones en herramientas indispensables para los profesionales de la ingeniería civil.

2.5.2. Drones para levantamientos topográficos

La topografía es la ciencia encargada de la descripción de la superficie terrestre de manera exacta y detallada. Su principal objetivo es representar un área gráficamente a través de levantamientos topográficos utilizando instrumentos de alta precisión. Esta ciencia determina las curvas de coordenadas geográficas, curvas de nivel, relieves, puntos geodésicos, perímetros, cálculo de áreas, etc. (*Science Academic Standards, 2005*). Así, podemos concluir que la topografía existe desde los inicios del hombre; conjuntamente, la información que se recolectaba con métodos rudimentarios se usaba para realizar planos geográficos con fines de investigación, comerciales, transporte, entre otros.

Según Main & Mendes (2019), los servicios topográficos constan de tres pasos importantes. Primero, es el trabajo de campo donde se adquieren los datos; este utiliza equipos topográficos como Estación Total, Teodolito, Niveles Topográficos, GPS, drones, entre otros instrumentos. Segundo, una vez registrados los puntos de las áreas, se procede al

procesamiento o cálculo. En este punto se utilizan computadoras con buena capacidad de procesamiento para trabajar con la data y convertirla a planos, superficies 2D y 3D. El tercer paso consiste en preparar la parte técnica, presentar el trabajo realizado para expedientes técnicos y utilizar los estudios topográficos antes mencionados.

Con el avance de la tecnología, se crearon dispositivos electrónicos capaces de realizar tareas que antes eran muy exigentes en cuanto a tiempo y recursos. Actualmente, estos avances tecnológicos reflejan grandes ventajas; los trabajos se realizan de una manera más sencilla, obteniendo ventajas de optimización de tiempo y mejorando la calidad de los resultados. Las actividades topográficas no son una excepción, los dispositivos son cada vez más precisos y fiables; y más aún, con el uso del dron. Los levantamientos topográficos usando equipos convencionales se realizan entre 5 o más personas en el campo, lo que hace que el acceso a zonas accidentadas sea tedioso. Mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, dichos trabajos se realizan con menor personal y en un corto plazo (Del Río et al., 2020).

2.5.3. Aplicación del dron en la evaluación del pavimento

En los últimos años, el uso de vehículos aéreos no tripulados ha revolucionado los procesos de evaluación de pavimentos, consolidándose como una herramienta eficaz en el ámbito de la ingeniería civil debido a su capacidad para generar imágenes de alta resolución, modelos digitales del terreno y ortomosaicos precisos. Esta tecnología no solo permite detectar fallas superficiales con gran detalle, sino que también facilita la aplicación de métodos estandarizados de análisis como el *Pavement Condition Index* (PCI), optimizando el tiempo de inspección y reduciendo significativamente los costos operativos (Alfageomatics, 2024). A través del empleo de drones, los ingenieros pueden ejecutar diagnósticos objetivos en tramos extensos sin necesidad de cerrar el tránsito vehicular ni exponer al personal técnico a condiciones de riesgo.

Diversos estudios recientes respaldan estas afirmaciones. Por ejemplo, Cruz (2018) llevó a cabo una investigación en la ciudad de Lima, específicamente en la Avenida Separadora Industrial, donde se empleó un dron para capturar imágenes con el propósito de calcular el PCI del pavimento flexible. En dicho estudio se compararon los resultados obtenidos mediante el método convencional y el uso de VANT, concluyéndose que esta tecnología constituye una alternativa eficaz y precisa para la evaluación superficial del pavimento. Además de ofrecer resultados comparables en términos de PCI, el método VANT presenta ventajas significativas en cuanto a reducción del tiempo de inspección, menor demanda de personal, mayor seguridad para los evaluadores y menores costos operativos.

De forma similar, Villanueva (2023) aplicó esta metodología en la carretera hacia la playa Los Delfines, ubicada en Ventanilla, utilizando un dron DJI Mavic 3. El análisis permitió determinar que el estado del pavimento era “malo” según la escala del PCI, y además se identificaron fallas específicas como agrietamientos, fisuras y desprendimientos. Gracias a la calidad de las imágenes aéreas obtenidas, se mejoró notablemente la capacidad de documentación y clasificación de daños, facilitando la priorización de acciones de mantenimiento. Esta experiencia ratifica que los drones no solo permiten visualizar las fallas existentes, sino también registrar su evolución en el tiempo, siendo útiles para la planificación preventiva y correctiva de la infraestructura vial.

Por otro lado, en la ciudad de Juliaca, Mamani (2023) llevó a cabo un estudio en la Avenida Circunvalación utilizando un dron Phantom 4 Pro V2.0. Las imágenes captadas fueron procesadas para generar ortomosaicos georreferenciados, los cuales sirvieron como base para el análisis visual y cuantitativo de las fallas del pavimento rígido. El resultado fue un índice PCI de 46, equivalente a una condición “regular”. Asimismo, se reportó una disminución del 25% en el tiempo de trabajo de campo y una reducción del 17.22% en los costos, en comparación con los métodos tradicionales. Este caso evidencia la eficiencia y versatilidad del

uso de drones en áreas urbanas complejas, donde el acceso físico puede ser limitado o peligroso.

En conjunto, estos estudios demuestran que la aplicación de drones en la evaluación de pavimentos constituye un avance significativo en la ingeniería civil moderna. Gracias a su capacidad para obtener datos geospaciales precisos y actualizables, los drones se han convertido en instrumentos clave en la gestión vial, contribuyendo no solo a mejorar la calidad de los diagnósticos, sino también a promover prácticas más seguras, económicas y sostenibles (*Alfageomatics*, 2024).



3. Capítulo III. Metodología

La presente investigación emplea una metodología estructurada y secuencial, orientada al diagnóstico de la condición superficial del pavimento flexible en la avenida Confraternidad, ubicada en la provincia de Andahuaylas. El estudio integra procedimientos convencionales del método *Pavement Condition Index* (PCI) con tecnologías emergentes como el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT), con el propósito de optimizar la recopilación de datos y mejorar la precisión del análisis.

El proceso metodológico de la investigación se organiza en seis etapas consecutivas, las cuales se presentan en la Figura 28.

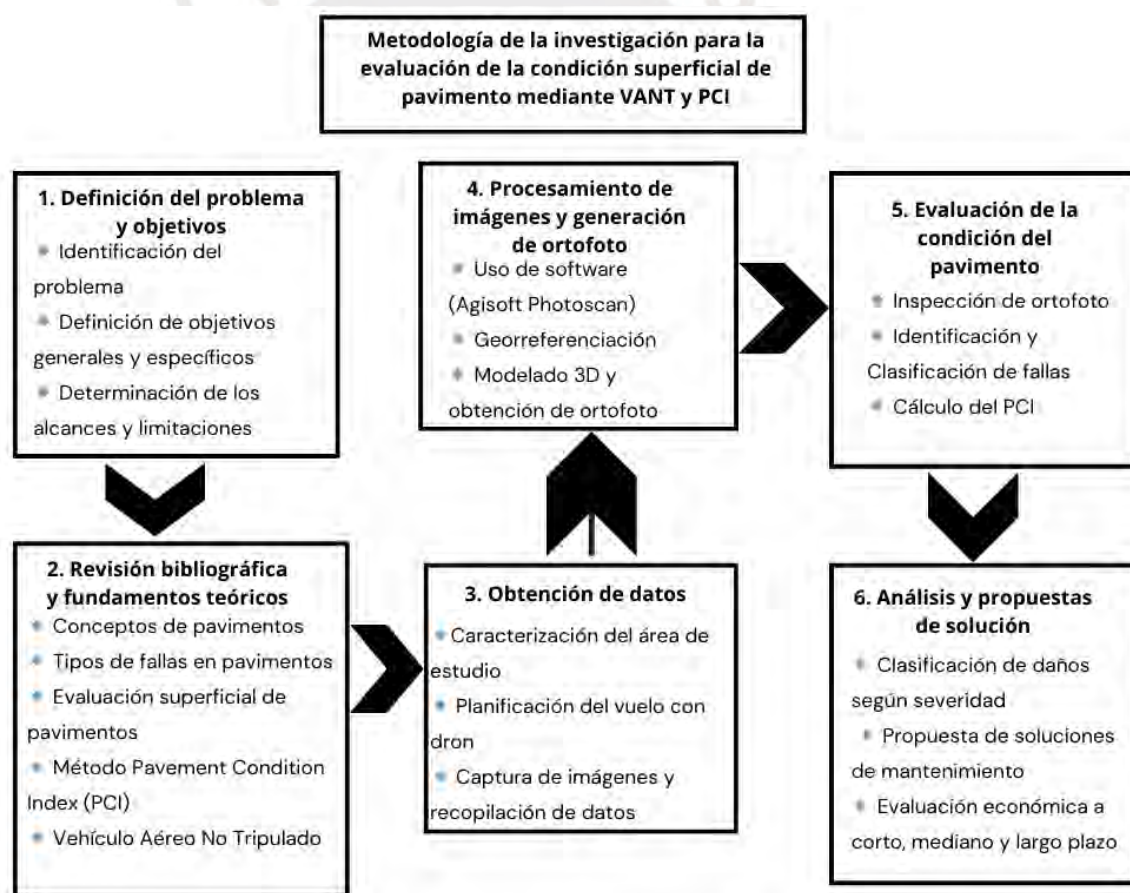


Figura 28: Metodología general de la investigación.

Fuente propia.

La Figura 28 ilustra el flujo general de esta metodología, que inicia con la definición del problema y culmina en la propuesta de soluciones. Dichas etapas comprenden: la identificación del problema y formulación de objetivos; la revisión bibliográfica y fundamentos teóricos; la obtención de datos mediante vuelos con dron; el procesamiento fotogramétrico; la evaluación del pavimento mediante PCI; y el análisis técnico para definir acciones de intervención.

La primera etapa consiste en la formulación del problema de investigación, a partir del diagnóstico preliminar de las condiciones viales en el área de estudio. Se delimitaron los objetivos generales y específicos, los cuales plantean que el empleo del VANT mejora la eficiencia y precisión en la determinación del PCI respecto al método tradicional. Este planteamiento permitió establecer el alcance técnico del estudio y justificar la integración metodológica utilizada.

En la segunda etapa se desarrolla una revisión técnica de fuentes nacionales e internacionales, abarcando cinco ejes principales: conceptos de pavimentos, tipos de fallas de pavimentos, evaluación superficial de pavimentos, método PCI en entornos urbanos y el uso de vehículos aéreos no tripulados en aplicaciones de ingeniería civil. Esta revisión fundamenta la selección y adecuación de los instrumentos metodológicos al contexto físico y operativo de la vía evaluada.

La tercera etapa comprende la obtención de datos mediante vuelos programados con VANT; se inició con la caracterización técnica del tramo ubicado entre las progresivas 2+000 y 3+000 km, verificando elementos como topografía, vegetación, obstáculos y flujo vehicular. Posteriormente, se programa el plan de vuelo utilizando el software *ADSurvey Pilot*, configurando parámetros como altura, velocidad, traslape entre imágenes y resolución de cámara. Durante la ejecución se empleó un dron Phantom 4 Pro, logrando la captura de 1996 imágenes georreferenciadas que fueron almacenadas para su posterior procesamiento.

En la cuarta etapa se procesaron las imágenes obtenidas en gabinete mediante el software *Agisoft PhotoScan*. Este procedimiento incluye la alineación fotogramétrica, generación de nube de puntos densa, incorporación de puntos de control geodésico (GCPs), modelado tridimensional de la superficie y obtención del ortomosaico georreferenciado. Este insumo constituye la base cartográfica para la evaluación visual sistematizada.

La quinta etapa corresponde a la evaluación técnica del pavimento mediante el método PCI. A partir del ortomosaico generado, se identificaron y clasificaron las fallas presentes siguiendo los criterios establecidos por la norma ASTM D6433. Para cada unidad de análisis se determinó el tipo de falla, su severidad, la extensión afectada y los valores deducidos, corregidos y finales del índice. Con el fin de garantizar una inspección completa del tramo evaluado, la superficie fue segmentada en unidades de muestreo equivalentes a las establecidas por la norma, permitiendo una revisión exhaustiva del 100 % del área intervenida.

Finalmente, en la sexta etapa se analizaron los resultados obtenidos para establecer propuestas de intervención vial. Los tramos fueron categorizados según su nivel de deterioro, y se formularon acciones de mantenimiento preventivo, correctivo o rehabilitación, según los criterios técnicos identificados. Asimismo, se realiza una estimación económica de los costos asociados, evaluando su viabilidad temporal, con el fin de proporcionar a las autoridades locales una base confiable para la planificación vial sostenible.

4. Capítulo IV. Caso de estudio

4.1. Ubicación de la avenida Confraternidad

La avenida Confraternidad es una vía principal que conecta los distritos de Talavera y Andahuaylas, ubicados en la provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. Esta vía tiene una longitud de 4080 metros lineales con ancho promedio de 9.6 metros. En esta investigación se realizó el diagnóstico del pavimento flexible, correspondiente a las progresivas 2+000 a 3+000 km, abarcando un tramo de 1000 metros de la parte central. Cabe precisar que, para efectos de evaluación, se analizó únicamente un eje de circulación de la vía, con un ancho promedio de 4.8 metros. Esta avenida es transitada por vehículos livianos como motos lineales, mototaxis, autos, camionetas, etc., así como también por vehículos pesados: volquetes, camiones, buses e incluso maquinarias pesadas.

La Figura 29 presenta la ubicación geográfica de la avenida Confraternidad, mostrando su localización dentro del departamento de Apurímac y su contexto urbano inmediato.



Figura 29: Plano de ubicación de la avenida Confraternidad.

Fuente propia.

4.2. Materiales e instrumentos usados en el análisis

En esta investigación emplearon diversos instrumentos de análisis, entre ellos el dron *Phantom 4 Pro*, el software *Agisoft PhotoScan*, hojas de cálculo Excel, programas de diseño y análisis como AutoCAD, Civil 3D y ArcGIS.

El dron Phantom 4 Pro, mostrado en la Figura 30, posee un núcleo de magnesio que le brinda rigidez y dureza. Está equipado con múltiples modos de vuelo; para este estudio se utilizó una navegación programada e inteligente, con una altura de 25 metros y una velocidad de 3 m/s. El equipo tiene un peso de 1,338 gramos (incluyendo batería y propulsores), un tamaño diagonal de 350 mm (incluidas las hélices), un tiempo máximo de vuelo de 30 minutos y una velocidad máxima de 72 km/h. Además, cuenta con una cámara con sensor CMOS de 1” y resolución de 20 megapíxeles (Corporación Segurimax, 2022)



Figura 30: Vuelo del dron.

Fuente propia.

4.3. Levantamiento topográfico con dron de la avenida Confraternidad

Este caso de estudio tiene como finalidad efectuar el levantamiento topográfico de la avenida Confraternidad mediante el uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado. La implementación de esta tecnología busca optimizar la recolección de datos, reducir los tiempos de trabajo en campo y mejorar la precisión del diagnóstico. Este proceso se estructura en cuatro etapas: caracterización del área de estudio, planificación del vuelo, recopilación de datos y procesamiento de imágenes. Cada fase es clave para garantizar la calidad del diagnóstico y facilitar el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), optimizando tiempos y recursos en campo.

A. Caracterización del área de estudio

Los drones operan utilizando señales emitidas por satélites de posicionamiento global (GPS), las cuales son captadas por el receptor integrado del equipo. Para asegurar una correcta determinación de la posición y navegación autónoma, el dron debe recibir la señal de al menos ocho satélites, lo que permite un proceso adecuado de triangulación. En caso de que la recepción sea insuficiente, por presencia de obstáculos como edificaciones altas, montañas, vegetación densa o interferencias magnéticas, el dron no podrá mantener un vuelo asistido por GPS, obligando al operador a emplear modos alternativos como el pilotaje manual. Esta modalidad requiere mayor experiencia debido al riesgo de colisión con elementos elevados.

Por ello, para un desempeño óptimo del dron, el área de intervención debe presentar condiciones favorables, sin elementos que bloqueen la línea de vista hacia los satélites. Asimismo, antes de ejecutar el plan de vuelo se recomienda realizar un reconocimiento técnico del área, identificando posibles dificultades operativas. Estas consideraciones fueron aplicadas en el presente caso de estudio correspondiente a la avenida Confraternidad. En la Figura 31 se muestra el tramo de estudio de la avenida Confraternidad, comprendido entre las progresivas 2+000 y 3+000 km.

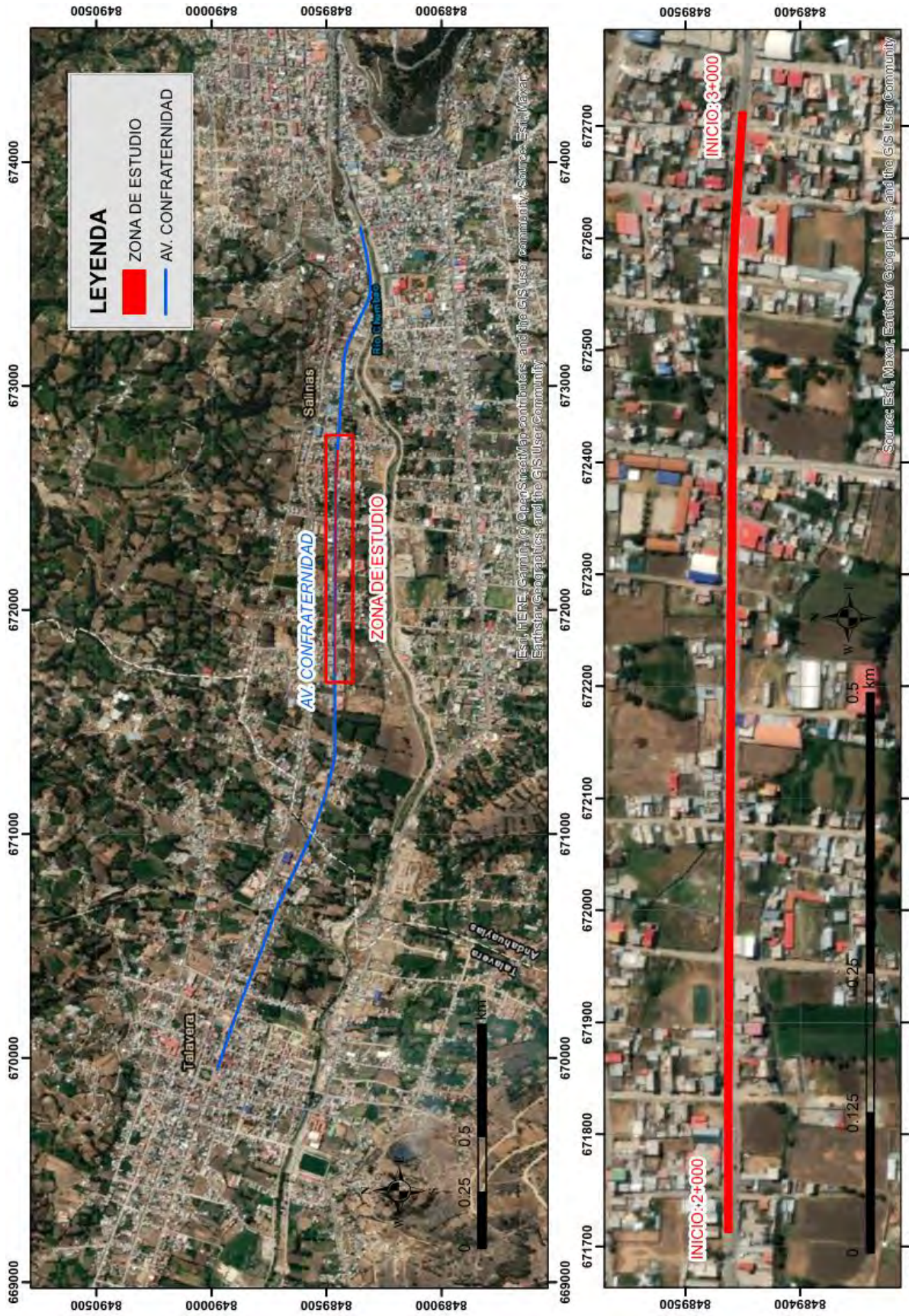


Figura 31: Ubicación del tramo de estudio de la avenida Confraternidad.

Fuente propia.

B. Planificación del vuelo

Es importante tener claras las dimensiones del área donde se realizará el levantamiento topográfico, ya que esto permite la mejor planificación de todo el trabajo a realizar en campo. Además, dependerá de las dimensiones del terreno a proyectar la cantidad de vuelos que se realicen, la cantidad de días u horas requeridos y el diseño del vuelo. Los drones usan baterías que necesitan recargarse; por esta razón, en lugares donde no hay corriente eléctrica, es necesario llevar baterías cargadas para cumplir con el objetivo (Ataíde, Parente & Marques, 2021). Los planes de vuelo se programan mediante software especializado como DJI GO; el cual permite definir parámetros como trayectoria, velocidad, altura, posición de la cámara, traslape de imágenes, área a cubrir y tiempo estimado. La Figura 32 muestra el proceso de calibración inicial del dron Phantom 4 Pro antes del vuelo, etapa esencial para garantizar precisión en la captura de imágenes.



Figura 32: Calibración del dron Phantom 4 Pro.

Fuente propia.

En esta investigación, la planificación del vuelo se desarrolló específicamente para cubrir un tramo de un kilómetro de la avenida Confraternidad, asegurando una cobertura completa del área evaluada. La Figura 33 muestra el despegue del dron Phantom 4 Pro al inicio de la operación, etapa fundamental para garantizar una captura adecuada de imágenes.



Figura 33: Despegue del dron Phantom 4 Pro.

Fuente propia.

C. Recopilación de datos

Tras definir el plan de vuelo, se instaló una memoria para almacenar las fotografías tomadas por el dron. Este se conecta a un dispositivo al mando (puede ser un iPad 3 de Apple) para así poder visualizar las imágenes que tomó el dron. Una vez que el equipo despegue, el dron efectúa todo el trabajo de manera remota (Zafra, 2018). Otra alternativa es trabajar con un Phantom 4 pro RTK el cual ya tiene incorporada la pantalla de visualización de su dispositivo de mando, así como se muestra en la Figura 34.



Figura 34: Ejecución del plan de vuelo del dron Phantom 4 Pro RTK.

Fuente propia.

D. Procesamiento de imágenes

Existen programas de software que realizan el procesamiento de imágenes, entre ellos destacan *Pix4dMapper* o el *Agisoft PhotoScan*; este último fue empleado en la presente investigación. Como se aprecia en la Figura 35, el software permite visualizar la distribución de puntos obtenidos del procesamiento fotogramétrico. El primer trabajo de este programa es extraer puntos de cada fotografía tomada por el dron y determinar su verdadera ubicación, es decir, se le asigna una coordenada de referencia a cada píxel de la imagen. El siguiente paso es obtener una nube de puntos densificada y filtrada, este paso sirve para realizar una triangulación entre ellos, con el fin de obtener un modelo 3D. Finalmente, el programa genera ortofotos, que son equivalentes a los mapas pluviométricos convencionales (Agisoft Metashape, 2021).

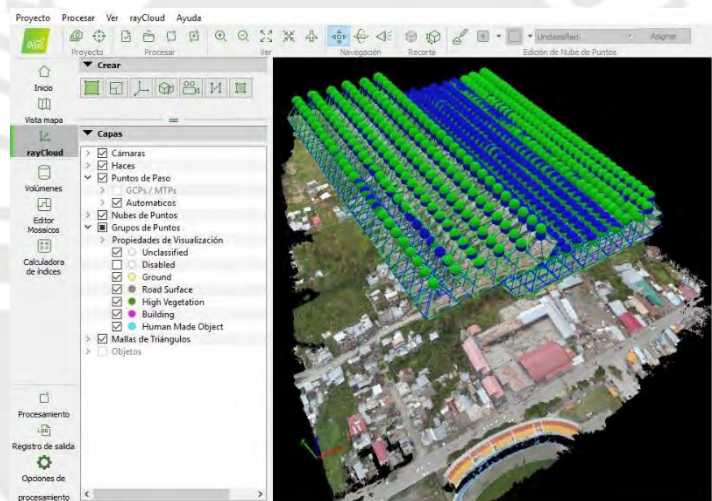


Figura 35: Procesamiento de imágenes en el programa Agisoft Photoscan.

Fuente propia.

4.4. Obtención de fotografías aéreas

Para obtener fotografías se ingresaron los parámetros de vuelo que fueron los siguientes: altura de vuelo (25 metros), velocidad de vuelo (4 metros por segundo), porcentaje de traslape longitudinal y transversal (79% y 81%), ángulo de la cámara (90° grados). En la Figura 36 se muestran los parámetros utilizados.

Una vez elaborado el plan de vuelo, continúa su ejecución. En un inicio, el dron se operó a una altura de 60 metros por motivos de seguridad. No obstante, al evaluar los resultados obtenidos, se determinó que las imágenes no permitían distinguir adecuadamente las fallas, por lo que fue necesario reducir la altura de vuelo a 25 metros. Verificados los parámetros, se inspeccionaron todas las partes del equipo: se comprobó que la batería tuviera más del 80 % de carga, que las cuatro hélices estuvieran correctamente instaladas, que existiera una buena conexión entre el radiocontrol y el dron, y que la tarjeta de memoria contara con suficiente capacidad para almacenar las fotografías. Finalmente, se ubicó el dron en una zona libre de obstáculos para el despegue, como se observa en la Figura 37.

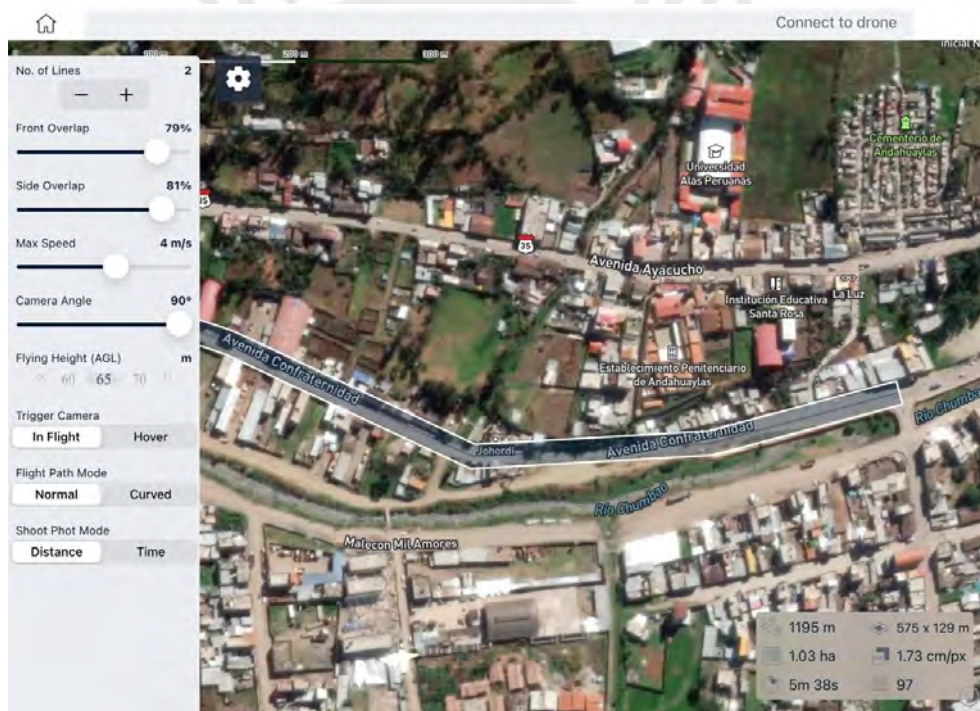


Figura 36: Calibración del dron antes del despegue.

Fuente propia.



Figura 37: Imagen del segundo Vuelo del dron.

Fuente propia.

4.5. Procesamiento de las imágenes obtenidas

Para procesar las imágenes obtenidas con el dron se realiza un trabajo riguroso en gabinete, en el cual se necesita una computadora con características superiores a las comunes. El programa utilizado es el *Agisoft PhotoScan*, en el cual se puede realizar procesamiento de imágenes satelitales en el cual se ciñe a una serie de procesos, triangulación fotogramétrica, construcción de una nube de puntos densa, modelos digitales de elevación (MDE), exportación ortomosaico georreferenciada y modelos digitales de terreno (MDT)(Zafra, 2018). Según Zafra (2018), el programa *Agisoft PhotoScan* consta de tres pantallas principales, espacio de trabajo, modelo generado e imágenes importadas; en la parte superior están presentes las herramientas de interfaz del programa, las cuales son *File*, *Edit*, *View*, *Workflow*, *Tools*, *Photo* y *Help*, cada uno con una función en específico; en el siguiente párrafo se explica todo el proceso seguido en el programa.

Antes de proceder con la georreferenciación, es indispensable la calibración de la cámara. En este caso, las imágenes capturadas incluyen la información de la cámara, como la resolución y la distancia focal, lo cual facilita el proceso. Para iniciar con el proceso se establece un nuevo proyecto donde se importan las fotografías, y por defecto, el programa reconoce las características de las imágenes como el sistema de coordenadas, tipo de cámara, fecha y hora de las tomas, resolución de las imágenes, etc. (Agisoft Metashape, 2021).

En la Figura 38 se observa la importación de las 1996 imágenes capturadas en campo, con las cuales se inicia el procesamiento.

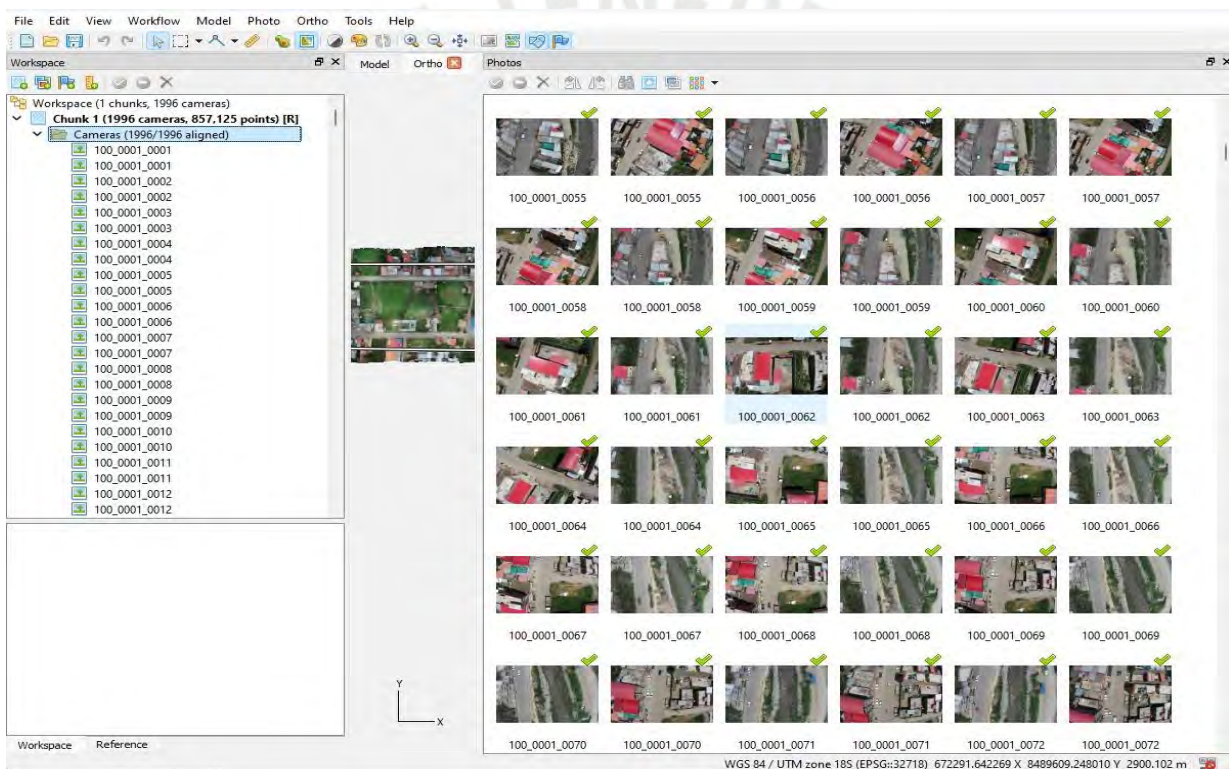


Figura 38: Fotografías importadas en el programa *Agisoft PhotoScan*.

Fuente propia.

A. Orientación de las imágenes

El primer paso del procesamiento consiste en alinear las fotografías importadas, proceso encargado de identificar puntos homólogos en todas las imágenes para calcular su posición relativa en el espacio. Como resultado, el programa genera una nube de puntos dispersa y determina la orientación interna y externa de la cámara asociada a cada fotografía. En Agisoft

PhotoScan, esta etapa se ejecuta mediante el comando *Align Photos*, el cual ofrece cinco niveles de exactitud para realizar la alineación: *Lowest*, *Low*, *Medium*, *High* y *Highest*. Estas opciones no están relacionadas con la calidad de las fotografías, sino con el grado de precisión aplicado en el cálculo fotogramétrico, es decir, el nivel de detalle con el que el software busca coincidencias entre las imágenes.

Un nivel de exactitud mayor produce una alineación más precisa, aunque requiere mayor capacidad de procesamiento y un tiempo de ejecución más prolongado. Dado que esta investigación demanda alta precisión para la identificación y caracterización de fallas del pavimento, se seleccionó la opción *Highest*, asegurando la mayor fidelidad en la reconstrucción fotogramétrica (Agisoft, 2025).

B. Puntos de control

Los puntos de control son fundamentales para la georreferenciación en el software, ya que implican la carga de coordenadas conocidas, obtenidas en campo mediante un GPS diferencial o una estación total. En esta investigación se emplearon puntos previamente instalados en las plazas principales de los distritos de Talavera y Andahuaylas. Dichos puntos fueron marcados con yeso para facilitar su identificación durante los vuelos del dron. Este procedimiento asegura que las imágenes mantengan una alineación precisa en términos de posición este, oeste y norte, garantizando así una localización geográfica exacta, que permite la integración con otros proyectos y un análisis espacial riguroso (Zafra, 2018).

C. Nube densa de puntos

Una vez orientadas las fotos, e insertados los puntos de control se procede con la generación de nube de puntos densa. Dicho proceso permite crear una representación detallada del terreno debido a que toma información de la alineación de las imágenes y calcula un mayor número de puntos para definir las características espaciales (Agisoft Metashape, 2021).

D. Malla y textura

Tras la generación de la nube de puntos densa, el siguiente proceso es la creación de una malla, este sirve como base para la aplicación de texturas al modelo tridimensional. Dicho procedimiento es clave para obtener una representación tridimensional detallada, que es posteriormente texturizada para un análisis con mayor precisión del terreno (Agisoft, 2021).

E. Modelo Digital de Elevaciones

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) permite la generación de otros modelos derivados, como el Modelo Digital del Terreno (MDT), curvas de nivel y análisis topográficos; por eso es considerado como uno de los productos más relevantes en el procesamiento de imágenes. Dicho modelo se obtiene a partir de un ráster que representa la altimetría del terreno con valores de elevación de cada píxel (Agisoft, 2021).

F. Ortomosaico

El ortomosaico mostrado en la Figura 39, es una imagen compuesta que resulta de la combinación de múltiples fotografías aéreas corregidas geoméricamente. Su principal característica es que cada imagen ha sido ajustada para eliminar las distorsiones causadas por la perspectiva de la cámara y la topografía del terreno. Gracias a este proceso, se obtiene a una representación uniforme y a una escala real, lo que permite su uso en mediciones precisas y análisis cartográficos (Zafra, 2018)

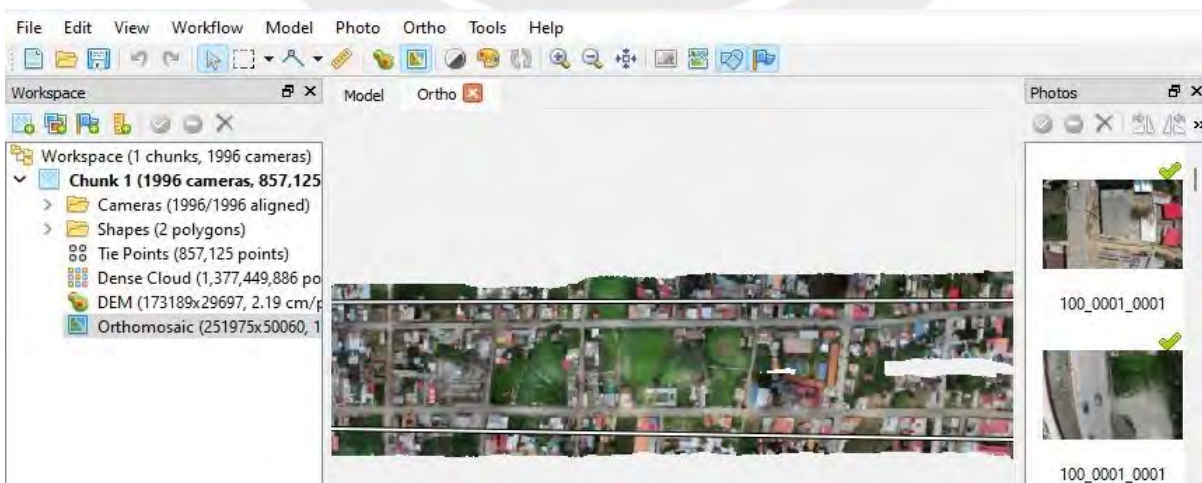


Figura 39: Ortomosaico importadas en el programa *Agisoft PhotoScan*.

Fuente propia.

4.6. Obtención de la ortofoto

El software generó la ortofotografía correspondiente al tramo procesado; no obstante, en ciertos sectores se identificaron vehículos estacionados sobre la vía. Estos elementos fueron eliminados mediante un proceso de depuración, que incluyó la remoción de vehículos y otros objetos que interferían con la visibilidad de la superficie. En la Figura 40 se aprecia la ortofoto generada correspondiente al tramo 05.

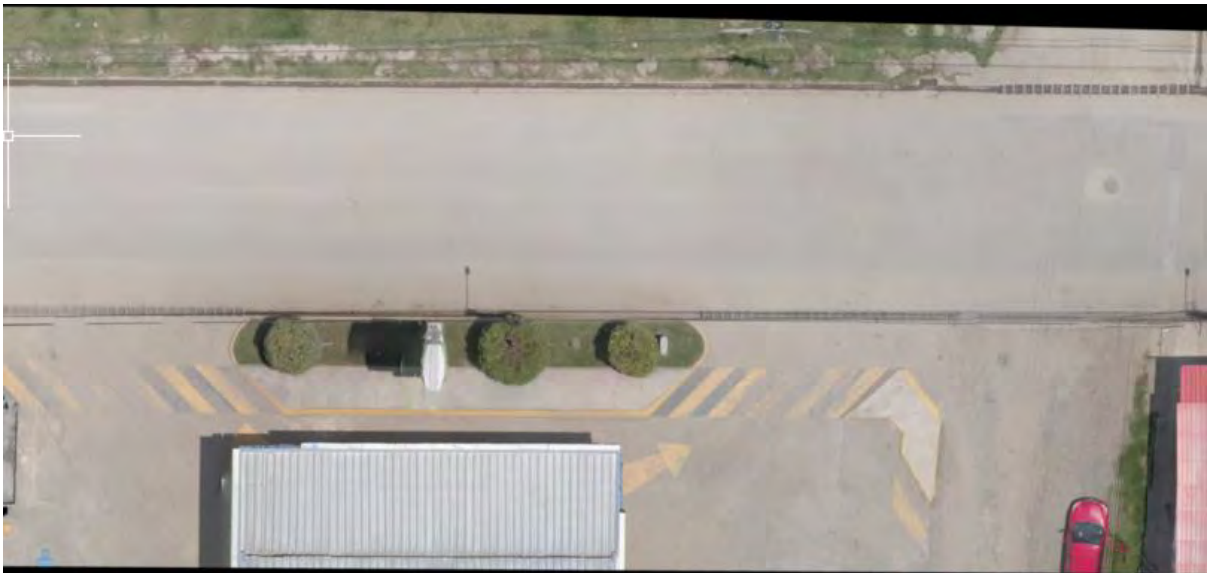


Figura 40: Ortomosaico importadas en el programa *Agisoft PhotoScan*.

Fuente propia.



5. Capítulo V. Análisis del índice de condición de pavimento PCI

5.1. Unidades de muestreo

La longitud de evaluación corresponde a 1 km, con un ancho de calzada promedio de 4.8 metros, y resulta un área total de 4800 metros cuadrados dirección Oeste a Este. Para efectos de evaluación, este tramo se dividió en 20 segmentos de 50 metros lineales cada uno.

Tabla 6: Longitud de análisis.

Longitudes consideradas para el análisis	
Longitud del tramo (m)	1000
Ancho de calzada (m)	4.8
Área total (m ²)	4800
Longitud de muestreo (m)	50

Nota: Fuente propia.

Para determinar el número mínimo de unidades de muestreo, se utilizó la ecuación (01):

$$n = \frac{20 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (20 - 1) + 10^2} = 9.14$$

Por lo tanto, el número mínimo de unidades de muestreo a inspeccionar es de **9**.

Asimismo, se calculó el intervalo de muestreo mediante la ecuación:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{20}{9} = 2$$

Este valor de “*i*” indica que las unidades seleccionadas para la inspección se determinan tomando cada 2 tramos de la vía, iniciando desde un punto aleatorio. De esta manera, las unidades seleccionadas serían: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 y 19. Sin embargo, con el objetivo de obtener resultados más precisos, en el presente estudio se decidió evaluar la totalidad de los tramos que conforman la vía.

5.2. Cálculo de PCI de una muestra

A manera de ejemplo, se presenta el diagnóstico del tramo 05, comprendido entre las progresivas 2+200 a 2+250 km, en el cual, se siguió un procedimiento metodológico estructurado explicado en los siguientes párrafos.

Primera etapa: Registro, clasificación y cálculo de densidades

En esta etapa, a partir de la ortofoto obtenida, se registraron todas las fallas presentes en el pavimento. La Figura 41 muestra la ortofoto del Tramo 05, donde se identificaron y delimitaron las áreas afectadas. Dichas marcas permiten ubicar con precisión cada tipo de deterioro, constituyendo la base para el metrado y posterior cálculo del PCI.

METRADO DE FALLAS 05

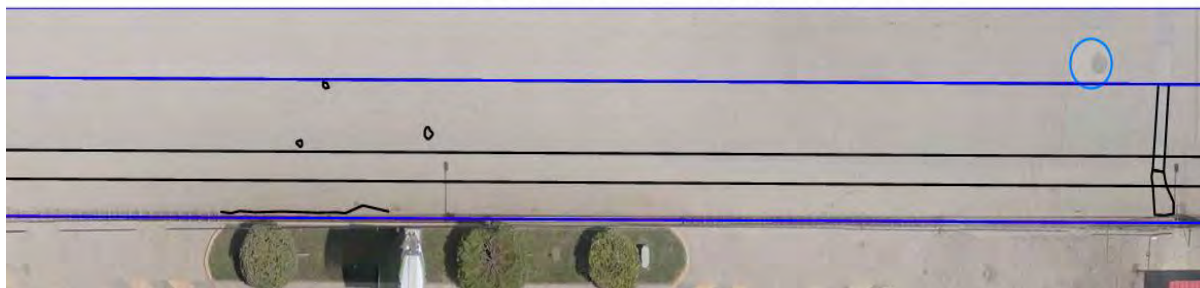


Figura 41: Metrado de fallas Tramo 05.

Fuente propia.

Como resultado del levantamiento, se identificaron y metraron las fallas presentes en el tramo analizado; dicho proceso se realizó en Autodesk Civil 3D, donde se importó el ortomosaico generado en Agisoft PhotoScan en escala real, permitiendo delimitar con precisión cada tipo de deterioro y obtener sus dimensiones exactas. Toda la información correspondiente al metrado y registro de fallas se encuentra respaldada en el Anexo A: Formatos de cálculo del PCI de cada tramo y en el Anexo B: Planos de ortofoto y metrado de fallas de la Av. Confraternidad.

- ✓ 1,35 m² de fisuración de piel de cocodrilo con severidad leve.
- ✓ 6,98 m de grieta de borde de baja severidad.
- ✓ 0,17 m² de parcheo con severidad baja.
- ✓ 2,465 m² de parcheo con severidad media.
- ✓ 3 huecos con severidad leve.
- ✓ 50 m² de pulimiento de asfalto.

Todos estos datos fueron sistematizados en la tabla 7. Posteriormente, se determinó la densidad de cada tipo de falla con su respectiva severidad. Para ello, se calculó el porcentaje de afectación dividiendo el área de cada tipo de deterioro entre la superficie total inspeccionada ($240m^2$). Por ejemplo, la fisuración tipo piel de cocodrilo, que abarca $1.35 m^2$, se expresa como un porcentaje del área evaluada, el cual permite cuantificar su impacto dentro del tramo analizado.

Ecuación 05:
$$Densidad = \frac{1,35m^2}{240m^2} = 0,56\%$$

Segunda etapa: Determinación de valores deducidos

Con la densidad obtenida, se procedió a ingresar al ábaco mostrado en la Figura 42, de acuerdo al tipo de falla, con el propósito de determinar el valor deducido, conforme a lo descrito en el capítulo 2.4.3.

En el ejemplo, para la falla tipo piel de cocodrilo, con severidad baja (*Low*) y una densidad de 0,56 %, el valor deducido obtenido fue 7. Este procedimiento se aplicó de manera sistemática para cada una de las fallas identificadas en el pavimento.

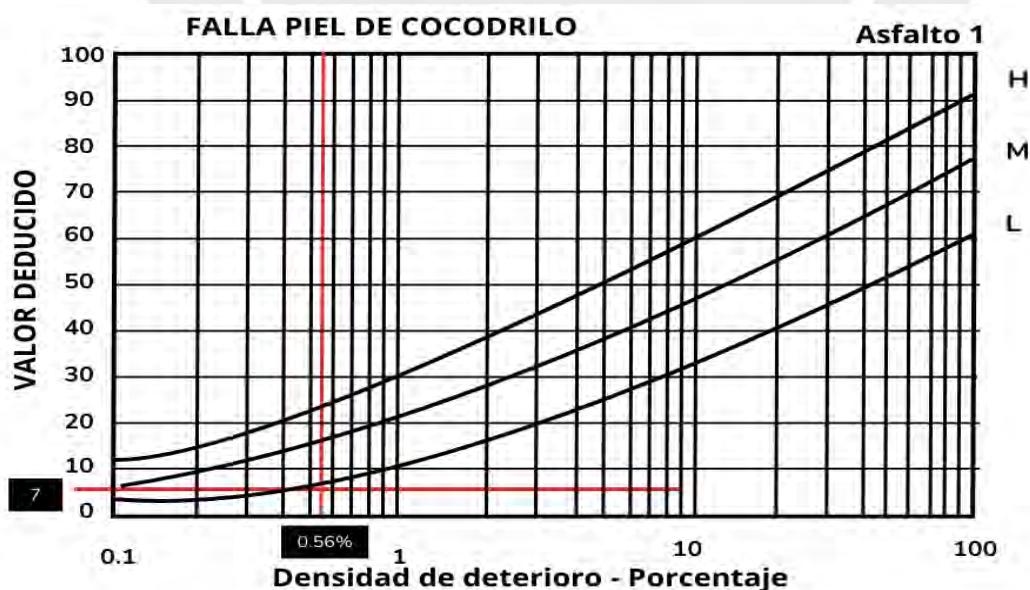


Figura 42: Abaco de falla de piel de cocodrilo

Tomado de "Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras".
Vásquez, 2002.

En la tabla 7 se muestra los valores deducidos correspondientes a todas las densidades, cuyos resultados fueron 7, 3, 1, 11, 8 y 22.

Tabla 7: Cálculo de valores deducidos.

Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor Deducido (VD)
1	L	1.35	0.56%	7
7	L	6.98	2.91%	3
11	L	0.17	0.07%	1
11	M	2.47	1.03%	11
12	-	50	20.83%	8
13	L	3	1.25%	22

Nota: Fuente propia.

De acuerdo con la metodología, los valores deducidos inferiores a 2 fueron eliminados, quedando un total de 5 valores ($q=5$). En consecuencia, se ajustó el número de valores deducidos considerados en la corrección. Primero, los valores deducidos mayores a 2 ($VD > 2$) se ordenaron de mayor a menor y se contabilizó su número (q). Posteriormente, se determinó el límite permitido mediante la Ecuación 03.

Ecuación 03:
$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_1)$$

Donde HDV_1 es el mayor valor deducido individual. Con $HDV_1 = 22$.

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - 22)$$

$$m_i = 8.2$$

Se obtuvo $m=8.2$, y se verificó un $q \leq m$, por lo tanto, no se descarta ningún VD según lo explicado en el capítulo 2.4.3.

Tercera etapa: Cálculo del valor deducido corregido

Conforme a la ASTM D6433, el VDC se determina buscando el VDC máximo de manera iterativa: primero con el VDT real y el q real, y luego sustituyendo sucesivamente el VD más pequeño > 2 por "2", recalculando VDT y VDC hasta $q=1$. Para esta unidad de muestreo ($VD = 22, 11, 8, 7$ y 3)

El primer VDT se determina por la suma de todos los valores deducidos (VD) (22+11+8+7+3) y resulta 51

Conforme al ASTM D6433, el Valor Deducido Corregido (VDC) se obtuvo directamente de la curva de corrección para pavimentos asfálticos como se muestra en la Figura 43.

Por ejemplo, con $VDT = 51$ y $q = 5$ se ingresa directamente de la curva de corrección para pavimentos asfálticos mostrada en la siguiente figura, obteniendo un Valor Deducido Corregido (VDC) igual a 25.

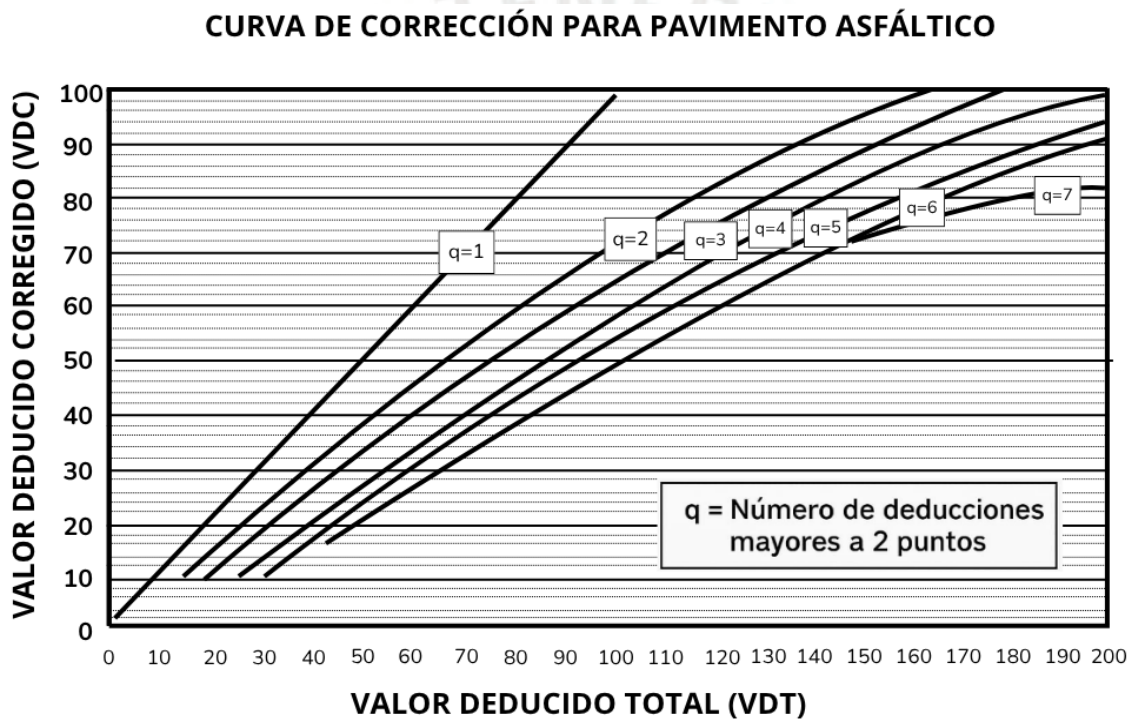


Figura 43: Curva de corrección para pavimento asfáltico.

Tomado de "Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras". Vásquez, 2002.

El mismo procedimiento se realiza para los demás valores:

- Reemplazo 3 → 2: $VDT = 50, q = 4 \rightarrow VDC = 28$
- Reemplazo 7 → 2: $VDT = 45, q = 3 \rightarrow VDC = 30$
- Reemplazo 8 → 2: $VDT = 39, q = 2 \rightarrow VDC = 31$
- Reemplazo 11 → 2: $VDT = 30, q = 1 \rightarrow VDC = 30$

El VDC adoptado es el máximo de las iteraciones, es decir, $VDC_{m\acute{a}x}=31$

En la Tabla 08 se muestran los valores deducidos corregidos a partir de los valores deducidos totales y el q en el ábaco presentado en la Figura 43.

Tabla 8: Valores deducidos corregidos.

Nro	Valores deducidos corregidos					VDT	q	VDC
	Valores deducidos corregidos							
1	22	11	8	7	3	51	5	25
2	22	11	8	7	2	50	4	28
3	22	11	8	2	2	45	3	30
4	22	11	2	2	2	39	2	31
5	22	2	2	2	2	30	1	30

Nota: Fuente propia.

El VDC adoptado es el máximo de las iteraciones, es decir, $VDC_{m\acute{a}x}=31$

Cuarta etapa: Cálculo del PCI y clasificación del pavimento.

Verificando los valores deducidos corregidos, se escoge el máximo ($VDC_{m\acute{a}x}$), que en este caso es **31**

El PCI se determinó aplicando la ecuación 04

Ecuación 04: $PCI = 100 - VDC_{m\acute{a}x}$

El $VDC_{m\acute{a}x}$ es 31, por lo tanto, el valor de PCI resulta 69

$$PCI = 100 - 31$$

$$PCI = 69$$

De acuerdo con la tabla de clasificación del PCI, este valor ubica el pavimento de la UM-05 en la categoría “Bueno”, lo que indica que presenta deterioros superficiales localizados, siendo recomendable la ejecución de mantenimiento preventivo para conservar su funcionalidad estructural y de servicio.

En la Figura 44 se presenta la hoja de registro correspondiente a la unidad de muestreo UM-05, en la cual se consignan los datos obtenidos durante la inspección visual y el procesamiento de la información para el cálculo del PCI. Este formato incluye los tipos de

fallas, severidad, densidad (%), valores deducidos, cálculo del Valor Deducido Total (VDT), finalmente, la clasificación del pavimento en función del PCI obtenido, que para este caso corresponde a la categoría “Bueno”.



HOJA DE REGISTRO														
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+200 a 0+250					
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 05					
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240					
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA					
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berma 14 Cruce de vía férrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento														
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE							
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$							
Medium	Media	M												
High	Alta	H												
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES														
RANGO		CLASIFICACIÓN		1		7		11		13		12		
100 - 85	Excelente		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
85 - 70	Muy bueno		1.35	L	6.98	L	0.04	L	3	L	50			
70 - 55	Bueno						0.09	L						
55 - 40	Regular						0.04	L						
40 - 25	Malo						1.33	M						
25 - 10.	Muy Malo						1.135	M						
10 - 0	Fallado													
TOTAL	BAJA (L)		1.35		6.98		0.17		3		50			
	MEDIA (M)						2.465							
	ALTA (H)													
CÁLCULO DEL PCI														
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos				
1		L		1.35		0.56%		7		Número de valores deducidos > 2 (q)				
7		L		6.98		2.91%		3						
11		L		0.17		0.07%		1						
11		M		2.465		1.03%		11		Valor deducido más alto				
12				50		20.83%		8						
13		L		3		1.25%		22		22				
										Número máximo de VD (m)				
										8.2				
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC		
1		22	11	8	7	3			51	5	25			
2		22	11	8	7	2			50	4	28			
3		22	11	8	2	2			45	3	30			
4		22	11	2	2	2			39	2	31			
5		22	2	2	2	2			30	1	30			
6														
7														
										Max. VDC		31		
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$				
										PCI =		69		
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Bueno				

Figura 44: Hoja de registro.

Fuente propia.

5.3. Cálculo de los resultados finales del PCI de todos los tramos

Tal como se explicó en cálculo del PCI del tramo 05 en el capítulo 5.2, se aplicó el mismo procedimiento para los 20 tramos evaluados, cuyas tablas de cálculo se encuentran en la sección de anexos de este documento. A continuación, se presenta un cuadro resumen con los valores obtenidos con su respectiva clasificación

Tabla 9: Valores del PCI de cada tramo y su clasificación.

Tramo analizado	Progresiva	Valor del PCI	Clasificación
1	2+000 – 2+050	74	Muy bueno
2	2+050 – 2+100	67	Bueno
3	2+100 – 2+150	52	Regular
4	2+150 – 2+200	80	Muy bueno
5	2+200 – 2+250	69	Bueno
6	2+250 – 2+300	77	Muy bueno
7	2+300 – 2+350	72	Muy bueno
8	2+350 – 2+400	64	Bueno
9	2+400 – 2+450	84	Muy bueno
10	2+450 – 2+500	77	Muy bueno
11	2+500 – 2+550	70	Bueno
12	2+550 – 2+600	69	Bueno
13	2+600 – 2+650	77	Muy bueno
14	2+650 – 2+700	45	Regular
15	2+700 – 2+750	77	Muy bueno
16	2+750 – 2+800	66	Bueno
17	2+800 – 2+850	55	Regular
18	2+850 – 2+900	65	Bueno
19	2+900 – 2+950	44	Regular
20	2+950 – 3+000	60	Bueno

Nota: Fuente propia.

La tabla 9 presenta los valores del PCI calculados para cada tramo de la avenida Confraternidad, con rangos que oscilan entre 44 y 84. Estos resultados permiten clasificar los tramos en tres categorías principales: Muy bueno, Bueno y Regular. La información sintetiza el estado de conservación del pavimento y ofrece una perspectiva comparativa entre los distintos sectores evaluados.

Para representar de manera gráfica la variación del PCI en el tramo evaluado, se elaboró la siguiente figura:

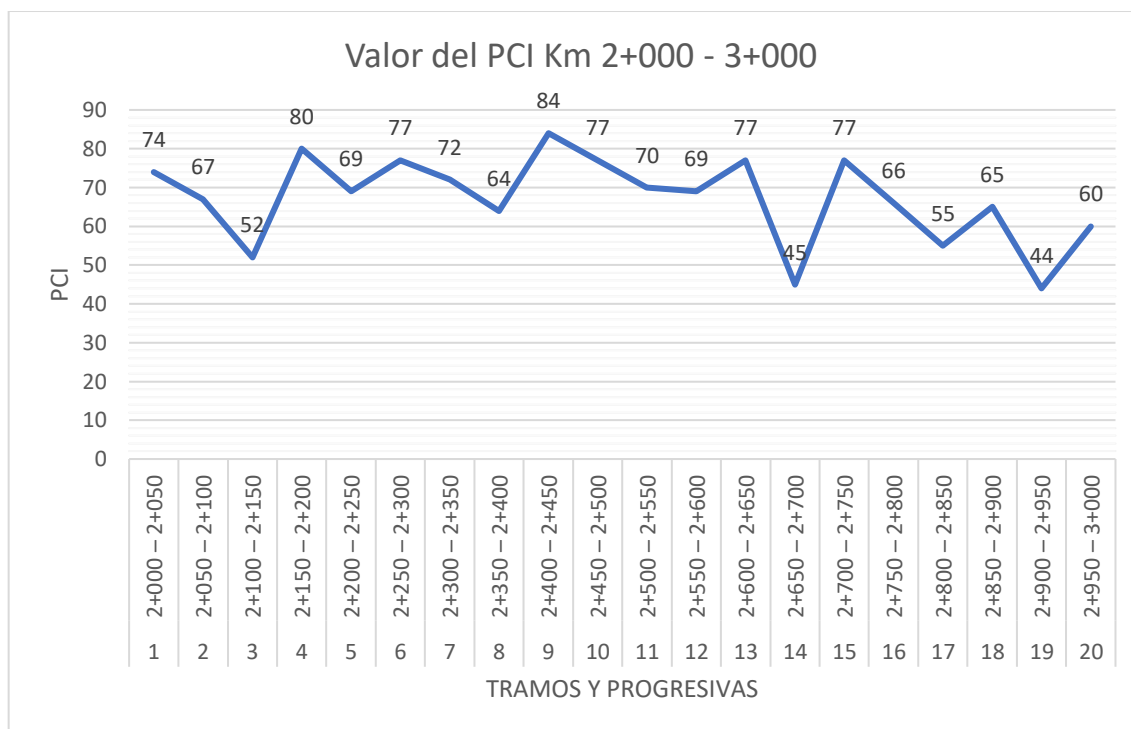


Figura 45: Gráfico de variación del PCI en función de las progresivas.

Fuente: propia.

El gráfico muestra la evolución de los valores de PCI a lo largo de los 20 tramos. Se observa que los valores tienden a mantenerse en rangos buenos y muy buenos, aunque existen caídas significativas en los tramos 3, 14, 17 y 19, donde el PCI se reduce a valores con clasificación regular. Estos descensos reflejan zonas críticas que requieren mayor atención en términos de mantenimiento.

En PCI general o también llamado PCI total, se determina como el promedio de todos los valores de cada sección, obteniéndose un valor de 67, lo que corresponde a una clasificación de pavimento en condición **Buena**.

5.4. Interpretación de resultados

La presente sección tiene como finalidad analizar y exponer los resultados obtenidos tras la evaluación del pavimento de la avenida Confraternidad.

En primer lugar, la Figura 46 muestra el gráfico comparativo de PCI, donde se aprecia que la mayoría de los tramos se encuentran en condición Muy buena (40%) y Buena (40%), mientras que un 20% corresponde a tramos clasificados como Regulares.

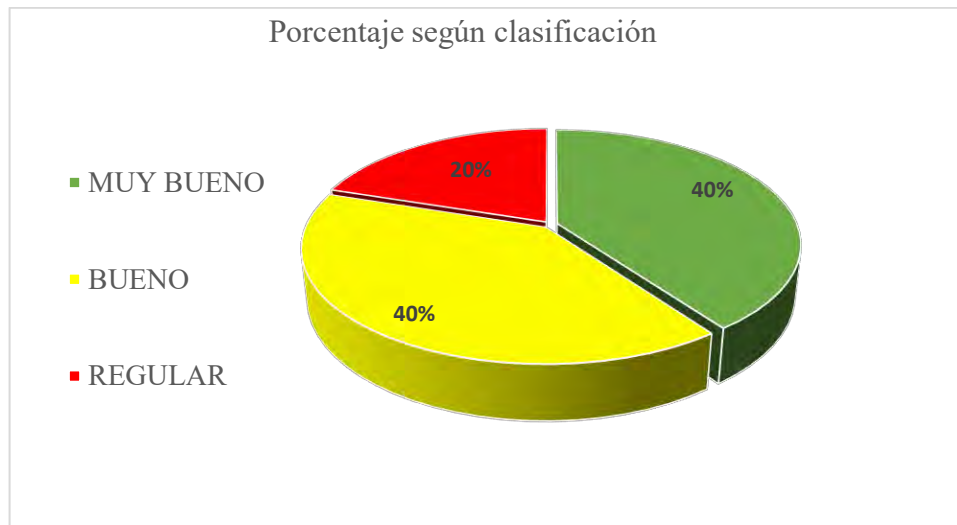


Figura 46: Distribución porcentual de tramos según clasificación del PCI.

Fuente: Propia.

Este gráfico circular evidencia que la mayor parte de la vía analizada presenta un comportamiento favorable, con predominio de tramos en condición buena y muy buena. Sin embargo, existe un porcentaje no despreciable de tramos en condición regular que podrían evolucionar hacia categorías de mayor deterioro si no se intervienen oportunamente.

Posteriormente, en las Tablas 10 y 11 se muestra el metrado detallado de fallas de los 20 tramos evaluados, lo que permite cuantificar las áreas o longitudes afectadas por tipo de deterioro. Estos datos son sintetizados en la Tabla 12, donde se presenta el resumen del metrado total de las fallas.

Tabla 10: Metrado de fallas del tramo 1 al 10.

Fallas			Tramos									
Tipo	Und	Severidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(1) Piel de cocodrilo	m ²	L	0.75	1.96	1.36	1.35	4.07	8.03	4.62	0.78	0.448	0
		M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(7) Grietas de borde	m	L	28.18	5.094	9.17	6.98	12.03	18.51	11.8	11.49	10.88	3.49
		M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(10) Grietas longitudinales y transversales	m	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(11) Parcheo	m ²	L	2.8	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0
		M	0	36.39	6.38	2.47	0	1.44	1.14	1.39	4.22	7.6
		H	0	0	0	0	0	0	1.48	0	0	0
(12) Pulimiento de agregados	m ²	G	50	40.6	50	50	50	50	50	50	50	50
(13) Huecos	Und	L	3	2	0	3	0	0	1	0	1	0
		M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Fuente propia.

Tabla 11: Metrado de fallas del tramo 11 al 20.

Fallas			Tramos									
Tipo	Und	Severidad	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(1) Piel de cocodrilo	m ²	L	0	0	0	0	1.16	5.86	7.61	6.94	0	0
		M	0	0	0	0	0	0	2.88	0	21.73	7.35
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(7) Grietas de borde	m	L	3.49	8.07	7.18	16.63	9.67	9.67	5.84	6.24	0	8.61
		M	0	8.66	0	4.08	0	0	0	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(10) Grietas longitudinales y transversales	m	L	0	2.38	0	0	7.22	0	0	6.45	5.58	0
		M	0	23.04	0	0	0	0	0	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(11) Parcheo	m ²	L	0	0	0.04	0	0	1.14	0	0	0	0
		M	7.6	1.14	4.62	3.41	0	0	1.14	1.26	9.16	1.8
		H	0	0	0	4.66	0	0	0	0	0	0
(12) Pulimiento de agregados	m ²	G	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
(13) Huecos	Und	L	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
		M	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Fuente propia.

Las fallas encontradas hacen un total de 6: piel de cocodrilo, grieta de borde, grieta longitudinal y transversal, parcheo, pulimiento de agregados y huecos.

Tabla 12: Resumen de metrado de fallas.

Fallas			Metrado resumen
Tipo	Unidad	Severidad	
(1) Piel de cocodrilo	m ²	L	44.94
		M	31.96
		H	0.00
(7) Grietas de borde	m	L	194.63
		M	12.74
		H	0.00
(10) Grietas longitudinales y transversales	m	L	21.63
		M	23.04
		H	0.00
(11) Parcheo	m ²	L	4.15
		M	89.20
		H	6.14
(12) Pulimiento de agregados	m ²	G	990.6
(13) Huecos	und	L	15
		M	3
		H	0

Nota: Fuente propia.

El análisis del metrado evidencia que las fallas más recurrentes son el pulimiento de agregados (con un área superior a 990 m²) y las grietas de borde (más de 194 m). También se registraron fallas tipo piel de cocodrilo, parches y huecos en menor proporción.

Complementando los resultados, la Figura 47 muestra la representación espacial de los resultados procesados en el software *ArcGIS*. En dichas imágenes se visualiza la clasificación de los tramos conforme al valor del PCI, utilizando una codificación por colores: verde para tramos en condición muy buena, amarillo para condición buena y rojo para condición regular. Esta representación cartográfica facilita la comprensión de la distribución del estado del pavimento en la totalidad del recorrido evaluado.

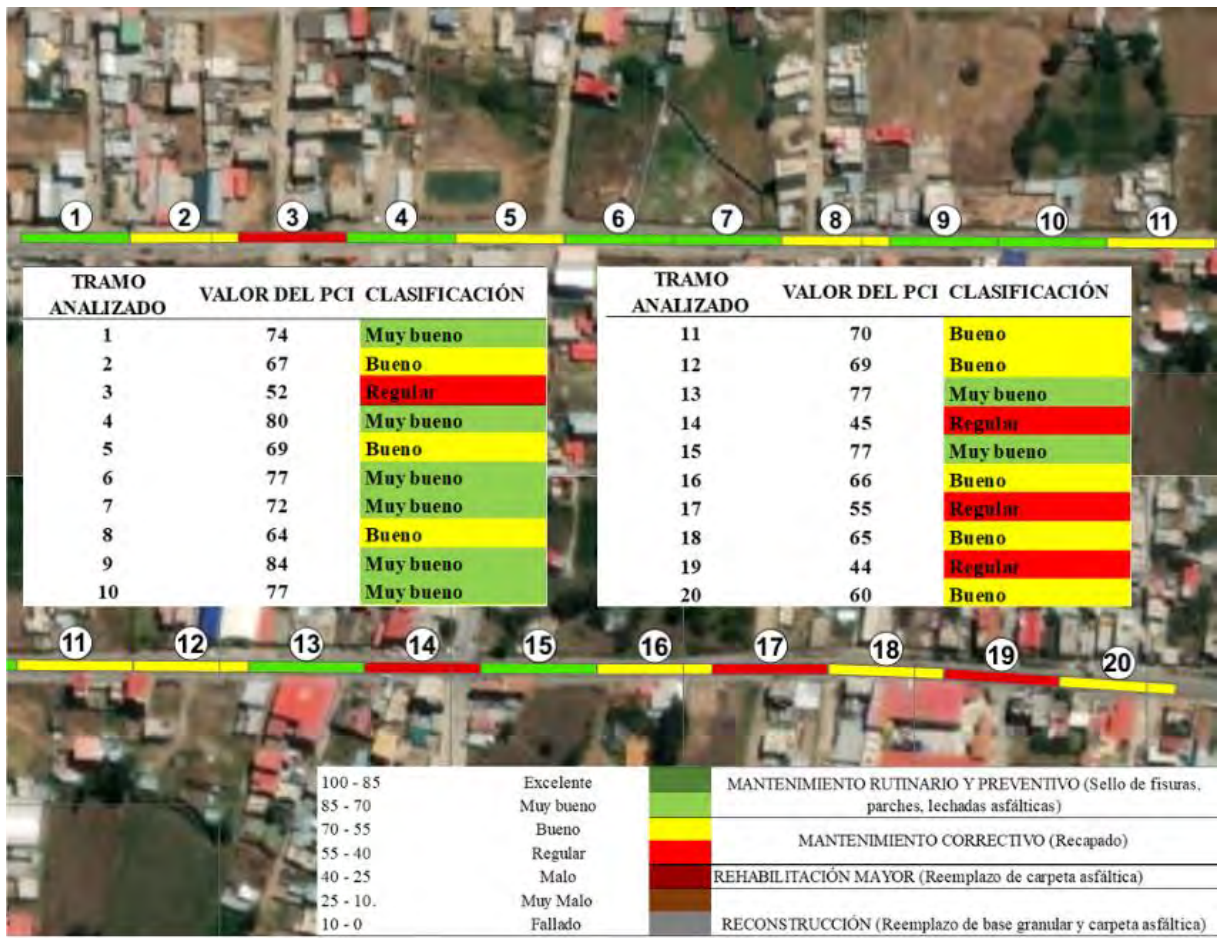


Figura 47: Análisis del PCI en los 20 tramos.

Fuente propia.








Se observa que los tramos con PCI menor a 55 corresponden a intersecciones con alto flujo vehicular y maniobras frecuentes de vehículos pesados, lo que genera mayores niveles de deterioro. En conclusión, los resultados permiten identificar que la mayoría de la avenida presenta un estado aceptable (Bueno a Muy bueno), aunque existen cuatro tramos críticos en condición Regular que requieren atención inmediata para evitar un deterioro acelerado.

6. Capítulo VI. Propuestas técnicas de rehabilitación y análisis económico

6.1. Distinción de tramos según severidad de daño

De acuerdo con la clasificación propuesta por Gutiérrez (2015), el estado del pavimento puede evaluarse mediante el valor de PCI, el cual se relaciona directamente con el tipo de mantenimiento requerido. En la Tabla 13 se muestran los rangos de calificación y las acciones de conservación o rehabilitación recomendadas para cada nivel de condición.

Tabla 13: Tipos de Mantenimiento.

Rango	Clasificación	Color	Tipo de mantenimiento
100 - 85	Excelente		Mantenimiento rutinario y preventivo (Sello de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
85 - 70	Muy bueno		
70 - 55	Bueno		Mantenimiento correctivo (Recapado)
55 - 40	Regular		
40 - 25	Malo		Rehabilitación mayor (Reemplazo de carpeta asfáltica)
25 - 10.	Muy Malo		Reconstrucción (Reemplazo de base granular y carpeta asfáltica)
10 - 0	Fallado		

Nota: Tomado de “*Mecánica de Suelos Aplicada a Vías de Transportes*” Gutiérrez, 2020.

Aplicando estos criterios a los resultados obtenidos en el presente estudio, los tramos evaluados se agrupan en tres categorías principales: muy bueno, bueno y regular. La Tabla 14 resume la distribución de los tramos, las fallas predominantes y las intervenciones sugeridas para cada caso.

Tabla 14: Clasificación de tramos, principales fallas y mantenimiento recomendado.

Condición del pavimento	Tramos	Principales fallas	Tipo de mantenimiento recomendado (según Gutiérrez, 2020)
Muy bueno (85–70)	1, 4, 6, 7, 9, 10, 13, 15	- Grietas de borde - Pulimiento	Mantenimiento rutinario y preventivo (sellado de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
Bueno (70–55)	2, 5, 8, 11, 12, 16, 18, 20	- Piel de cocodrilo - Grietas de borde - Parcheo - Pulimiento - Huecos	Mantenimiento correctivo (recapado, sellado de fisuras y parches)
Regular (55–40)	3, 14, 17, 19	- Piel de cocodrilo - Grietas de borde - Grietas longitudinales - Parcheo - Huecos	Rehabilitación parcial: parcheo profundo en huecos y áreas con piel de cocodrilo

Nota: Fuente propia.

Como se observa, la mayoría de tramos se encuentra en condición muy buena y buena, requiriendo únicamente labores de mantenimiento rutinario y correctivo. En contraste, los tramos clasificados como regulares presentan fallas más severas, principalmente piel de cocodrilo y grietas longitudinales, por lo que demandan intervenciones de rehabilitación parcial. Esta clasificación permite priorizar las acciones de conservación, optimizando el uso de recursos en función del grado de deterioro.

6.2. Propuestas de solución para cada tipo de falla

En este capítulo, se presentan las soluciones recomendadas para las principales fallas identificadas en la avenida Confraternidad. Las propuestas se basan en prácticas empleadas en el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles.

Piel de cocodrilo

Como ya se explicó en el capítulo 2.2 de este documento, las fallas de piel de cocodrilo son a causa de la fatiga de la carpeta asfáltica; así como también a las deflexiones elásticas repetidas. La reparación de este tipo de falla tiene que ser de inmediato, debido a que tarda poco tiempo en clasificarse como severidad alta.

Las propuestas de solución para este tipo de falla son las siguientes: Primero, para fallas con severidad leve, se requiere la aplicación de en superficie afectada con emulsión bituminosa (incluida la rejuvenecedora cuando corresponda), y sellar la capa mediante tratamiento con agregado o lechada asfáltica. Segundo, para fallas con severidad media, bacheo superficial donde se necesitan mezclas asfálticas en frío o caliente, bacheo parcial, o un bacheo profundo dependiendo del área afectada. Finalmente, para severidades altas, se necesita un bacheo profundo con reposición de la base granular, reposición y mejoramiento del drenaje de la avenida (MOPC, 2016).

Grieta de borde

En la avenida analizada, la mayoría de grietas de borde encontradas fueron de severidad leve, solo se muestran fisuras y aún no existen bloques desprendidos, todo el borde aún se encuentra íntegro. La solución para esta imperfección es verificar su estado de conservación y su drenaje superficial. En las zonas propensas a clasificar como severidad media, se necesita la aplicación de mezcla asfáltica en frío o caliente, así como también, sellado de superficie con material bituminoso (Ayers et al., 2018).

Grietas longitudinales y transversales

Las grietas longitudinales encontradas fueron mínimas, solo se evidenció en el tramo 12 una fisura de 10 metros lineales con severidad media, en los otros tramos no se encontró dicha falla. Se sugiere intervenir las grietas mediante un sellado que impida su progresión. Para ello, se recomienda aplicar asfalto líquido o una emulsión bituminosa con adición de arena (MOPC, 2016).

Parcheo

En todos los tramos analizados se encontraron parches con un promedio de 50 centímetros de espesor a lo ancho de la vía. A partir del reconocimiento técnico realizado durante las visitas de campo, se constató que varias de estas reparaciones corresponden a intervenciones recientes ejecutadas para habilitar o mantener los servicios de agua y desagüe, lo que implicó la apertura y posterior reposición de la carpeta asfáltica.

Las severidades observadas fueron variables, ya que en muchos de los parches existen hundimientos que generan incomodidad en los usuarios; por ello, la solución para parches con severidad media es retirar el parche actual y sustituirlo por otro de mejor calidad. Asimismo, se identificaron huecos que fueron reparados con parches: por ejemplo, en el tramo 3 se aplicó esta técnica en un área de 50 metros cuadrados, reparado en 2023 y clasificado como severidad media por su magnitud y acabado. Para todos los parches encontrados, la solución recomendada

es vigilar su evolución y reemplazar aquellos que presenten deterioro significativo, garantizando la restitución adecuada de la superficie de rodadura.

Pulimiento de agregados

El pulimiento de agregados no puede identificarse con precisión únicamente a partir de la ortofoto, debido a que esta falla se caracteriza por la pérdida de microtextura y la disminución de la fricción superficial, aspectos que no son distinguibles visualmente desde una imagen aérea. Sin embargo, durante los recorridos de verificación en campo realizados para complementar la evaluación con ortofotos, se observó que esta falla estaba presente de manera generalizada a lo largo de la avenida Confraternidad, evidenciándose una superficie lisa y con baja resistencia al deslizamiento.

La causa principal está asociada al constante tránsito vehicular y a la acción abrasiva sobre la superficie asfáltica, así como a los años de servicio de la vía. Para mitigar este deterioro, se recomienda aplicar sellado superficial con lechada asfáltica o ejecutar un tratamiento superficial asfáltico mediante una carpeta friccionante o un recapado delgado (Ramírez, 2019).

Huecos

En el tramo de todo el kilómetro analizado se encontraron huecos de severidad leve y media, mas no de severidad alta; sin embargo, en otros tramos se observaron huecos con severidad alta con diámetros que superan una longitud de un metro. La solución para este tipo de fallas es aplicar un parcheo acorde a la severidad, por ejemplo, para los huecos con severidad leve aplicar parcheos superficiales, y para los de severidad media y alta aplicar parches profundos. Los materiales que se utilicen son indispensables que sean de muy buena calidad ya que se evidencian algunos parches aplicados deteriorados en poco tiempo.

6.3. Evaluación económica del mantenimiento

La evaluación económica del mantenimiento constituye un aspecto esencial en la gestión de pavimentos flexibles, pues permite cuantificar los costos asociados a cada alternativa de intervención y estimar su viabilidad en diferentes horizontes de tiempo. Este análisis no solo facilita la toma de decisiones orientadas a optimizar los recursos disponibles, sino que también contribuye a prolongar la vida útil del pavimento y a minimizar los gastos derivados de rehabilitaciones mayores o reconstrucciones. A continuación, se presenta la clasificación de los tipos de mantenimiento aplicables, junto con el cálculo económico de cada solución propuesta y una valoración que contempla el impacto de dichas intervenciones a corto, mediano y largo plazo.

La clasificación adoptada considera tres horizontes temporales: (i) corto plazo (<5 años), (ii) mediano plazo (5–10 años) y (iii) largo plazo (>10 años). Según los resultados obtenidos, las alternativas de intervención se agrupan en tres categorías: (A) mantenimiento rutinario y preventivo, (B) mantenimiento periódico y (C) rehabilitación mayor, cada una con su respectivo costo unitario.

En las Tablas 15, 16 y 17, se presentan los cálculos económicos asociados a cada tipo de intervención. Los metrados incluidos provienen del levantamiento realizado en Autodesk Civil 3D, a partir del ortomosaico georreferenciado generado en Agisoft PhotoScan en escala real, lo que permitió obtener con precisión longitudes y áreas asociados a cada tipo de intervención. Por su parte, los costos unitarios aplicados fueron tomados y adaptados del documento técnico de la Municipalidad Provincial de Abancay (2023), Mantenimiento de pavimento flexible en la vía Av. Martinelli y Av. Malvinas – Abancay, Apurímac, el cual proporciona los valores de referencia para la elaboración del presupuesto.

A. Costo de mantenimiento rutinario y preventivo

El mantenimiento rutinario y preventivo incluye actividades como limpieza de vías, señalización y drenaje; así como labores correctivas como el bacheo, parcheo y sellado de fisuras (Espinosa, 2009). En el caso de la presente tesis, para el mantenimiento preventivo se consideraron aquellas fallas con niveles de severidad media y alta, aplicando tratamientos como el sellado de fisuras, aplicación de parches y lechadas asfálticas. A continuación, en la Tabla 15 se presenta un cuadro con los costos estimados de dichas operaciones.

Tabla 15: Costos de mantenimiento rutinario y preventivo.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
1	Mantenimiento de pavimento flexible				S/ 69,027.14
1.01	Trabajos provisionales				S/ 3,000.00
01.01.01	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1	3,000.00	S/ 3,000.00
1.02	Trabajos preliminares				S/ 5,060.00
01.02.01	Trazo, niveles y replanteo	m²	4800	0.33	S/ 1,584.00
01.02.02	Equipamiento para la seguridad y protección	glb	1	2,780.00	S/ 2,780.00
01.02.03	Señalización temporal de seguridad	glb	1	696.00	S/ 696.00
1.03	Movimiento de tierras				S/ 8,977.06
01.03.01	Corte de pavimento existente con equipo menor	m	130.295	19.24	S/ 2,506.88
01.03.02	Demolición de pavimento asfáltico	m³	26.059	64.56	S/ 1,682.37
01.03.03	Excavación manual de terreno compactado	m³	13.0295	43.04	S/ 560.79
01.03.04	Extendido, relleno y compactado de base granular	m²	130.295	28.11	S/ 3,662.59
01.03.05	Eliminación de material excedente	m³	13.0295	43.32	S/ 564.44
1.04	Pruebas de calidad				S/ 4,000.00
01.04.01	Diseño de mezclas	glb	1	4,000.00	S/ 4,000.00
1.05	Fisuras				S/ 232.21
01.05.01	Sellado con material bituminoso	m	35.78	6.49	S/ 232.21
1.06	Pulimiento de agregados				S/ 0.00
01.06.01	Tratamiento superficial asfáltico (imprimación)	m	0	6.80	S/ 0.00
1.07	Pavimentos				S/ 35,627.86
01.07.01	Ligante asfáltico	m²	130.295	23.44	S/ 3,054.11
01.07.02	Parchado superficial en calzada e= 4"	m²	130.295	250.00	S/ 32,573.75
1.08	Pintura				S/ 10,130.00
01.08.01	Reparación y pintura para sardineles	m²	1000	10.13	S/ 10,130.00
1.09	Cunetas				S/ 2,000.00
01.09.01	Mantenimiento de cunetas	m	1000	2.00	S/ 2,000.00
PRESUPUESTO TOTAL (SOLES)					69,027.14

Nota: Adaptado de Municipalidad Provincial de Abancay (2023), *Mantenimiento de pavimento flexible en la vía Av. Martinelli y Av. Malvinas – Abancay, Apurímac*. Documentos técnicos: Resumen Ejecutivo, Memoria Descriptiva y Presupuesto.

B. Mantenimiento correctivo

Actividades: Para el mantenimiento preventivo se consideraron las fallas en severidad leve, media y alta, los procedimientos son de recapado asfáltico para restaurar la superficie de rodadura. El costo de dicho proceso se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16: Costos de mantenimiento correctivo.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
1	Mantenimiento de pavimento flexible				S/ 102,106.53
1.01	Trabajos provisionales				S/ 6,000.00
01.01.01	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1	6,000.00	S/ 6,000.00
1.02	Trabajos preliminares				S/ 5,060.00
01.02.01	Trazo, niveles y replanteo	m²	4800	0.33	S/ 1,584.00
01.02.02	Equipamiento para la seguridad y protección	glb	1	2,780.00	S/ 2,780.00
01.02.03	Señalización temporal de seguridad	glb	1	696.00	S/ 696.00
1.03	Movimiento de tierras				S/ 13,392.60
01.03.01	Corte de pavimento existente con equipo menor	m	194.383	19.24	S/ 3,739.93
01.03.02	Demolición de pavimento asfáltico	m³	38.8766	64.56	S/ 2,509.87
01.03.03	Excavación manual de terreno compactado	m³	19.4383	43.04	S/ 836.62
01.03.04	Extendido, relleno y compactado de base granular	m²	194.383	28.11	S/ 5,464.11
01.03.06	Eliminación de material excedente con maquinaria	m³	19.4383	43.32	S/ 842.07
1.04	Pruebas de calidad				S/ 4,000.00
01.04.01	Diseño de mezclas	glb	1	4,000.00	S/ 4,000.00
1.05	Fisuras				S/ 1,635.77
01.05.01	Sellado con material bituminoso	m	252.044	6.49	S/ 1,635.77
1.06	Pulimiento de agregados				S/ 6,736.08
01.06.01	Tratamiento superficial asfáltico (imprimación)	m	990.6	6.80	S/ 6,736.08
1.07	Pavimentos				S/ 53,152.09
01.07.01	Ligante asfáltico	m²	194.383	23.44	S/ 4,556.34
01.07.02	Parchado superficial en calzada e= 4"	m²	194.383	250.00	S/ 48,595.75
1.08	Pintura				S/ 10,130.00
01.08.01	Reparación y pintura para sardineles	m²	1000	10.13	S/ 10,130.00
1.09	Cunetas				S/ 2,000.00
01.0.01	Mantenimiento de cunetas	m	1000	2.00	S/ 2,000.00
PRESUPUESTO TOTAL (SOLES)					102,106.53

Nota: Adaptado de Municipalidad Provincial de Abancay (2023), *Mantenimiento de pavimento flexible en la vía Av. Martinelli y Av. Malvinas – Abancay, Apurímac*. Documentos técnicos: Resumen Ejecutivo, Memoria Descriptiva y Presupuesto.

C. Rehabilitación mayor

Actividades: Para la rehabilitación mayor ya corresponde al reemplazo de la carpeta asfáltica para restaurar la funcionalidad estructural del pavimento

Tabla 17: Costos de rehabilitación de pavimento.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
1	Mantenimiento de pavimento flexible				S/ 1,809,472.40
1.01	Trabajos provisionales				S/ 18,000.00
01.01.01	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1	18,000.00	S/ 18,000.00
1.02	Trabajos preliminares				S/ 10,120.00
01.02.01	Trazo, niveles y replanteo	m ²	4800	0.66	S/ 3,168.00
01.02.02	Equipamiento para la seguridad y protección	glb	1	5,560.00	S/ 5,560.00
01.02.03	Señalización temporal de seguridad	glb	1	1,392.00	S/ 1,392.00
1.03	Movimiento de tierras				S/ 330,710.40
01.03.01	Corte de pavimento existente	m	4800	19.24	S/ 92,352.00
01.03.02	Demolición de pavimento asfáltico	m ³	960	64.56	S/ 61,977.60
01.03.03	Excavación manual de terreno compactado	m ³	480	43.04	S/ 20,659.20
01.03.04	Extendido, relleno y compactado de base granular	m ²	4800	28.11	S/ 134,928.00
01.03.06	Eliminación de material excedente con maquinaria	m ³	480	43.32	S/ 20,793.60
1.04	Pruebas de calidad				S/ 8,000.00
01.04.01	Diseño de mezclas	glb	1	8,000.00	S/ 8,000.00
1.05	Fisuras				S/ 0.00
01.05.01	Sellado con material bituminoso	m	0	6.49	S/ 0.00
1.06	Pulimiento de agregados				S/ 0.00
01.06.01	Tratamiento superficial asfáltico (imprimación)	m	0	6.80	S/ 0.00
1.07	Pavimentos				S/ 1,312,512.00
01.07.01	Ligante asfáltico	m ²	4800	23.44	S/ 112,512.00
01.07.02	Parchado superficial en calzada e= 4"	m ²	4800	250.00	S/ 1,200,000.00
1.08	Pintura				S/ 10,130.00
01.08.01	Reparación y pintura para sardineles	m ²	1000	10.13	S/ 10,130.00
1.09	Cunetas				S/ 120,000.00
01.09.01	Mantenimiento de cunetas	m	1000	120.00	S/ 120,000.00
PRESUPUESTO TOTAL (SOLES)					1,809,472.40

Nota: Adaptado de Municipalidad Provincial de Abancay (2023), *Mantenimiento de pavimento flexible en la vía Av. Martinelli y Av. Malvinas – Abancay, Apurímac*. Documentos técnicos: Resumen Ejecutivo, Memoria Descriptiva y Presupuesto.

En síntesis, la evaluación económica de las estrategias de mantenimiento permite establecer criterios técnicos para la toma de decisiones, considerando no solo los costos iniciales, sino también los beneficios acumulados a lo largo del tiempo. La implementación

oportuna de acciones preventivas y correctivas, especialmente en los primeros años de vida del pavimento, contribuye significativamente a reducir los gastos asociados a rehabilitaciones mayores y reconstrucciones. Como se evidencia en la Tabla 18, el análisis por horizontes temporales facilita una planificación eficiente, orientada a maximizar la vida útil del pavimento, optimizar el uso de recursos públicos y garantizar la sostenibilidad de la infraestructura vial.

Tabla 18: Evaluación de costos a diferentes plazos.

Horizonte	Estrategia recomendada	Costo (S/.)	Beneficios esperados
Corto plazo (0–5 años)	Mantenimiento rutinario y preventivo	69,027.14	-Reducción del deterioro progresivo -Optimización del desempeño funcional
Mediano plazo (5–10 años)	Mantenimiento correctivo y rehabilitación parcial	102,106.53	-Extensión de la vida útil -Mejora de calidad del servicio vial
Largo plazo (>10 años)	Rehabilitación mayor / Reconstrucción	1,809,472.40	-Restauración total de la capacidad estructural -Reducción de riesgos

Nota: Fuente propia.

En síntesis, en análisis de costos de mantenimiento demuestra que una adecuada planificación y ejecución de las intervenciones permite optimizar los recursos destinados a la conservación del pavimento. La implementación de estrategias preventivas y correctivas en el corto y mediano plazo minimiza la necesidad de reconstrucciones, reduciendo significativamente los costos a lo largo del ciclo de vida del pavimento

Este estudio proporciona una base técnica para la toma de decisiones en la gestión de infraestructura vial, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia del sistema de transporte en la zona de estudio, la recomendación es la intervención en mediano plazo, debido a que mejora significativamente el servicio de la avenida; y el municipio cuenta con los recursos para dicha intervención.

6.4. Relación entre el valor del PCI y los costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento de cada tramo (Tabla 19) se relacionaron con los valores de PCI obtenidos, mostrando una tendencia creciente en el costo a medida que el PCI disminuye.

Tabla 19: Costos de mantenimiento de cada tramo.

Tramo	Clasificación	VALOR PCI	Costo de reparación
Tramo 01	Muy bueno	74	s/ 4,005.72
Tramo 02	Bueno	67	s/ 4,124.70
Tramo 03	Regular	52	s/ 15,481.98
Tramo 04	Muy bueno	80	s/ 4,408.71
Tramo 05	Bueno	69	s/ 4,136.03
Tramo 06	Muy bueno	77	s/ 3,170.89
Tramo 07	Muy bueno	72	s/ 5,061.57
Tramo 08	Bueno	64	s/ 4,596.95
Tramo 09	Muy bueno	84	s/ 2,516.94
Tramo 10	Muy bueno	77	s/ 3,710.48
Tramo 11	Bueno	70	s/ 4,323.92
Tramo 12	Bueno	69	s/ 2,363.32
Tramo 13	Muy bueno	77	s/ 3,341.39
Tramo 14	Regular	45	s/ 4,938.91
Tramo 15	Muy bueno	77	s/ 2,206.23
Tramo 16	Bueno	66	s/ 4,500.96
Tramo 17	Regular	55	s/ 6,061.13
Tramo 18	Bueno	65	s/ 4,931.37
Tramo 19	Regular	44	s/ 12,995.21
Tramo 20	Bueno	60	s/ 5,230.11
Costo total			s/ 102,106.53

Nota: Fuente propia.

A partir de los costos de mantenimiento de cada tramo, se generó una curva de Costo de reparación vs Valor del PCI y se muestra en la Figura 48.

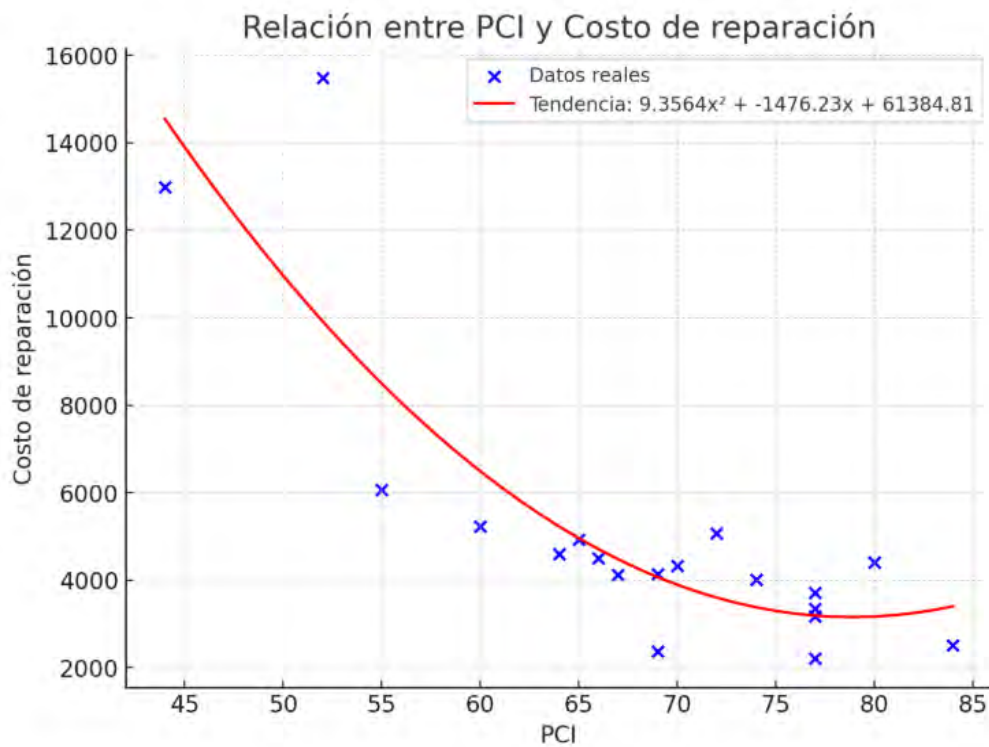


Figura 48: Relación entre PCI y costos de reparación.

Fuente propia.

El análisis de la relación entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el costo de reparación evidencia una tendencia creciente en los costos a medida que el PCI disminuye. Esta correlación refleja la progresión del deterioro del pavimento y la necesidad de intervenciones más costosas a medida que las fallas se agravan.

Los datos procesados se ajustaron mediante una regresión cuadrática, cuya ecuación resultante es:

Ecuación 06: $C(x) = 9.3564x^2 - 1476.23x + 61384.81$

Dicha ecuación indica que el costo de reparación no crece de manera lineal, sino exponencial conforme el PCI se reduce. Esto sugiere que los pavimentos en mejores condiciones requieren mantenimientos de menor costo, como sellado de fisuras y parcheo superficial, mientras que aquellos con PCI bajo demandan intervenciones mayores, como recapados y reconstrucciones parciales y totales.

Además, se identificó un dato atípico dentro del conjunto de valores, correspondiente al tramo 14, en dicha área se identificaron más grietas de borde, grietas longitudinales y transversales, resultando un PCI de 45, Sin embargo, los costos de reparación ascienden a S/4,939.91, que es relativamente bajo, por lo cual no fue considerado. La razón es que las fallas como huecos, piel de cocodrilo y parcheo necesitan un mayor costo de reparación que los tratamientos de fisuras y grietas superficiales.

6.5. Ciclo de vida del pavimento

La siguiente imagen brinda una ilustración respecto al tiempo transcurrido sin reparación y al incremento en costos de mantenimiento.

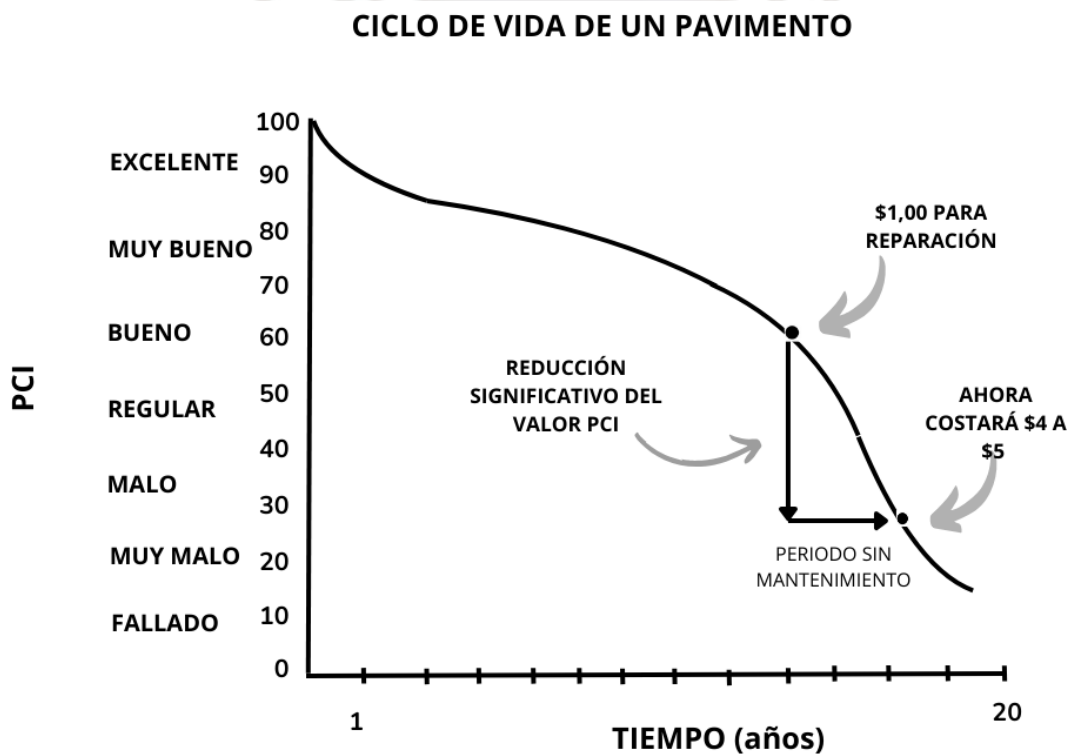


Figura 49: Ciclo de vida de un pavimento.

Tomado de "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. *Scholars Portal*". Shahim,

2005.

La Figura 49 muestra la evolución del PCI en función del tiempo y el incremento de los costos de reparación cuando no se realizan intervenciones oportunas. En el caso de la **Avenida Confraternidad**, los resultados obtenidos indican que los tramos evaluados se encuentran entre las condiciones **muy buenas, buenas y regulares**, lo que permite aplicar mantenimientos rutinarios y correctivos de bajo costo. Si estas acciones se postergan, el deterioro se acelerará y los costos de rehabilitación aumentarán considerablemente, pudiendo llegar a ser hasta cinco veces más elevados que una intervención temprana.

En el contexto de la gestión y ejecución de obras en pavimentos urbanos, según lo indicado en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos, las empresas de servicios públicos que realicen intervenciones que afecten a los pavimentos contemplados en esta norma deben presentar a las municipalidades la “Programación Anual de Ejecución de Obras en Áreas de Dominio Público”. Este plan debe ser entregado antes del 31 de diciembre de cada año o, en caso de que las ordenanzas municipales lo indiquen, en las fechas estipuladas por las mismas. Además, las municipalidades tienen la obligación de actualizar trimestralmente esta programación, la cual debe incluir las obras de mantenimiento, ampliación o construcción de nuevas infraestructuras, acompañada de los estudios básicos, planos, especificaciones técnicas y los plazos estimados para cada intervención

7. Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones:

- La integración del VANT con fotogrametría permitió generar ortofotos georreferenciadas de alta resolución y una base técnica trazable para todo el análisis, sin interrumpir la circulación vehicular.

- La inspección sobre ortofotos georreferenciadas permitió identificar, delimitar y clasificar las fallas principales que son las grietas de borde, piel de cocodrilo, parches, huecos y pulimento del agregado con su severidad y ubicación. Se observó mayor concentración de deterioros en intersecciones, patrón que explica los tramos críticos y orienta la priorización espacial de las intervenciones.

- El cálculo del PCI por tramo se desarrolló conforme a la metodología ASTM D6433, siguiendo la secuencia de densidades, valores deducidos, corrección y valor final. En la unidad de muestreo del tramo 05 se documentó el procedimiento completo, con un PCI de 69. El consolidado confirma que 40 % de la red es “Muy buena”, 40 % es “Buena” y 20 % es “Regular”; no se registraron secciones “Malas”, “Muy malas” ni “Falladas”. Esta distribución evidencia que, si se actúa oportunamente, es posible contener el deterioro con tratamientos de bajo a medio costo.

- El diagnóstico del pavimento de la avenida Confraternidad mediante imágenes de VANT y el método PCI permitió analizar la vía de forma integral. El cálculo por tramos arrojó valores de PCI entre 44 y 84, con un promedio de 67, lo que ubica a la red analizada mayoritariamente en condición “Muy buena” y “Buena”, con algunos tramos “Regulares”. Este resultado confirma que el VANT actúa como una herramienta eficaz que permite evaluar el estado superficial de la vía.

- Las soluciones de mantenimiento se definieron en función de la severidad y la extensión del daño. Para condiciones Muy buena/Buena se recomienda sellado de fisuras, lechadas o

tratamientos superficiales y bacheo superficial; para Regular, bacheo profundo con mejora de drenaje en zonas puntuales. La evaluación económica cuantificó un costo agregado priorizado de S/ 102 106,53 para el conjunto de tramos. Por horizontes, los costos de referencia son S/ 69 027,14 en corto plazo (rutinario-preventivo), S/ 102 106,53 en mediano plazo (correctivo y rehabilitación parcial) y S/ 1 809 472,40 en largo plazo (rehabilitación mayor). La relación entre el PCI y el costo de reparación presenta una tendencia creciente del costo a medida que disminuye el PCI, lo que respalda la intervención temprana como estrategia económicamente ventajosa.

- El análisis del ciclo de vida del pavimento ilustrado en la Figura 49, confirma que, cuando el mantenimiento se posterga, el PCI desciende de manera acelerada y el costo de intervención se multiplica. Este comportamiento es coherente con la relación entre el PCI y el costo de reparación obtenida en el estudio y respalda la priorización de acciones de corto y mediano plazo frente a rehabilitaciones tardías.

- La evidencia integrada en los anexos valida la trazabilidad de los cálculos del PCI y confirma la concentración de deterioros en intersecciones y zonas de maniobra, por lo que estos puntos deben priorizarse, mientras el resto de la vía puede controlarse con acciones rutinarias y preventivas.

- La investigación demuestra la viabilidad de integrar imágenes de VANT con el método PCI en un contexto urbano peruano, generando ortofotos georreferenciadas y formatos de cálculo replicables que mejoran cobertura, trazabilidad y seguridad del personal. En conjunto, el estudio aporta una metodología estandarizable y de bajo costo para la gestión del mantenimiento vial urbano en municipalidades con recursos limitados.

Recomendaciones:

- En la provincia de Andahuaylas, las lluvias son constantes entre enero y febrero, lo que dificulta el vuelo del dron. Por lo tanto, es recomendable realizar el diagnóstico del pavimento entre los meses de mayo y noviembre, cuando las condiciones climáticas sean más favorables.

- El dron requiere una buena recepción de señales GNSS (GPS) para operar correctamente. Aunque la presencia de nubes no impide el despegue, condiciones como nubosidad muy densa, lluvias o tormentas pueden disminuir la precisión del posicionamiento y afectar la calidad de la fotogrametría. Por ello, se recomienda realizar los vuelos en días despejados o con clima estable

- Se recomienda realizar en vuelo entre las 9 y las 2 pm por dos razones. Primero, la sombra existente por las mañanas no permite una visualización nítida de la ortofoto, por lo tanto, no se visualizan los tipos de falla. Segundo, a partir de las 4 pm los vientos son fuertes que desorientan el vuelo del dron y aumentan el porcentaje de error.

- Al momento de analizar las fallas presentes en la avenida, se observó la acumulación de montículos de tierra en los bordes de la vía, producto del arrastre generado por las lluvias. Esta acumulación ocurre cuando el drenaje se encuentra obstruido y no permite evacuar adecuadamente el agua, provocando que los sedimentos se depositen sobre la calzada. Por ello, se recomienda realizar una limpieza previa de la avenida antes del vuelo.

- Se recomienda la implementación de la tecnología VANT en la evaluación periódica del estado de los pavimentos urbanos y rurales, dado que permite un monitoreo rápido y eficiente, optimizando recursos y mejorando la planificación del mantenimiento vial.

- Para maximizar la vida útil del pavimento, se recomienda aplicar tratamientos de mantenimiento preventivo, como sellado de fisuras, lechadas asfálticas y microaglomerados, en tramos con PCI alto. De esta manera, se evitará el desgaste acelerado y se reducirán los costos de rehabilitación.

Referencias Bibliográficas

- AASHTO. (1993). American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington DC, USA.
- Agisoft. (2025). *Aerial data processing (with GCPs)-Orthomosaic&DEM generation*.
Obtenido de: <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/folders/31000117943>
- Agisoft Metashape. (2021). *Agisoft Metashape User Manual Professional*. Edition, Version 1.7.
- Alfageomatics. (2024). *Fotogrametría con drones para detección de daños en pavimento*.
Obtenido de: <https://alfageomatics.com/2024/02/fotogrametria-con-drones-para-deteccion-de-danos-en-pavimento/>
- ASTM - (2007). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. Norma ASTM.
- Ataíde, J., Parente, W., & Marques, E. C. (2021). *drone Application in Topography Services - Case Study*. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(6), 166–174. Obtenido de: <https://doi.org/10.22161/ijaers.86.18>
- Ayers, M., Cackler, T., Fick, G., Harrington, D., Schwartz, D., Smith, K., Snyder, M. B., & Van Dam, T. (2018). *Guide for Concrete Pavement Distress Assessments and Solutions: Identification, Causes, Prevention, and Repair*. Obtenido de: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2019/01/concrete_pvmt_distress_assessments_and_solutions_guide_w_cvr.pdf
- Bui, S. T., Luu, Q. K., Nguyen, D. Q., Le, N. D. M., Loianno, G., & Ho, V. A. (2022). *Tombo Propeller: Bio-Inspired Deformable Structure toward Collision-Accommodated Control for Drones*.

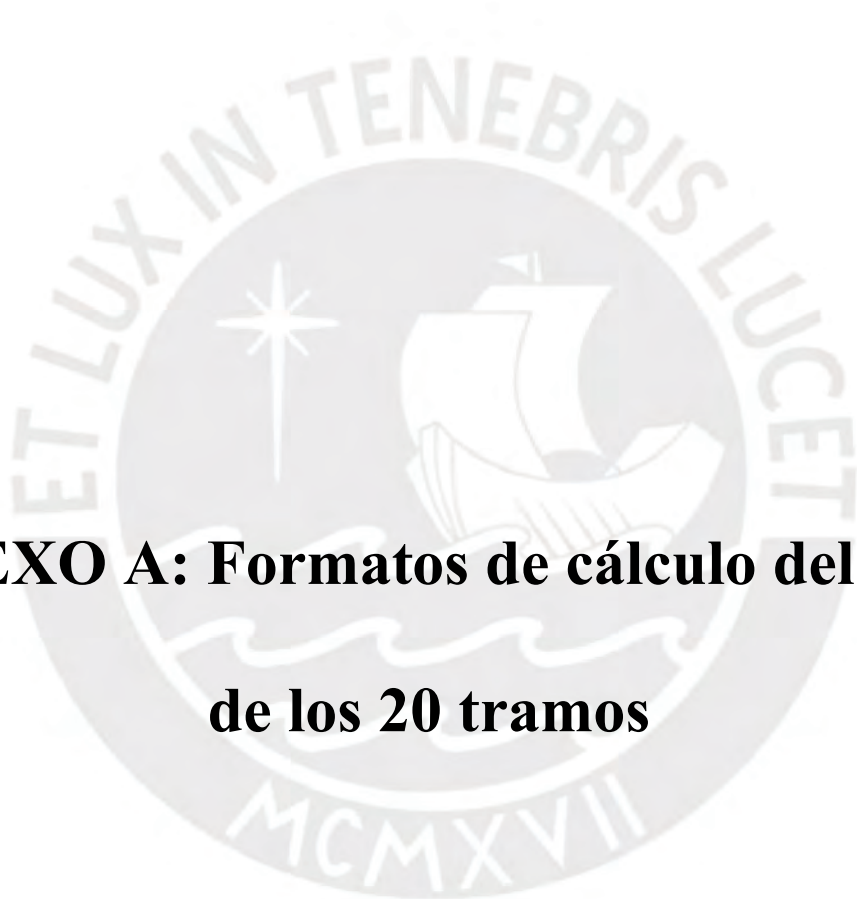
- Carpio, F. P. (2017). *Sistema institucional para la gestión de estrategias de planificación y conservación de caminos rurales en la provincia del Azuay*. Cuenca, Ecuador.
- Corporación Segurimax. (2022). *Especificaciones técnicas dron Phantom 4 Pro* (pp. 1–16). Lima, Perú.
- Cortés, E. J. (2021). *Levantamientos topográficos mediante el uso de drones*. 8(2), 111–124. Colombia.
- Cruz, J. O. (2018). *Cálculo del Índice De Condición del Pavimento con imágenes del vehículo aéreo no tripulado*. Lima, Perú.
- Del Río Santana, O., Gómez, F., Lopez, N. V., Saenz, J. A., & Espinoza, A. T. (2020). *Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones*. 14(2), 2020. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193963490001>
- Drone Archaeology Guide. (n.d.). *Introductory guide to creating 3D models in Agisoft Metashape*. N.d.
- Espinosa, D. (2009). *Guía de mantenimiento para pavimentos asfálticos de vías locales en Bogotá D.C*. Bogotá, Colombia.
- Fiestas, C. D., & Merino Rodriguez, F. G. (2018). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco - Piura usando drones*. 0–116. Piura, Perú.
- Grupo MATIC. (2024). *Equipos para topografía con drones LiDAR*. Obtenido de: <https://grupomatic.com/2024/01/16/equipos-para-topografia-con-drones-lidar/>
- Gutierrez, W. (2016). *Mecánica de Suelos Aplicada a vías de Transporte* (Issue Dc). Lima, Perú.
- Hashim, H. A. (2025). *Advances in UAV Avionics Systems Architecture, Classification and Integration: A Comprehensive Review and Future Perspectives*. arXiv preprint arXiv:2501.00856.

- Hassija, V., Chamola, V., Agrawal, A., Goyal, A., Luong, N. C., Niyato, D., & Yu, F. R. (2021). *Fast, Reliable, and Secure drone Communication: A Comprehensive Survey*. arXiv preprint arXiv:2105.01347.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. In Upper Saddle River, NJ:07458 Prentice Hall. Obtenida de: <https://www.amazon.com/Pavement-Analysis-Design-Yang-Huang/dp/0131424734>
- Mamani, M. (2023). *Evaluación de la superficie de rodadura del pavimento rígido con apoyo de drones en la Av. Circunvalación, Juliaca*. Universidad Peruana Unión. Obtenida de: <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/03f68d84-8615-485b-b3bf-e69aa508acf3>
- Medina, A., & De La Cruz, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI Item Type* info:eu-repo/semantics/bachelorThesis. Obtenida de : <http://hdl.handle.net/10757/581505>
- Menéndez, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos. Materiales* (Vol. 1). Editorial IGC, Lima, Perú.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá, D.C. Colombia.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones - MOPC. (2016). *Identificación de fallas en pavimento y técnicas de reparación*. República Dominicana.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2018). *Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *NTE CE.010 Pavimentos Urbanos*. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú.

- Municipalidad Provincial de Abancay. (2023). *Actividad: Mantenimiento de pavimento flexible en la vía Av. Martinelli y Av. Malvinas, distrito de Abancay – provincia de Abancay – departamento de Apurímac*. Abancay, Perú.
- Ramírez, L. M. (2019). Sistema De Clasificación De Severidad De Daños En Pavimentos Flexibles Para Determinar Posibles Intervenciones. Repositorio EIA, 103.
- Robles Bustios, R. (2015). Cálculo Del Índice De Condición Del Pavimento (PCI) Barranco - Surco – Lima, Perú.
- Rodríguez, E. D. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero*, distrito de Castilla. Piura. In Universidad de Piura. Obtenido de: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf
- Salas, M. J. (2025). *Evaluación del estado superficial y deflectométrico del pavimento flexible de la carretera: Canta – Huayllay, tramo del km. 0+000 al km. 20+000*. Lima, Perú.
- Science Academic Standards. (2005). Topography, Landforms, and Geomorphology Designed to meet South Carolina Department of Education 2005 Science Academic Standards. Carolina del Sur. EEUU.
- Shahim, M. Y. (2005). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Scholars Portal. USA.
- Tacza, E. B., & Rodriguez Paez, B. O. (2018). *Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Obtenido de: <https://doi.org/10.19083/tesis/624556>
- Thenoux Z., G. A. (1995). Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico.

- Vásquez, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (Pci) Para Pavimentos Asfálticos Y De Concreto En Carreteras*. In Ingepav. Obtenido de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Vega, D. A. (2018). *Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al nuevo puerto de Yurimaguas (km 1+1000 a 2+000)*. In PUCP (Vol. 66). Pontificia Universidad Católica Del Perú. Lima, Perú.
- Vergara, A. L. (2015). Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay-Ingenio del km 0+000 al km 1+000, 2014. Perú.
- Villanueva, D. (2023). *Evaluación del estado del pavimento flexible con VIZIR y PCI empleando drones en la carretera a playa Los Delfines, Ventanilla*. Universidad Privada del Norte. Lima, Perú. Obtenido de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/35619>
- Vivar, J. (1995). *Diseño y construcción de pavimentos*. Obtenido de: <https://pdfcoffee.com/disen-y-const-de-pavimentos-vivarpdf-4-pdf-free.html>
- YellowScan. (2024). *drones LiDAR en topografía: Innovación y aplicaciones*. Obtenido de: <https://www.yellowscan.com/es/knowledge/drones-for-surveying/>
- Zafar, M. S., Shah, S. N. R., Memon, M. J., Rind, T. A., & Soomro, M. A. (2019). *Condition Survey for Evaluation of Pavement Condition Index of a Highway*. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 5(6), 1367–1383. Obtenido de: <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091338>
- Zafra, Y. (2018). *Manual Para El Postproceso De Imágenes Obtenidas a Partir De Una Aeronave Tripulada Remotamente (drone) En Los Software Agisoft Photoscan Y Pix4D*. *Invias* – Universidad Distrital Frnacisco José De Caldas, 96. Colombia. Obtenido de: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14055>





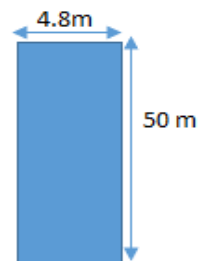
**ANEXO A: Formatos de cálculo del PCI
de los 20 tramos**

HOJA DE REGISTRO												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+000 a 0+050			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 01			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA			
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berma 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento												
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE MUESTRA			INTERV. DE UNI DE M.		NÚMERO MÁXIMO DE DV				
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$			$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$				
Medium	Media	M										
High	Alta	H										
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES												
RANGO	CLASIFICACIÓN	7		11		13		12				
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	
100 - 85	Excelente	5.1	L	3.36	M	1	L	50				
85 - 70	Muy bueno			2.28	M							
70 - 55	Bueno											
55 - 40	Regular											
40 - 25	Malo											
25 - 10.	Muy Malo											
10 - 0	Fallado											
TOTAL	BAJA (L)		5.1				1		50			
	MEDIA (M)				5.64							
	ALTA (H)											
CÁLCULO DEL PCI												
Tipo de daño	Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos			
7	L		5.1		2.13%		3		Número de valores deducidos > 2 (q)			
11	M		5.64		2.35%		16					
13	L		1		0.42%		12					
12			50		20.83%		8					
									Valor deducido más alto	16		
									Número máximo de VD (m)	8.7		
NRO	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC	
1	16	12	8	3					39	4	20	
2	16	12	8	2					38	3	24	
3	16	12	2	2					32	2	26	
4	16	2	2	2					22	1	23	
5												
6												
7												
										Max. VDC	26	
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$		
										PCI =	74	
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Muy bueno		

HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+050 a 0+100																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 02																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento																								
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas																								
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento																								
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados																								
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento																									
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																				
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV)$																				
Medium	Media	M																									
High	Alta	H																									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		11		13		12		
	RANGO	CLASIFICACIÓN																									
100 - 85	Excelente																										
85 - 70	Muy bueno																										
70 - 55	Bueno																										
55 - 40	Regular																										
40 - 25	Malo																										
25 - 10	Muy Malo																										
10 - 0	Fallado																										
Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																
0.75	L	28.18	L	2.8	L	3	L	50																			
TOTAL		BAJA (L)		28.18		2.8		3		50																	
		MEDIA (M)																									
		ALTA (H)																									
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
1		L		0.75		0.31%		5		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
7		L		28.18		11.74%		9																			
11		L		2.8		1.17%		3																			
12				50		20.83%		8																			
13		L		3		1.25%		25		Valor deducido más alto																	
										25																	
										Número máximo de VD (m)																	
										7.9																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		25	9	8	5	3			50	5	24																
2		25	9	8	5	2			49	4	26																
3		25	9	8	2	2			46	3	28																
4		25	9	2	2	2			40	2	31																
5		25	2	2	2	2			33	1	33																
6																											
7																											
										Max. VDC		33															
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																	
										PCI =		67															
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Bueno																	

HOJA DE REGISTRO												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+100 a 0+150			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 03			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA			
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel caril / berma 14 Cruce de vía férrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Abultamiento												
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE			INTERV. DE						NÚMERO MÁXIMO DE
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$			$i = \frac{N}{n}$			$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$		
Medium		Media	M									
High		Alta	H									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES												
RANGO	CLASIFICACIÓN	1		7		11		12		13		
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	
100 - 85	Excelente	1.96	L	5.094	L	36.39	M	40.6		2	L	
85 - 70	Muy bueno											
70 - 55	Bueno											
55 - 40	Regular											
40 - 25	Malo											
25 - 10.	Muy Malo											
10 - 0	Fallado											
TOTAL	BAJA (L)		1.96		5.094		40.6		2			
	MEDIA (M)				36.39							
	ALTA (H)											
CÁLCULO DEL PCI												
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor Deducido	Número máximo de valores deducidos							
1	L	1.96	0.82%	10	Número de valores deducidos > 2 (q)							
7	L	5.094	2.12%	3								
11	M	36.39	15.16%	39								
12		40.6	16.92%	8								
13	L	2	0.83%	18	Valor deducido más alto	39						
					Número máximo de VD (m)	6.6						
NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC			
1	39	18	10	8	3		78	5	41			
2	39	18	10	8	2		77	4	46			
3	39	18	10	2	2		71	3	47			
4	39	18	2	2	2		63	2	48			
5	39	2	2	2	2		47	1	48			
6												
7												
								Max. VDC	48			
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)								$PCI = 100 - \max VDC$				
								PCI =	52			
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO								Regular				

HOJA DE REGISTRO													
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+200 a 0+250				
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 05				
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240				
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA				
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento	2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas	3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento		
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados	5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento							
NIVEL DE SEVERIDAD		UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE							
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$						
Medium	Media	M											
High	Alta	H											
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES													
RANGO		CLASIFICACIÓN		1		7		11		13		12	
100 - 85	Excelente	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
85 - 70	Muy bueno	1.35	L	6.98	L	0.04	L	3	L	50			
70 - 55	Bueno					0.09	L						
55 - 40	Regular					0.04	L						
40 - 25	Malo					1.33	M						
25 - 10.	Muy Malo					1.135	M						
10 - 0	Fallado												
TOTAL	BAJA (L)	1.35		6.98		0.17		3		50			
	MEDIA (M)					2.465							
	ALTA (H)												
CÁLCULO DEL PCI													
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos			
1		L		1.35		0.56%		7		Número de valores deducidos > 2 (q)			
7		L		6.98		2.91%		3					
11		L		0.17		0.07%		1					
11		M		2.465		1.03%		11					
12				50		20.83%		8		Valor deducido más alto		22	
13		L		3		1.25%		22		Número máximo de VD (m)		8.2	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC	
1		22	11	8	7	3		51	5	25			
2		22	11	8	7	2		50	4	28			
3		22	11	8	2	2		45	3	30			
4		22	11	2	2	2		39	2	31			
5		22	2	2	2	2		30	1	30			
6													
7													
										Max. VDC		31	
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$			
										PCI =		69	
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Bueno			



HOJA DE REGISTRO												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+250 a 0+300			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 06			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA			
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento									
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas									
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento									
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados									
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento										
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE					
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV)$					
Medium	Media	M										
High	Alta	H										
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES												
RANGO	CLASIFICACIÓN	1		7		12						
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	
100 - 85	Excelente	4.07	L	12.03	L	50						
85 - 70	Muy bueno											
70 - 55	Bueno											
55 - 40	Regular											
40 - 25	Malo											
25 - 10.	Muy Malo											
10 - 0	Fallado											
TOTAL	BAJA (L)	4.07		12.03		50						
	MEDIA (M)											
	ALTA (H)											
CÁLCULO DEL PCI												
Tipo de daño	Severidad	Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos				
1	L	4.07		1.70%		18		Número de valores deducidos > 2 (q)				
7	L	12.03		5.01%		3						
12		50		20.83%		8						
								Valor deducido más alto	18			
								Número máximo de VD (m)	8.5			
NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC			
1	18	8	3				29	3	18			
2	18	8	2				28	2	22			
3	18	2	2				22	1	23			
4												
5												
6												
7												
								Max. VDC	23			
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)								$PCI = 100 - \max VDC$				
								PCI =	77			
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO								Muy bueno				

HOJA DE REGISTRO																												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+300 a 0+350																			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 07																			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																			
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																												
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																					
Low		Baja	L		$n = \frac{N \times \sigma^2}{e^2 \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$					$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1)$																
Medium		Media	M																									
High		Alta	H																									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		11		12					
	RANGO	CLASIFICACIÓN																										
	100 - 85	Excelente																										
	85 - 70	Muy bueno																										
	70 - 55	Bueno																										
	55 - 40	Regular																										
40 - 25	Malo																											
25 - 10	Muy Malo																											
10 - 0	Fallado																											
Cant.		Sev.		Cant.		Sev.		Cant.		Sev.		Cant.		Sev.														
8.03		L		18.51		L		1.44		M		50																
TOTAL	BAJA (L)		8.03		18.51				50																			
	MEDIA (M)						1.44																					
	ALTA (H)																											
CÁLCULO DEL PCI																												
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																		
1		L		8.03		3.35%		22																				
7		L		18.51		7.71%		4																				
11		M		1.44		0.60%		8																				
12				50		20.83%		8																				
										Número de valores deducidos > 2 (q)																		
										Valor deducido más alto		22																
										Número máximo de VD (m)		8.2																
NRO	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC																	
1	22	8	8	4				42	4	22																		
2	22	8	8	2				40	3	26																		
3	22	8	2	2				34	2	27																		
4	22	2	2	2				28	1	28																		
5																												
6																												
7																												
										Max. VDC	28																	
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																		
										PCI =	72																	
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Muy bueno																		

HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+350 a 0+400																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 08																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento																								
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas																								
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento																								
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados																								
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento																									
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																				
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																				
Medium	Media	M																									
High	Alta	H																									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10.</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10.	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		11		13		12		
	RANGO	CLASIFICACIÓN																									
	100 - 85	Excelente																									
	85 - 70	Muy bueno																									
	70 - 55	Bueno																									
	55 - 40	Regular																									
	40 - 25	Malo																									
	25 - 10.	Muy Malo																									
	10 - 0	Fallado																									
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.															
4.62	L	4.27	L	1.48	H	1	L	50																			
		2.78	L	1.14	M																						
		4.75	L																								
TOTAL	BAJA (L)		4.62		11.8		1		50																		
	MEDIA (M)						1.14																				
	ALTA (H)						1.48																				
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
1		L		4.62		1.93%		18		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
7		L		11.8		4.92%		4																			
11		M		1.14		0.48%		8																			
11		H		1.48		0.62%		18																			
12				50		20.83%		8		Valor deducido más alto																	
13		L		1		0.42%		10																			
										Número máximo de VD (m)																	
										8.5																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		18	18	10	8	8	4		66	6	29																
2		18	18	10	8	8	2		64	5	33																
3		18	18	10	8	2	2		58	4	34																
4		18	18	10	2	2	2		52	3	35																
5		19	18	2	2	2	2		45	2	36																
6		19	2	2	2	2	2		29	1	30																
7																											
										Max. VDC		36															
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																	
										PCI =		64															
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO												Bueno															

HOJA DE REGISTRO																												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+400 a 0+450																			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 9																			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																			
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento																									
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas																									
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento																									
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados																									
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento																										
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																					
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																					
Medium	Media	M																										
High	Alta	H																										
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10.</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10.	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		11		12					
	RANGO	CLASIFICACIÓN																										
	100 - 85	Excelente																										
	85 - 70	Muy bueno																										
	70 - 55	Bueno																										
	55 - 40	Regular																										
	40 - 25	Malo																										
	25 - 10.	Muy Malo																										
	10 - 0	Fallado																										
	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																
0.78	L	4.55	L	1.14	M	50																						
		6.94	L	0.12	M																							
				0.13	M																							
TOTAL	BAJA (L)		0.78		11.49		50																					
	MEDIA (M)						1.39																					
	ALTA (H)																											
CÁLCULO DEL PCI																												
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																		
1		L		0.78		0.33%		6		Número de valores deducidos > 2 (q)																		
7		L		11.49		4.79%		4																				
11		M		1.39		0.58%		7																				
12				50		20.83%		8																				
										Valor deducido más alto																		
										8																		
										Número máximo de VD (m)																		
										9.4																		
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC																
1		8		7		6		4		25		4		10														
2		8		7		6		2		23		3		14														
3		8		7		2		2		19		2		16														
4		8		2		2		2		14		1		14														
5																												
6																												
7																												
												Max. VDC		16														
												RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)		$PCI = 100 - \max VDC$														
												PCI =		84														
												CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO		Muy bueno														

HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+450 a 0+500																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 10																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berma 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE			INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																			
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$			$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																		
Medium		Media	M																								
High		Alta	H																								
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10.</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10.	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		11		12		13	
		RANGO	CLASIFICACIÓN																								
		100 - 85	Excelente																								
		85 - 70	Muy bueno																								
		70 - 55	Bueno																								
		55 - 40	Regular																								
		40 - 25	Malo																								
25 - 10.	Muy Malo																										
10 - 0	Fallado																										
Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																
0.448	L	8.38	L	3.08	M	50		1	L																		
		2.5	L	1.14	M																						
TOTAL		BAJA (L)		0.448		10.88		50		1																	
		MEDIA (M)				4.22																					
		ALTA (H)																									
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
1		L		0.448		0.19%		4		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
7		L		10.88		4.53%		4																			
11		M		4.22		1.76%		13																			
12				50		20.83%		8																			
13		L		1		0.42%		10		Valor deducido más alto																	
										13																	
										Número máximo de VD (m)																	
										9.0																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		13		10		8		4		4		39		5		16											
2		13		10		8		4		2		37		4		19											
3		13		10		8		2		2		35		3		23											
4		13		10		2		2		2		29		2		22											
5		13		2		2		2		2		21		1		21											
6																											
7																											
										Max. VDC		23															
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																	
										PCI =		77															
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Muy bueno																	

HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+500 a 0+550																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 11																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																				
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV)$																			
Medium		Media	M																								
High		Alta	H																								
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	7		11		12					
		RANGO	CLASIFICACIÓN																								
		100 - 85	Excelente																								
		85 - 70	Muy bueno																								
		70 - 55	Bueno																								
		55 - 40	Regular																								
40 - 25	Malo																										
25 - 10	Muy Malo																										
10 - 0	Fallado																										
Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																
1.05	L	3.42	M	50																							
2.44	L	1.14	M																								
		3.04	M																								
TOTAL		BAJA (L)		3.49		50																					
		MEDIA (M)		7.6																							
		ALTA (H)																									
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
1		L		3.49		1.45%		17		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
11		M		7.6		3.17%		20																			
12				50		20.83%		8																			
										Valor deducido más alto																	
										20																	
										Número máximo de VD (m)																	
										8.3																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		20		17		8		45		3		29															
2		20		17		2		39		2		30															
3		20		2		2		24		1		24															
4																											
5																											
6																											
7																											
										Max. VDC		30															
										RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)		$PCI = 100 - \max VDC$															
										PCI =		70															
										CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO		Bueno															

HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+550 a 0+600																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 12																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																				
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																			
Medium		Media	M																								
High		Alta	H																								
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10.</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10.	Muy Malo	10 - 0	Fallado	7		10		11		12			
		RANGO	CLASIFICACIÓN																								
100 - 85	Excelente																										
85 - 70	Muy bueno																										
70 - 55	Bueno																										
55 - 40	Regular																										
40 - 25	Malo																										
25 - 10.	Muy Malo																										
10 - 0	Fallado																										
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																
		8.66	M	23.04	M	1.14	M																				
		8.07	L	2.38	L																						
TOTAL		BAJA (L)		8.07		2.38		50																			
		MEDIA (M)		8.66		23.04		1.14																			
		ALTA (H)																									
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
7		L		8.07		3.36%		4		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
7		M		8.66		3.61%		9																			
10		L		2.38		0.99%		2																			
10		M		23.04		9.60%		19																			
11		M		1.14		0.48%		8		Valor deducido más alto																	
12				50		20.83%		8																			
										Número máximo de VD (m)																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		19	9	8	8	4	2	50	6	21																	
2		19	9	8	8	4	2	50	5	24																	
3		19	9	8	8	2	2	48	4	26																	
4		19	9	8	2	2	2	42	3	27																	
5		19	9	2	2	2	2	36	2	31																	
6		19	2	2	2	2	2	29	1	28																	
7																											
										Max. VDC		31															
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																	
										PCI =		69															
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Bueno																	

HOJA DE REGISTRO																												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+600 a 0+650																			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 13																			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																			
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento																									
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas																									
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento																									
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados																									
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento																										
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																					
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV)$																					
Medium	Media	M																										
High	Alta	H																										
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	7		11		12							
	RANGO	CLASIFICACIÓN																										
	100 - 85	Excelente																										
	85 - 70	Muy bueno																										
	70 - 55	Bueno																										
	55 - 40	Regular																										
	40 - 25	Malo																										
25 - 10	Muy Malo																											
10 - 0	Fallado																											
Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																	
7.18	L	3.48	M	50																								
		1.14	M																									
		0.04	L																									
TOTAL	BAJA (L)		7.18		0.04																							
	MEDIA (M)				4.62		50																					
	ALTA (H)																											
CÁLCULO DEL PCI																												
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																		
7		L		7.18		2.99%		9		Número de valores deducidos > 2 (q)																		
11		L		0.04		0.02%		2																				
11		M		4.02		1.68%		14																				
12		L		50		20.83%		8		Valor deducido más alto																		
										14																		
										Número máximo de VD (m)																		
										8.9																		
NRO	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC																	
1	14	9	8	2				33	4	15																		
2	14	9	8	2				33	3	20																		
3	14	9	2	2				27	2	23																		
4	14	2	2	2				20	1	21																		
5																												
6																												
7																												
									Max. VDC	23																		
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)									$PCI = 100 - \max VDC$																			
									PCI =	77																		
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO									Muy bueno																			

HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+650 a 0+700																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 14																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																				
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																			
Medium		Media	M																								
High		Alta	H																								
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	7		11		13		12			
		RANGO	CLASIFICACIÓN																								
		100 - 85	Excelente																								
		85 - 70	Muy bueno																								
		70 - 55	Bueno																								
		55 - 40	Regular																								
40 - 25	Malo																										
25 - 10	Muy Malo																										
10 - 0	Fallado																										
Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																
13.33	L	2.27	M	1	M	50																					
3.3	L	1.14	M																								
4.08	M	4.66	H																								
TOTAL	BAJA (L)		16.63				50																				
	MEDIA (M)		4.08		3.41		1																				
	ALTA (H)				4.66																						
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
1		L		16.63		6.93%		30		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
1		M		4.08		1.70%		17																			
11		M		3.41		1.42%		13																			
11		H		4.66		1.94%		26																			
12				50		20.83%		8		Valor deducido más alto																	
13		M		1		0.42%		18																			
										Número máximo de VD (m)																	
										7.4																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		30		26		18		17		13		8		112		6		54									
2		30		26		18		17		13		2		106		5		54									
3		30		26		18		17		2		2		95		4		55									
4		30		26		18		2		2		2		80		3		52									
5		30		26		2		2		2		2		64		2		49									
6		30		2		2		2		2		2		40		1		40									
7																											
										Max. VDC		55															
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																	
										PCI =		45															
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Regular																	

HOJA DE REGISTRO												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+750 a 0+800			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 16			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA			
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento									
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas									
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento									
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berma	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados									
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento										
NIVEL DE SEVERIDAD		UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE						
Low	Baja	L										
Medium	Media	M										
High	Alta	H										
			$n = \frac{N \times \sigma^2}{e^2 \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$					
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES												
RANGO	CLASIFICACIÓN	1		7		11		13		12		
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	
100 - 85	Excelente	2.54	L	8.8	M	1.14	M	1	M	50		
85 - 70	Muy bueno	3.32	L									
70 - 55	Bueno											
55 - 40	Regular											
40 - 25	Malo											
25 - 10.	Muy Malo											
10 - 0	Fallado											
TOTAL	BAJA (L)		5.86		8.8				50			
	MEDIA (M)				1.14		1					
	ALTA (H)											
CÁLCULO DEL PCI												
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor Deducido	Número máximo de valores deducidos							
1	L	5.86	2.44%	20	Número de valores deducidos > 2 (q)							
7	L	8.8	3.67%	5								
11	M	1.14	0.48%	8								
12		50	20.83%	8								
13	M	1	0.42%	18	Valor deducido más alto	20						
					Número máximo de VD (m)	8.3						
NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC			
1	20	18	8	8	5		59	5	31			
2	20	18	8	8	2		56	4	31			
3	20	18	8	2	2		50	3	32			
4	20	18	2	2	2		44	2	34			
5	20	2	2	2	2		28	1	30			
6												
7												
								Max. VDC	34			
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)								$PCI = 100 - \max VDC$				
								PCI =	66			
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO								Bueno				

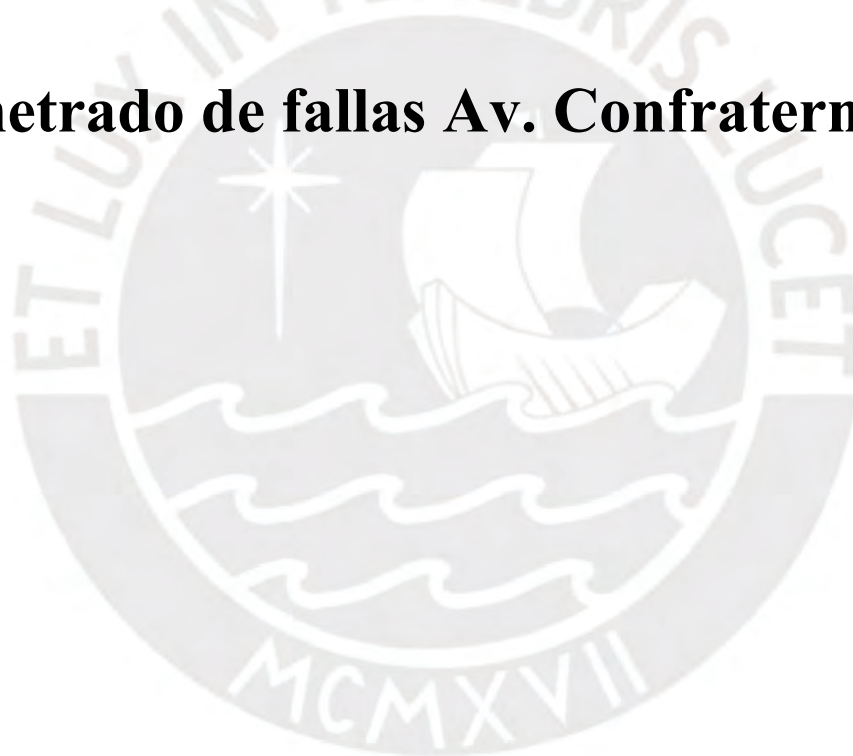
HOJA DE REGISTRO																												
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+800 a 0+850																			
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 17																			
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																			
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																			
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																												
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																					
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																					
Medium	Media	M																										
High	Alta	H																										
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		11		13		12			
	RANGO	CLASIFICACIÓN																										
	100 - 85	Excelente																										
	85 - 70	Muy bueno																										
	70 - 55	Bueno																										
	55 - 40	Regular																										
40 - 25	Malo																											
25 - 10	Muy Malo																											
10 - 0	Fallado																											
Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.																	
7.61	L	5.84	L	1.14	M	1	M	50																				
2.88	M																											
TOTAL	BAJA (L)		7.61		5.84				50																			
	MEDIA (M)		2.88				1.14		1																			
	ALTA (H)																											
CÁLCULO DEL PCI																												
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																		
1		L		7.61		3.17%		20		Número de valores deducidos > 2 (q)																		
1		M		2.88		1.20%		26																				
7		L		5.84		2.43%		2																				
11		M		1.14		0.48%		7																				
12				50		20.83%		8		Valor deducido más alto																		
13		M		1		0.42%		18																				
										Número máximo de VD (m)																		
										7.8																		
NRO	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC																	
1	26	20	18	8	7	2		81	6	35																		
2	26	20	18	8	7	2		81	5	41																		
3	26	20	18	8	2	2		76	4	44																		
4	26	20	18	2	2	2		70	3	45																		
5	26	20	2	2	2	2		54	2	40																		
6	26	2	2	2	2	2		36	1	36																		
7																												
									Max. VDC	45																		
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)									$PCI = 100 - \max VDC$																			
									PCI =	55																		
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO									Regular																			

HOJA DE REGISTRO																													
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+850 a 0+900																				
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 18																				
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																				
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																				
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																													
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE			INTERV. DE						NÚMERO MÁXIMO DE																	
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$			$i = \frac{N}{n}$					$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																	
Medium		Media	M																										
High		Alta	H																										
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		7		10		11		13		12	
		RANGO	CLASIFICACIÓN																										
		100 - 85	Excelente																										
		85 - 70	Muy bueno																										
		70 - 55	Bueno																										
		55 - 40	Regular																										
40 - 25	Malo																												
25 - 10	Muy Malo																												
10 - 0	Fallado																												
Cant.		Sev.		Cant.		Sev.		Cant.		Sev.		Cant.		Sev.															
6.06		L		6.24		L		6.45		L		1.14		M															
0.88		L						0.12		M																			
TOTAL		BAJA (L)		6.94		6.24		6.45		1		50																	
		MEDIA (M)						1.26																					
		ALTA (H)																											
CÁLCULO DEL PCI																													
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																			
1		L		6.94		2.89%		20		Número de valores deducidos > 2 (q)																			
7		L		6.24		2.60%		3																					
10		L		6.45		2.69%		2																					
11		M		1.26		0.53%		8																					
12				50		20.83%		8		Valor deducido más alto		20																	
13		L		1		0.42%		18																					
										Número máximo de VD (m)		8.3																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC																	
1		20		18		8		8		3		2		59		6		26											
2		20		18		8		8		3		2		59		5		30											
3		20		18		8		8		2		2		58		4		34											
4		20		18		8		2		2		2		52		3		35											
5		20		18		2		2		2		2		46		2		34											
6		20		2		2		2		2		2		30		1		31											
																Max. VDC		35											
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)										$PCI = 100 - \max VDC$																			
										PCI =		65																	
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO										Bueno																			

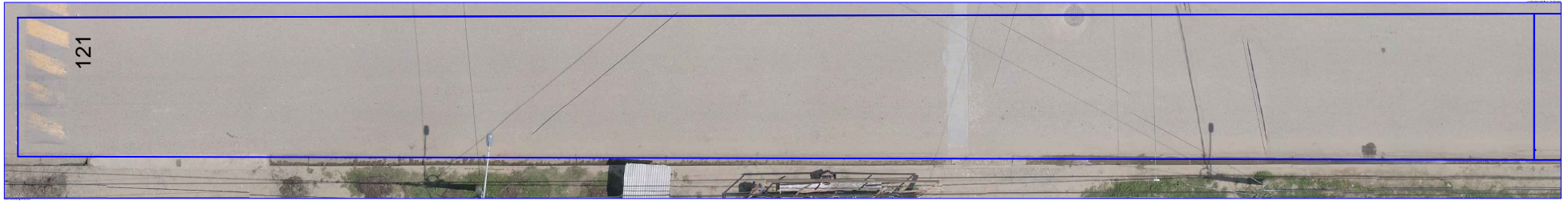
HOJA DE REGISTRO																											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+900 a 0+950																		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 19																		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240																		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA																		
1 Piel de cocodrilo 6 Depresión 11 Parcheo 16 Desplazamiento 2 Exudación 7 Grieta de borde 12 Pulimiento de agregados 17 Grietas parabólicas 3 Agrietamiento en bloque 8 Grieta de reflexión de junta 13 Huecos 18 Hinchamiento 4 Abultamientos y Hundimientos 9 Desnivel carril / berna 14 Cruce de vía ferrea 19 Desprendimiento de agregados 5 Corrugación 10 Grietas longitudinales y transversales 15 Ahuellamiento																											
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE																				
Low		Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$																			
Medium		Media	M																								
High		Alta	H																								
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 - 85</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>85 - 70</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>70 - 55</td> <td>Buena</td> </tr> <tr> <td>55 - 40</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>40 - 25</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>25 - 10</td> <td>Muy Malo</td> </tr> <tr> <td>10 - 0</td> <td>Fallado</td> </tr> </tbody> </table>		RANGO	CLASIFICACIÓN	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Buena	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy Malo	10 - 0	Fallado	1		10		11		13		12	
		RANGO	CLASIFICACIÓN																								
100 - 85	Excelente																										
85 - 70	Muy bueno																										
70 - 55	Buena																										
55 - 40	Regular																										
40 - 25	Malo																										
25 - 10	Muy Malo																										
10 - 0	Fallado																										
Cant.		Sev.		Cant.		Sev.		Cant.		Sev.																	
1.14		M		5.58		L		8.02		M																	
16.93		M						1.14		M																	
3.66		M																									
TOTAL		BAJA (L)		5.58				2		50																	
		MEDIA (M)		21.73				9.16																			
		ALTA (H)																									
CÁLCULO DEL PCI																											
Tipo de daño		Severidad		Total		Densidad (%)		Valor Deducido		Número máximo de valores deducidos																	
1		M		21.73		9.05%		45		Número de valores deducidos > 2 (q)																	
10		L		5.58		2.33%		2																			
11		M		9.16		3.82%		20																			
12				50		20.83%		8																			
13		L		2		0.83%		18		Valor deducido más alto																	
										45																	
										Número máximo de VD (m)																	
										6.1																	
NRO		VALORES DEDUCIDOS						VDT		q		VDC															
1		45		20		18		8		2		93		5		49											
2		42		20		18		8		2		90		4		53											
3		45		20		18		2		2		87		3		56											
4		45		20		2		2		2		71		2		53											
5		45		2		2		2		2		53		1		51											
6																											
7																											
														Max. VDC		56											
														RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)		$PCI = 100 - \max VDC$											
														PCI =		44											
														CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO		Regular											

HOJA DE REGISTRO											
LUGAR: Av Confraternidad, APURIMAC						SECCIÓN			0+950 a 1+000		
FECHA: 17/02/2025						UNIDAD DE MUESTREO			UM 20		
AUTOR: Rodas Guizado Alex						ÁREA DE LA UNIDAD			240		
TIPO DE FALLAS									DIAGRAMA		
1 Piel de cocodrilo	6 Depresión	11 Parcheo	16 Desplazamiento								
2 Exudación	7 Grieta de borde	12 Pulimiento de agregados	17 Grietas parabólicas								
3 Agrietamiento en bloque	8 Grieta de reflexión de junta	13 Huecos	18 Hinchamiento								
4 Abultamientos y Hundimientos	9 Desnivel carril / berna	14 Cruce de vía ferrea	19 Desprendimiento de agregados								
5 Corrugación	10 Grietas longitudinales y transversales	15 Ahuellamiento									
NIVEL DE SEVERIDAD			UNIDADES DE		INTERV. DE		NÚMERO MÁXIMO DE				
Low	Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2}$		$i = \frac{N}{n}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$				
Medium	Media	M									
High	Alta	H									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES											
RANGO	CLASIFICACIÓN	1		7		11		13		12	
		Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.	Cant.	Sev.
100 - 85	Excelente	7.35	M	8.61	L	1.72	M	1	M	50	
85 - 70	Muy bueno					0.08	M				
70 - 55	Bueno										
55 - 40	Regular										
40 - 25	Malo										
25 - 10	Muy Malo										
10 - 0	Fallado										
TOTAL	BAJA (L)		8.61		1		50				
	MEDIA (M)		7.35		1.8						
	ALTA (H)										
CÁLCULO DEL PCI											
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad (%)	Valor Deducido	Número máximo de valores deducidos						
1	M	7.35	3.06%	33	Número de valores deducidos > 2 (q)						
7	L	8.61	3.59%	5							
11	M	1.8	0.75%	9							
12		50	20.83%	8							
13	L	1	0.42%	10	Valor deducido más alto	33					
					Número máximo de VD (m)	7.2					
NRO	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC		
1	33	10	9	8	5		65	5	32		
2	33	10	9	8	2		62	4	36		
3	33	10	9	2	2		56	3	36		
4	33	10	2	2	2		49	2	38		
5	33	2	2	2	2		41	1	40		
6											
7											
								Max. VDC	40		
RESULTADO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)								$PCI = 100 - \max VDC$			
								PCI =	60		
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO								Bueno			

**Anexo B: Planos de ortofoto y
metrado de fallas Av. Confraternidad**

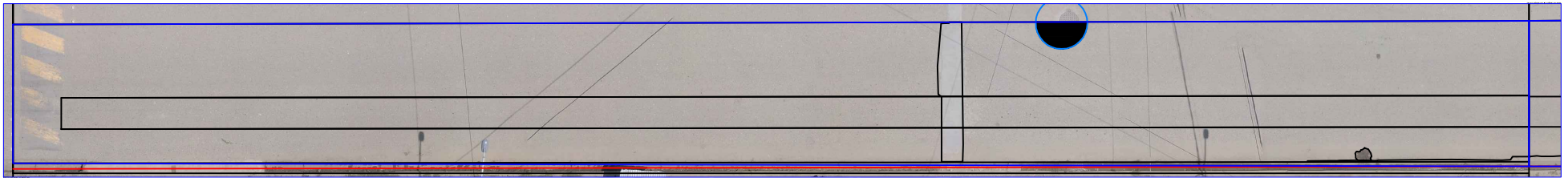


TRAMO 01



METRADO DE FALLAS 01

PLANO Esc: 1/200



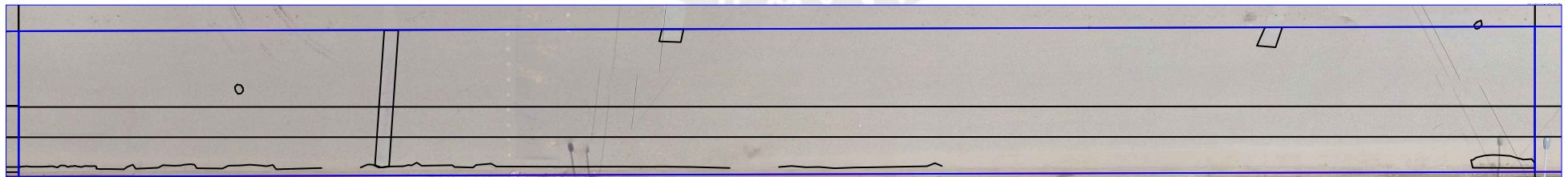
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 02



METRADO DE FALLAS 02

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

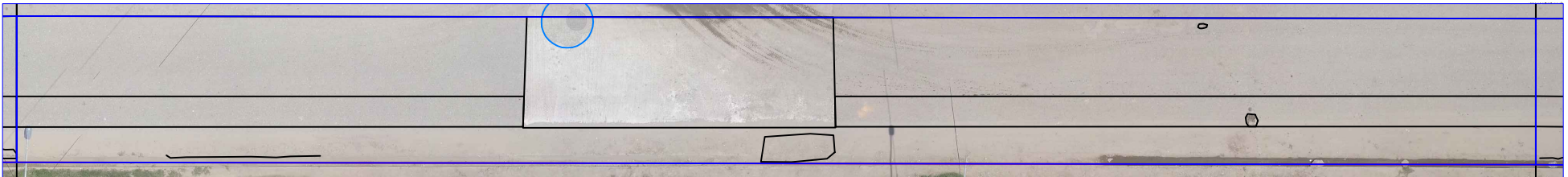
PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		LAMINA: T:1-2
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		
UBICACION: DISTRITO : ANDAHUAYLAS PROVINCIA : ANDAHUAYLAS REGION : APURIMAC	ESCALA: INDICADA FECHA: ABRIL DEL 2025	
LONGITUD: 50 METROS	ELABORADOR POR: ARG	

TRAMO 03



METRADO DE FALLAS 03

PLANO Esc: 1/200



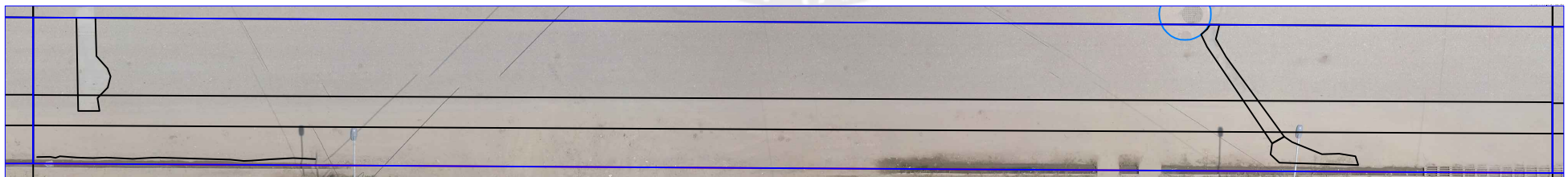
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 04



METRADO DE FALLAS 04

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		LAMINA:
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		T: 03 - 04
UBICACION:	ESCALA: INDICADA	
DISTRITO : ANDAHUAYLAS	FECHA: ABRIL DEL 2025	
PROVINCIA : ANDAHUAYLAS	ELABORADOR POR: ARG	
REGION : APURIMAC		
LONGITUD: 50 METROS		

TRAMO 05



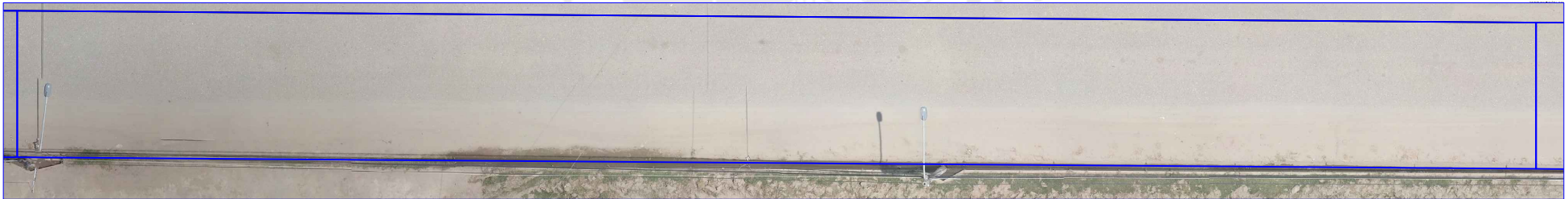
METRADO DE FALLAS 05

PLANO Esc: 1/200



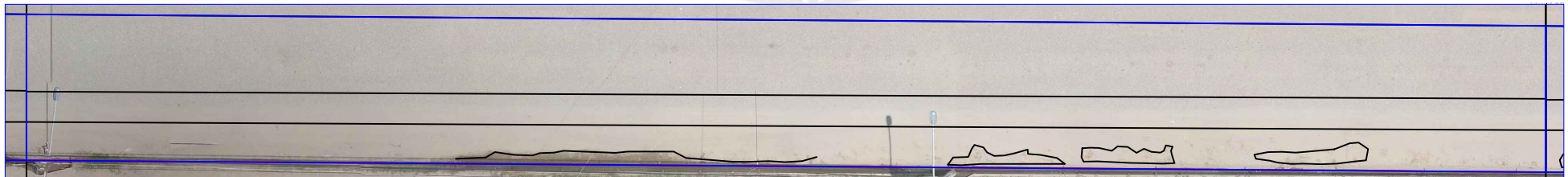
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 06



METRADO DE FALLAS 06

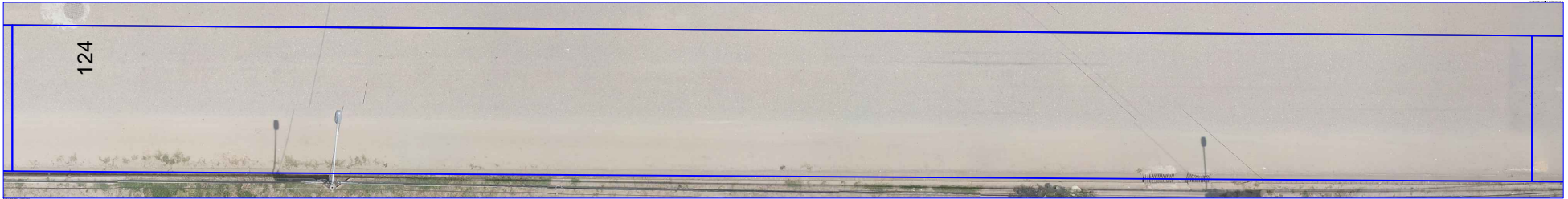
PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

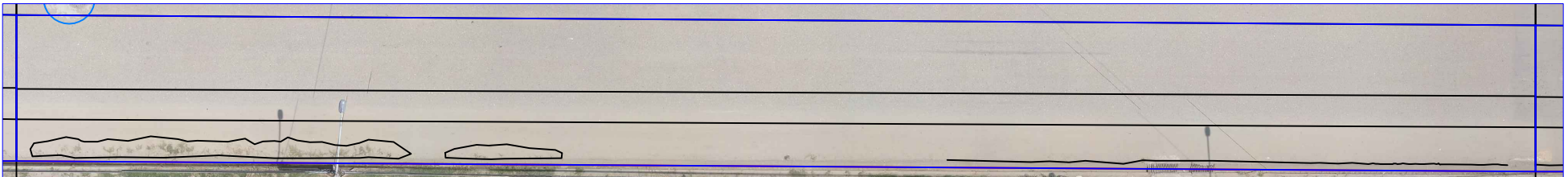
PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		LAMINA:
UBICACION:	ESCALA: INDICADA	T: 05 - 06
DISTRITO : ANDAHUAYLAS	FECHA: ABRIL DEL 2025	
PROVINCIA : ANDAHUAYLAS	ELABORADOR POR:	
REGION : APURIMAC	ARG	
LONGITUD: 50 METROS		

TRAMO 07



METRADO DE FALLAS 07

PLANO Esc: 1/200



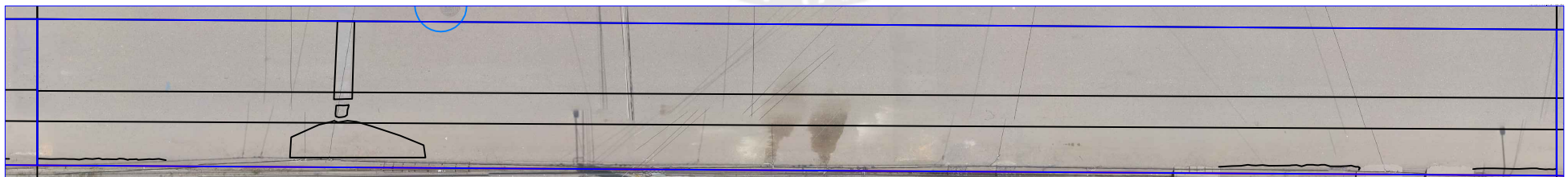
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 08



METRADO DE FALLAS 08

PLANO Esc: 1/200

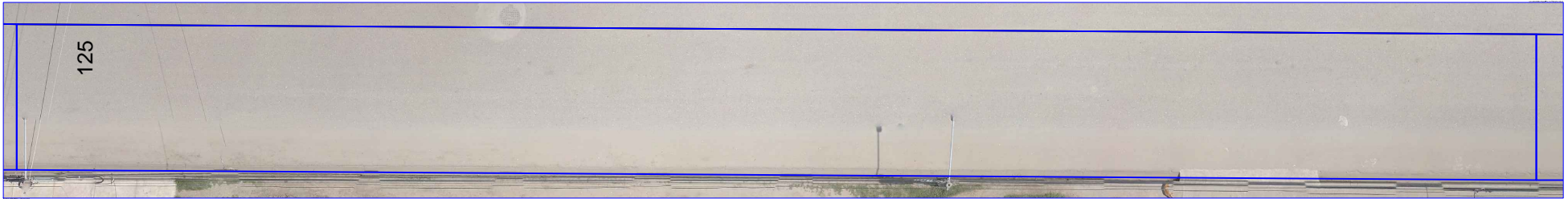


PLANO Esc: 1/200

PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA			
AVENIDA: CONFRATERNIDAD			LAMINA:
UBICACION:		ESCALA: INDICADA	
DISTRITO : ANDAHUAYLAS		FECHA: ABRIL DEL 2025	
PROVINCIA : ANDAHUAYLAS		ELABORADOR POR:	
REGION : APURIMAC		ARG	
LONGITUD: 50 METROS			

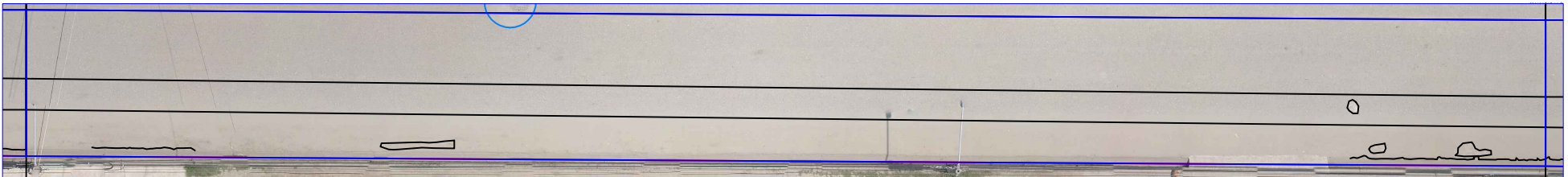
T: 07 - 08

TRAMO 09



METRADO DE FALLAS 09

PLANO Esc: 1/200



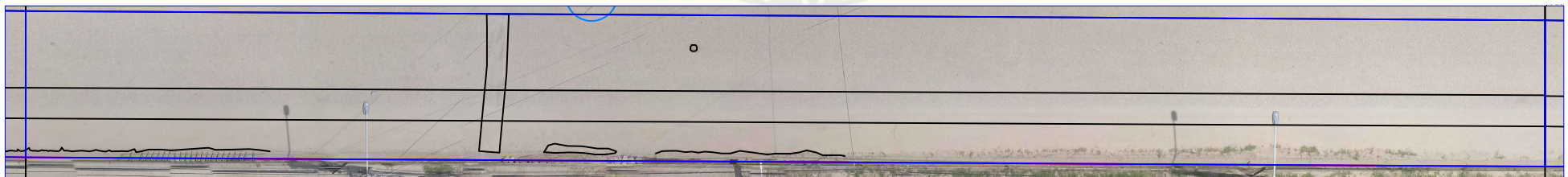
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 10



METRADO DE FALLAS 10

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA			
AVENIDA: CONFRATERNIDAD			LAMINA:
UBICACION: DISTRITO : ANDAHUAYLAS PROVINCIA : ANDAHUAYLAS REGION : APURIMAC		ESCALA: INDICADA	T: 09 - 10
LONGITUD: 50 METROS		FECHA: ABRIL DEL 2025 ELABORADOR POR: ARG	

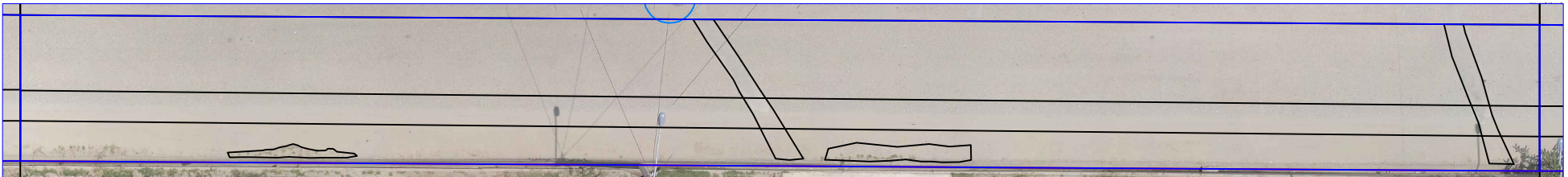
TRAMO 11



126

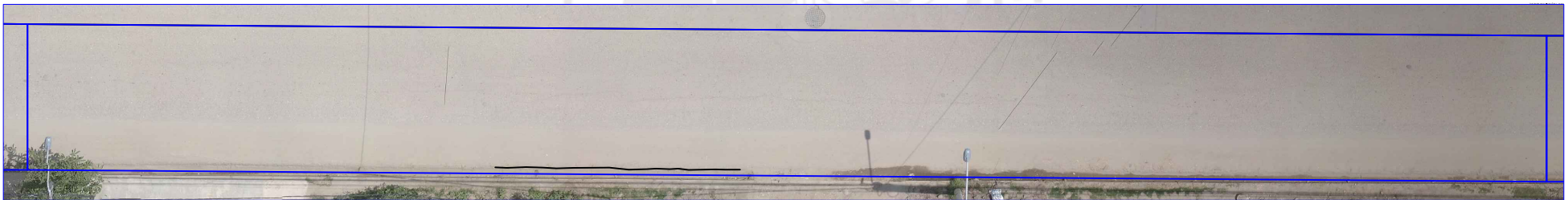
METRADO DE FALLAS 11

PLANO Esc: 1/200



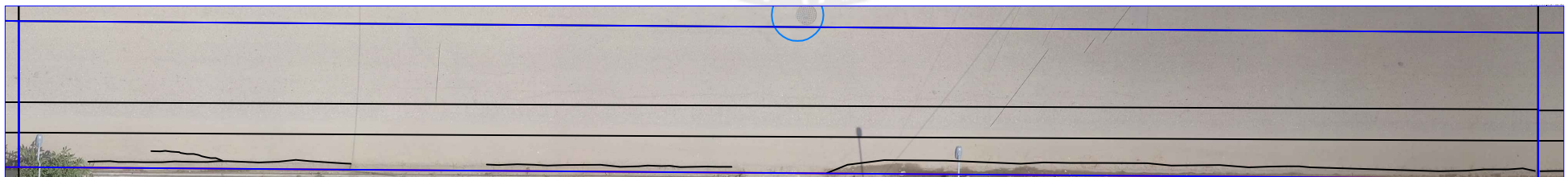
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 12



METRADO DE FALLAS 12

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

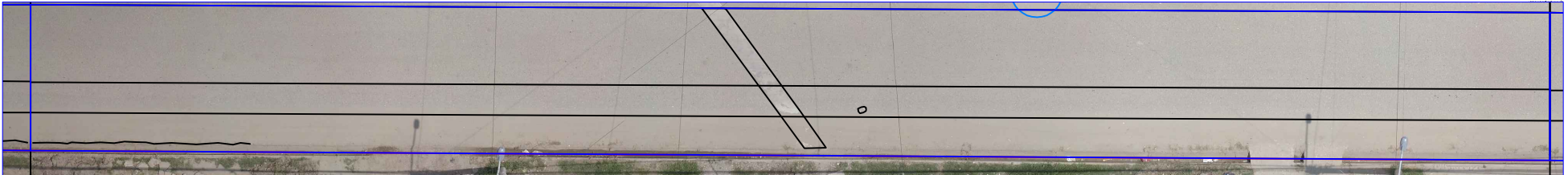
PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA			
AVENIDA: CONFRATERNIDAD			LAMINA:
UBICACION: DISTRITO : ANDAHUAYLAS PROVINCIA : ANDAHUAYLAS REGION : APURIMAC		ESCALA: INDICADA	T: 11 - 12
LONGITUD: 50 METROS		FECHA: ABRIL DEL 2025 ELABORADOR POR: ARG	

TRAMO 13



METRADO DE FALLAS 13

PLANO Esc: 1/200



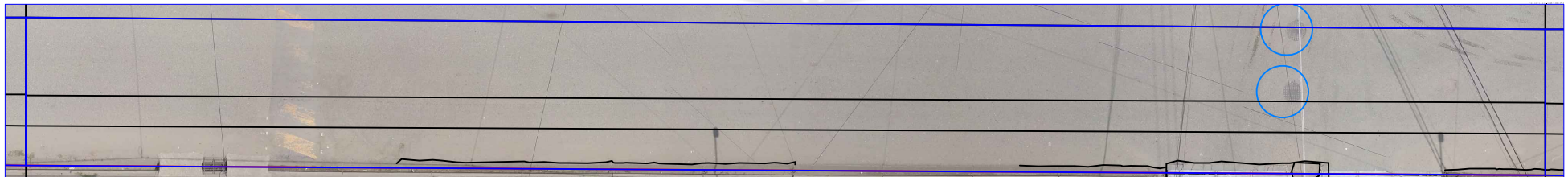
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 14



METRADO DE FALLAS 14

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		LAMINA:
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		T: 13 - 14
UBICACION: DISTRITO : ANDAHUAYLAS PROVINCIA : ANDAHUAYLAS REGION : APURIMAC	ESCALA: INDICADA FECHA: ABRIL DEL 2025	
LONGITUD: 50 METROS	ELABORADOR POR: ARG	

TRAMO 15



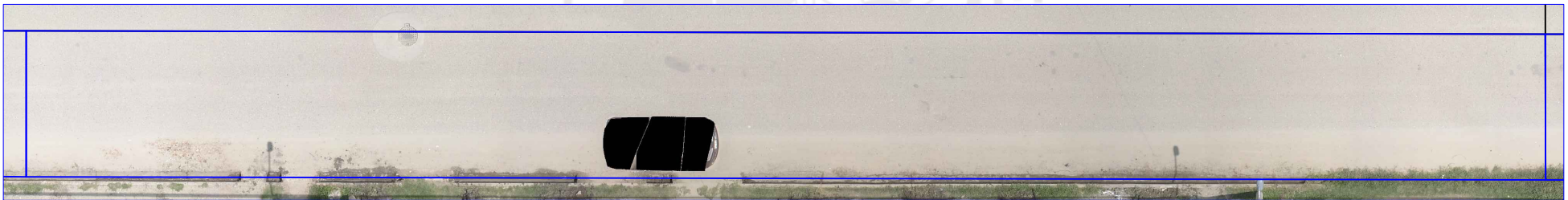
METRADO DE FALLAS 15

PLANO Esc: 1/200



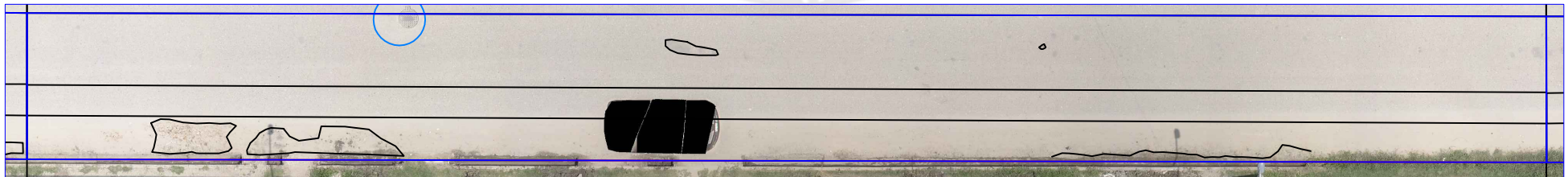
PLANO Esc: 1/200

TRAMO 16



METRADO DE FALLAS 16

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

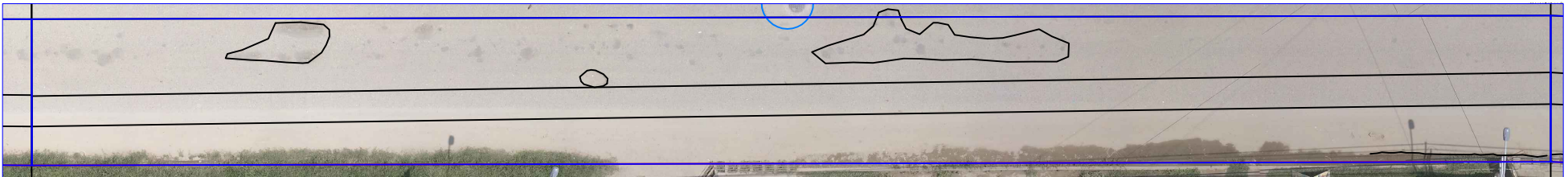
PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		LAMINA:
UBICACION:	ESCALA: INDICADA	T: 15 - 16
DISTRITO : ANDAHUAYLAS	FECHA: ABRIL DEL 2025	
PROVINCIA : ANDAHUAYLAS	ELABORADOR POR:	
REGION : APURIMAC	ARG	
LONGITUD: 50 METROS		

TRAMO 17



METRADO DE FALLAS 17

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

TRAMO 18



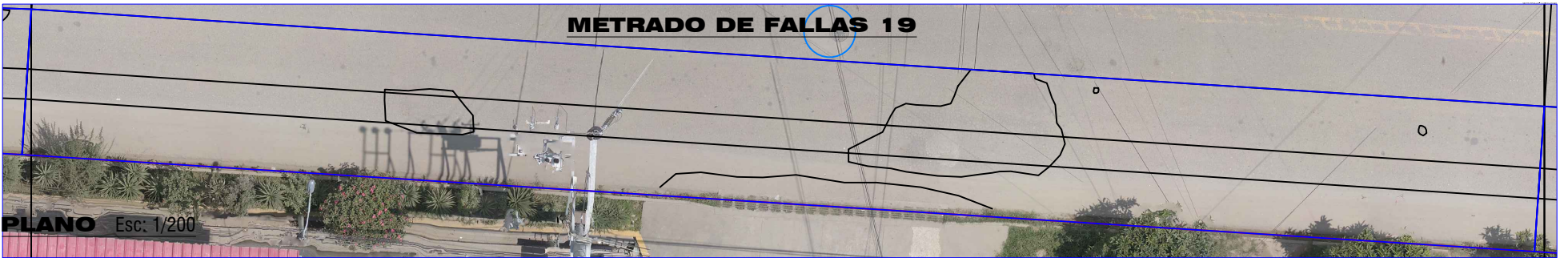
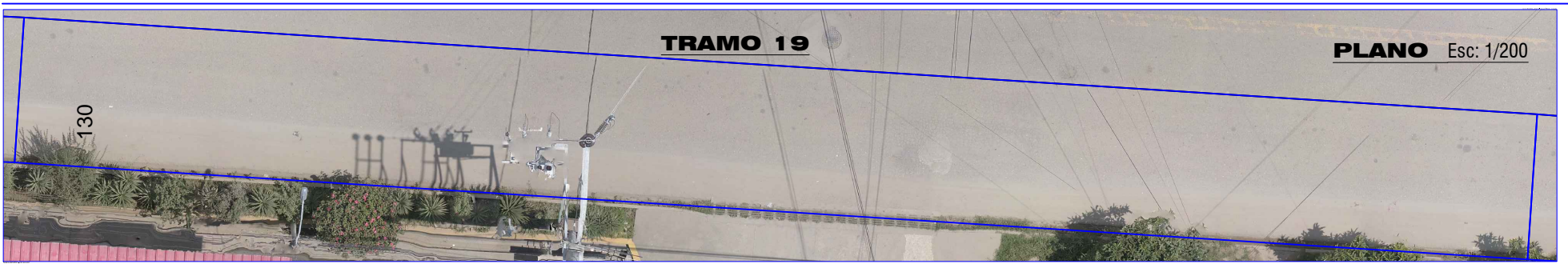
METRADO DE FALLAS 18

PLANO Esc: 1/200



PLANO Esc: 1/200

PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		LAMINA:	
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		T: 17 - 18	
UBICACION:	ESCALA: INDICADA	FECHA: ABRIL DEL 2025	
DISTRITO : ANDAHUAYLAS	PROVINCIA : ANDAHUAYLAS	ELABORADOR POR: ARG	
REGION : APURIMAC	LONGITUD: 50 METROS		



PLANO Esc: 1/200

PLANO: TRAMOS DE LA AVENIDA		LAMINA: T: 19 - 20
AVENIDA: CONFRATERNIDAD		
UBICACION: DISTRITO : ANDAHUAYLAS PROVINCIA : ANDAHUAYLAS REGION : APURIMAC	ESCALA: INDICADA	FECHA: ABRIL DEL 2025
LONGITUD: 50 METROS	ELABORADOR POR: ARG	

**ANEXO C: Análisis y evaluación de
fallas**

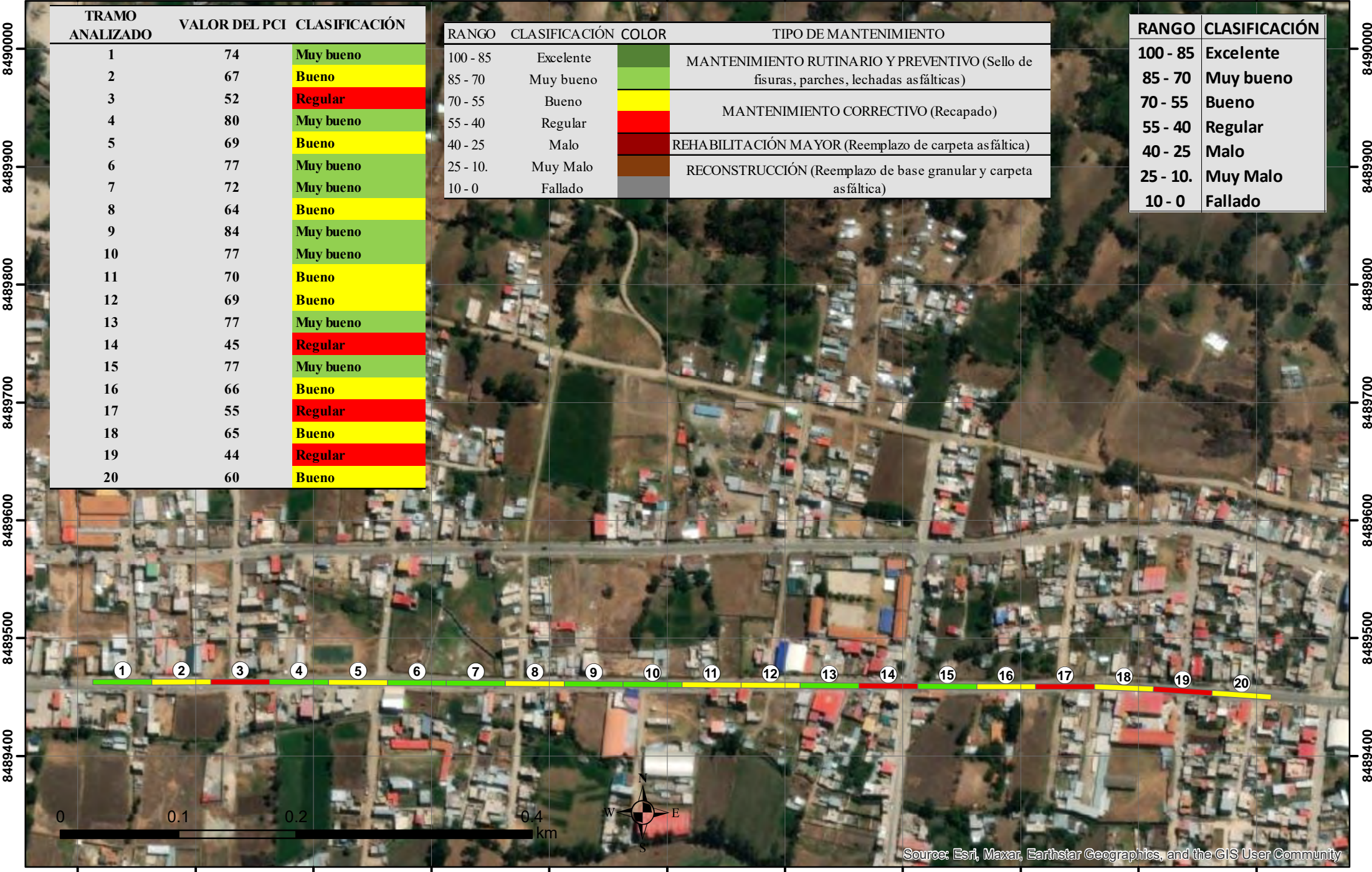


671700 671800 671900 672000 672100 672200 672300 672400 672500 672600 672700

TRAMO ANALIZADO	VALOR DEL PCI	CLASIFICACIÓN
1	74	Muy bueno
2	67	Bueno
3	52	Regular
4	80	Muy bueno
5	69	Bueno
6	77	Muy bueno
7	72	Muy bueno
8	64	Bueno
9	84	Muy bueno
10	77	Muy bueno
11	70	Bueno
12	69	Bueno
13	77	Muy bueno
14	45	Regular
15	77	Muy bueno
16	66	Bueno
17	55	Regular
18	65	Bueno
19	44	Regular
20	60	Bueno

RANGO	CLASIFICACIÓN	COLOR	TIPO DE MANTENIMIENTO
100 - 85	Excelente		MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PREVENTIVO (Sello de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
85 - 70	Muy bueno		
70 - 55	Bueno		MANTENIMIENTO CORRECTIVO (Recapado)
55 - 40	Regular		
40 - 25	Malo		REHABILITACIÓN MAYOR (Reemplazo de carpeta asfáltica)
25 - 10.	Muy Malo		RECONSTRUCCIÓN (Reemplazo de base granular y carpeta asfáltica)
10 - 0	Fallado		

RANGO	CLASIFICACIÓN
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10.	Muy Malo
10 - 0	Fallado



671700 671800 671900 672000 672100 672200 672300 672400 672500 672600 672700