

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Evaluación de la condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco-2024

Asesor:

Mag. Cárdenas Galiano, Jorge Armando

Autores:

Lope Arizaca, Gustavo

Mamani Quispe, Juan Carlos

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco – Cusco – Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 002

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 19 días del mes de Febrero del 2025, siendo las 09:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 053-2025-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Mamani Cutipa Ambrocio
Dictaminante:	Mg. Conza Berrocal Elvis Cris
Replicante :	Mg. Laime Calvo Edixon

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de la condición del pavimento flexible empleando el método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco -2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Mamani Quispe Juan Carlos
 (Apellidos y Nombres)

Br.: Lope Arizaca Gustavo
 (Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad
 (Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Mamani Quispe Juan Carlos	Aprobado
Br. Lope Arizaca Gustavo	Aprobado

Siendo las 11:00 a.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Mamani Cutipa Ambrocio
 (Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mg. Conza Berrocal Elvis Cris
 (Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Laime Calvo Edixon
 (Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

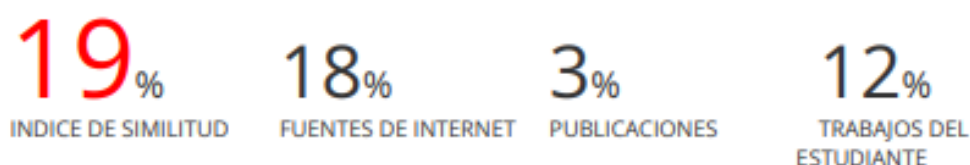
(Firma)
(Firma)
(Firma)

(*): **Mayoría**: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad**: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Evaluación de la condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco-2024.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Mamani Quispe, Juan Carlos Lope Arizaca, Gustavo
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 46029503 73300928
URL ORCID	:
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mag. Cárdenas Galiano, Jorge Armando
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 45217196
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-8092-7292
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible.
Rango de años en que se realizó la investigación	: agosto – diciembre 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 19%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis amados padres Valerio Mamani Huamán y Cecilia Quispe Quispe.

Este logro es tanto mío como suyo. Gracias por ser mi mayor fuente de amor, fortaleza y motivación. Su apoyo incondicional, sacrificios y enseñanzas han sido la base sobre la que he construido cada paso de este camino.

Juan Carlos Mamani Quispe

A mis Padres Doroteo Lope Pumahualcca y Felipa Arizaca Lima.

Quienes siempre creyeron en mí, incluso cuando mi madre tubo que partir de este mundo. Su amor y recuerdos me han guiado en cada paso de esta jornada.

Estoy profundamente agradecido contigo, papá, por brindarme la oportunidad de construir un futuro a través de una carrera. Te amo con todo mi corazón, y cada logro que alcance será también un reflejo de tu apoyo constante.

Gustavo Lope Arizaca

Agradecimiento

A mi esposa, Doris Ariza Condori, dado su incondicional amor, paciencia y apoyo constante. Gracias por haberme acompañado en cada fase de este largo camino, al ser mi fuente de fortaleza y por siempre creer en mí, incluso en las circunstancias de mayor dificultad. Tu presencia en mi vida ha sido mi mayor motivación.

A mis hijas, María Fernanda Mamani Ariza y Camila Alexandra Mamani Ariza, por su ternura, alegría y por llenar mis días de sentido. Cada sonrisa, cada gesto de cariño, ha sido un recordatorio de por qué este esfuerzo tiene un propósito. Gracias por su paciencia y comprensión, por entender las horas de trabajo y por darme el mejor de los soportes con su amor.

Este logro es tan suyo como mío. Los amo profundamente.

Juan Carlos Mamani Quispe

A mis hermanos Maykon, José Luis, Flor de Lilia, Rodrigo y Melinda por haberme acompañado y apoyado siempre, los quiero mucho. Y a mis cuñadas por estar siempre conmigo y apoyarme tanto, con mucho cariño.

Gustavo Lope Arizaca

Resumen

Se abordó por problemática la urgencia de examinar el estado de conservación del pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo mediante métodos eficaces. La pertinencia del estudio radicó en lo primordial que es optimizar los procesos de inspección vial mediante tecnologías innovadoras que permitan una evaluación que contribuya a la gestión eficiente de infraestructuras viales. El objetivo fue evaluar la condición del pavimento flexible empleando el método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco – Paucartambo, Cusco – 2024. El aspecto metodológico fue de tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental, inspeccionando 21 unidades de muestra. Se evidenció por resultados que el promedio del PCI fue 52.05 con el método tradicional y 50.003 con el método VANT, ambos clasificados como "Regular", con una diferencia porcentual de 3.93% atribuida a la menor precisión del VANT en identificar fallas menores. Con el método PCI se requirió 15 días y un costo de S/. 5472.40, mientras que el método VANT tomó 12 días con un costo de S/. 5133.60. A su vez, se identificaron 12 tipos de fallas y se determinaron recomendaciones específicas de mantenimiento para cada tramo analizado, desde sellados preventivos para tramos en buen estado hasta bacheo profundo para secciones deterioradas. El aporte científico radica en la comparación detallada entre ambos métodos, proporcionando evidencia sobre lo factible que es emplear VANT en la evaluación de pavimentos. Se concluyó que emplear VANT es más eficiente en tiempo y costos, presentándose como una de las alternativas viables para evaluar pavimentos.

Palabras clave: pavimento, carretera, VANT, PCI, condición.

Abstract

The urgent need to examine the state of preservation of the flexible pavement of the Cusco-Paucartambo Road by means of efficient methods was addressed as a problem. The relevance of the study was based on the importance of optimizing road inspection processes through innovative technologies that allow an evaluation that contributes to the efficient management of road infrastructures. The objective was to evaluate the condition of the flexible pavement using the VANT and PCI method for the improvement of the Cusco-Paucartambo Road, Cusco - 2024. The methodological aspect was applied, descriptive level and non-experimental design, inspecting 21 sample units. The results showed that the average PCI was 52.05 with the traditional method and 50.003 with the VANT method, both classified as "Regular", with a percentage difference of 3.93% attributed to the lower accuracy of the VANT in identifying minor faults. The PCI method required 15 days and a cost of S/. 5472.40, while the VANT method took 12 days with a cost of S/. 5133.60. In turn, 12 types of faults were identified and specific maintenance recommendations were determined for each section analyzed, from preventive sealing for sections in good condition to deep patching for deteriorated sections. The scientific contribution lies in the detailed comparison between both methods, providing evidence of the feasibility of using UAVs in pavement evaluation. It was concluded that the use of UAVs is more efficient in time and cost, presenting itself as one of the viable alternatives for pavement evaluation.

Key words: pavement, road, UAV, PCI, condition.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de Similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras	xiii
I. Introducción	20
II. Planteamiento del problema.....	22
2.1. Descripción y formulación del problema.....	22
2.2. Objetivos.....	25
2.2.1. Objetivo General.....	25
2.2.2. Objetivos Específicos.....	25
2.3. Justificación e importancia	25
2.4. Limitaciones	27
2.5. Hipótesis	28
2.6. Variables	28
III. Marco Teórico.....	31
3.1. Antecedentes	31
3.2. Bases teóricas.....	37
3.3. Definición de términos.....	46
IV. Metodología.....	47

4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	47
4.2.	Ámbito temporal y espacial	48
4.3.	Población y muestra.....	49
4.4.	Técnicas e instrumento de recolección y análisis de datos	54
4.5.	Análisis Estadístico	58
4.6.	Procedimientos	58
4.7.	Análisis de datos	77
4.8.	Consideraciones éticas	90
V.	Resultados y discusión	91
VI.	Conclusiones.....	135
VII.	Recomendaciones.....	138
VIII.	Referencias.....	140
IX.	Anexos	146

Índice de tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables	29
Tabla 2: Relación de ancho-longitud de las calzadas pavimentadas	50
Tabla 3: Coordenada de las unidades muestrales.....	53
Tabla 4: Unidades de muestra total de PCI tradicional y VANT	87
Tabla 5: Validación del 100% de los datos que se ingresaron.....	89
Tabla 6: Resultados del test de normalidad.....	89
Tabla 7: Criterios para evaluar la normalidad	90
Tabla 8: Síntesis de metrados de falla - PCI	92
Tabla 9: Fallas identificadas en todas las unidades de muestra por medio del método tradicional PCI	95
Tabla 10: Porcentaje total de fallas identificadas - Método Tradicional PCI.....	100
Tabla 11: PCI de cada Unidad de Muestra por medio del método Tradicional.....	101
Tabla 12: Condición de pavimento de la carretera Cusco - Paucartambo por medio del método tradicional PCI.....	103
Tabla 13: Síntesis de metrados de falla - VANT	104
Tabla 14: Fallas identificadas en todas las unidades de muestra por medio del método VANT.....	107
Tabla 15: Porcentaje total de fallas identificadas - Método VANT	112
Tabla 16: PCI de cada Unidad de Muestra por medio del método VANT	113
Tabla 17: Condición de pavimento de la carretera Cusco-Paucartambo por medio del método VANT	115
Tabla 18: Alternativas de Mantenimiento para cada Unidad de Muestra	117
Tabla 19: Presupuesto para ser evaluada la Carretera Cusco-Paucartambo por medio del método tradicional PCI.....	123
Tabla 20: Presupuesto para ser evaluada la Carretera Cusco-Paucartambo por medio del método tradicional VANT	124

Tabla 21: Prueba de normalidad del VANT y del PCI	130
Tabla 22: Prueba de Wilconxon para el VANT y el PCI	130
Tabla 23: Matriz de consistencia	147

Índice de figuras

Figura 1: Dispositivo de vehículo aéreo no tripulado con Drone y GPS	37
Figura 2: Fotogrametría basada en VANT	38
Figura 3: Tipos de fallas según categoría	41
Figura 4: Escala de graduación del PCI.....	44
Figura 5: Actividad de mantenimiento	45
Figura 6: Asignación de unidades muestrales en la carretera Cusco-Paucartambo.....	52
Figura 7: Ficha de recolección de datos.....	55
Figura 8: Drone Mavic 3E Enterprise	57
Figura 9: Equipos topográficos	57
Figura 10: Unidad de muestra – 01.....	59
Figura 11: Procesamiento del PCI del UM-01	60
Figura 12: Falla de grieta de deflexión de junta severidad baja.....	61
Figura 13: Falla de grieta longitudinal y transversal severidad baja	62
Figura 14: Falla de pulimiento de agregado severidad baja	62
Figura 15: Fallas de hueco de Severidad alta (H)	63
Figura 16: Configuración del plan de vuelo en la aplicación DJI Pilot 2	66
Figura 17: Área, velocidad y altura de vuelo con la aplicación DJI Pilot 2.....	66
Figura 18: Verificación de los permisos requeridos para iniciar el vuelo.....	67
Figura 19: Vista del transcurso de vuelo del Dron Mavic 3E Enterprise	68
Figura 20: Transferencia de imágenes capturadas en vuelo	68
Figura 21: Proyecto de vuelo guardado en la aplicación DJI Pilot 2	69
Figura 22: Imágenes subidas por medio del programa Agisoft Metashape	69
Figura 23: Creación de puntos y orientación.....	70
Figura 24: Inclusión de puntos de control fotográfico	71
Figura 25: Generación de nube de puntos densa	71
Figura 26: Generación de malla digital.....	72

Figura 27: Generación de DEM	72
Figura 28: Generación de ortomosaicos	73
Figura 29: Dimensionamiento de fallas localizadas por medio del software AutoCAD Civil 3D.....	73
Figura 30: Leyenda de severidad aplicado a las muestras UM-01 hasta la UMA-05.....	74
Figura 31: Localización de fallas identificadas	74
Figura 32: Ortofoto recortado respecto al tramo estudiado UM-01.....	75
Figura 33: Análisis de severidad por medio del MDE y Ortofoto	75
Figura 34: Plano de falla respecto al tramo estudiado UM-01	77
Figura 35: Suma de área total de fallas identificadas conforme al grado de severidad del UM-01.....	78
Figura 36: Porcentaje de densidad de fallas identificadas UM-01	78
Figura 37: Cálculo del Valor Deducido sobre la falla de huecos para UM-01	79
Figura 38: Medición del valor deducido concerniente al tipo de fallas para UM -01	80
Figura 39: Listado de valores deducidos totales respecto al UM-01.....	82
Figura 40: Hallazgo de valores deducidos corregidos respecto a la UM-01	82
Figura 41: Listado de valores deducidos corregidos respecto a la UM-01.....	83
Figura 42: Resultado de PCI para UM-01	83
Figura 43: Grado de condición del pavimento.....	84
Figura 44: Análisis UM-01 por medio del método tradicional PCI.....	85
Figura 45: Análisis UM-01 por medio del método VANT	86
Figura 46: Registro de datos por medio del software SPSS v.28	88
Figura 47: Perfil de cada Unidad de Muestra por medio del método PCI	102
Figura 48: Perfil de cada Unidad de Muestra por medio del método VANT.....	114
Figura 49: Comparativa del perfil de las metodologías PCI y VANT.....	121
Figura 50: Porcentaje total de fallas identificadas - Método VANT.....	125
Figura 51: Porcentaje total de fallas identificadas - Método Tradicional PCI	126

Figura 52: Porcentaje total de condición de pavimento de la carretera Cusco - Paucartambo por medio del método VANT	127
Figura 53: Porcentaje total de condición de pavimento de la carretera Cusco - Paucartambo por medio del método tradicional PCI	128
Figura 54: Validación de instrumentos por 1er experto	149
Figura 55: Validación de instrumentos por 2do experto	150
Figura 56: Validación de instrumentos por 3er experto	151
Figura 57: Validación de instrumentos por 4to experto	152
Figura 58: Tabla de recolección de datos sin evaluar	153
Figura 59: Análisis UM-01 por medio del método tradicional PCI.....	154
Figura 60: Análisis UM-02 por medio del método tradicional PCI.....	155
Figura 61: Análisis UM-03 por medio del método tradicional PCI.....	156
Figura 62: Análisis UM-04 por medio del método tradicional PCI.....	157
Figura 63: Análisis UM-05 por medio del método tradicional PCI.....	158
Figura 64: Análisis UM-06 por medio del método tradicional PCI.....	159
Figura 65: Análisis UM-07 por medio del método tradicional PCI.....	160
Figura 66: Análisis UM-08 por medio del método tradicional PCI.....	161
Figura 67: Análisis UM-09 por medio del método tradicional PCI.....	162
Figura 68: Análisis UM-10 por medio del método tradicional PCI.....	163
Figura 69: Análisis UM-11 por medio del método tradicional PCI.....	164
Figura 70: Análisis UM-12 por medio del método tradicional PCI.....	165
Figura 71: Análisis UM-13 por medio del método tradicional PCI.....	166
Figura 72: Análisis UM-14 por medio del método tradicional PCI.....	167
Figura 73: Análisis UM-15 por medio del método tradicional PCI.....	168
Figura 74: Análisis UM-16 por medio del método tradicional PCI.....	169
Figura 75: Análisis UMA-01 por medio del método tradicional PCI	170
Figura 76: Análisis UMA-02 por medio del método tradicional PCI	171
Figura 77: Análisis UMA-03 por medio del método tradicional PCI	172

Figura 78: Análisis UM-04 por medio del método tradicional PCI.....	173
Figura 79: Análisis UMA-05 por medio del método tradicional PCI	174
Figura 80: Ortofoto UM-01	175
Figura 81: Planos de falla UM-01.....	176
Figura 82: Leyenda de tipos de severidad y falla	176
Figura 83: Ortofoto UM-02	177
Figura 84: Planos de falla UM-02.....	177
Figura 85: Leyenda de tipos de severidad y falla	177
Figura 86: Ortofoto UM-03	178
Figura 87: Planos de falla UM-03.....	178
Figura 88: Leyenda de tipos de severidad y falla	178
Figura 89: Ortofoto UM-04	179
Figura 90: Planos de falla UM-04.....	180
Figura 91: Leyenda de tipos de severidad y falla	180
Figura 92: Ortofoto UM-05	181
Figura 93: Planos de falla UM-05.....	181
Figura 94: Leyenda de tipos de severidad y falla	181
Figura 95: Ortofoto UM-06	182
Figura 96: Planos de falla UM-06.....	182
Figura 97: Leyenda de tipos de severidad y falla	182
Figura 98: Ortofoto UM-07	183
Figura 99: Planos de falla UM-07.....	183
Figura 100: Leyenda de tipos de severidad y falla	183
Figura 101: Ortofoto UM-08	184
Figura 102: Planos de falla UM-08.....	184
Figura 103: Leyenda de tipos de severidad y falla	185
Figura 104: Ortofoto UM-09	185
Figura 105: Planos de falla UM-09.....	186

Figura 106: Leyenda de tipos de severidad y falla	186
Figura 107: Ortofoto UM-10	187
Figura 108: Planos de falla UM-10.....	187
Figura 109: Leyenda de tipos de severidad y falla	187
Figura 110: Ortofoto UM-11	188
Figura 111: Planos de falla UM-11	188
Figura 112: Leyenda de tipos de severidad y falla	189
Figura 113: Ortofoto UM-12	189
Figura 114: Planos de falla UM-12.....	190
Figura 115: Leyenda de tipos de severidad y falla	190
Figura 116: Ortofoto UM-13	191
Figura 117: Planos de falla UM-13.....	191
Figura 118: Leyenda de tipos de severidad y falla	191
Figura 119: Ortofoto UM-14	192
Figura 120: Planos de falla UM-14.....	192
Figura 121: Leyenda de tipos de severidad y falla	193
Figura 122: Ortofoto UM-15	193
Figura 123: Planos de falla UM-15.....	194
Figura 124: Leyenda de tipos de severidad y falla	194
Figura 125: Ortofoto UM-16	194
Figura 126: Planos de falla UM-16.....	195
Figura 127: Leyenda de tipos de severidad y falla	195
Figura 128: Ortofoto UMA-01	196
Figura 129: Planos de falla UMA-01	196
Figura 130: Leyenda de tipos de severidad y falla	196
Figura 131: Ortofoto UMA-02.....	197
Figura 132: Planos de falla UMA-02	197
Figura 133: Leyenda de tipos de severidad y falla	198

Figura 134: Ortofoto UMA-03.....	198
Figura 135: Planos de falla UMA-03	198
Figura 136: Leyenda de tipos de severidad y falla	199
Figura 137: Ortofoto UMA-04.....	199
Figura 138: Planos de falla UMA-04	200
Figura 139: Leyenda de tipos de severidad y falla	200
Figura 140: Ortofoto UMA-05.....	200
Figura 141: Planos de falla UMA-05	201
Figura 142: Análisis UM-01 por medio del método VANT	201
Figura 143: Análisis UM-02 por medio del método VANT	203
Figura 144: Análisis UM-03 por medio del método VANT	204
Figura 145: Análisis UM-04 por medio del método VANT	205
Figura 146: Análisis UM-05 por medio del método VANT	206
Figura 147: Análisis UM-06 por medio del método VANT	207
Figura 148: Análisis UM-07 por medio del método VANT	208
Figura 149: Análisis UM-08 por medio del método VANT	209
Figura 150: Análisis UM-09 por medio del método VANT	210
Figura 151: Análisis UM-10 por medio del método VANT	211
Figura 152: Análisis UM-11 por medio del método VANT	212
Figura 153: Análisis UM-12 por medio del método VANT	213
Figura 154: Análisis UM-13 por medio del método VANT	214
Figura 155: Análisis UM-14 por medio del método VANT	215
Figura 156: Análisis UM-15 por medio del método VANT	216
Figura 157: Análisis UM-16 por medio del método VANT	217
Figura 158: Análisis UMA-01 por medio del método VANT	218
Figura 159: Análisis UMA-02 por medio del método VANT	219
Figura 160: Análisis UM-03 por medio del método VANT	220
Figura 161: Análisis UMA-04 por medio del método VANT	221

Figura 162: Análisis UMA-05 por medio del método VANT	222
Figura 163: Unidades de muestra total de PCI tradicional y VANT	223
Figura 164: Recolección de datos del UM-01 mediante la metodología PCI	224
Figura 165: Hueco con severidad alta de 120 mm	224
Figura 166: Recolección de datos del UM-03 mediante la metodología tradicional del PCI	225
Figura 167: Medición de grietas longitudinales encontradas del UM-03.....	225
Figura 168: Recolección de datos del UM-06 mediante la metodología VANT y Georreferenciación de puntos de foto control en el UM-06	226
Figura 169: Recolección de datos del UM-06 mediante la metodología VANT.....	226
Figura 170: Recolección de datos del UMA-03 mediante la metodología VANT	227
Figura 171: Finalización de la evaluación de pavimento flexible por el método PCI y VANT	227
Figura 172: Ortofoto de la Unidad de Muestra N°01	228
Figura 173: Ortofoto de la Unidad de Muestra N°02	228

I. Introducción

El diagnóstico de la condición del pavimento flexible en las carreteras es relevante para que se garantice su funcionalidad, seguridad y durabilidad con el transcurrir del tiempo. En el caso de la carretera Cusco – Paucartambo, una vía de gran importancia para la conectividad regional, resulta prioritario analizar su condición estructural y funcional con métodos que combinen precisión, eficiencia y viabilidad económica. La pertinencia de esta investigación radicó en la urgencia de optimizar los procedimientos de evaluación de pavimentos mediante tecnologías emergentes, facilitando el monitoreo de la infraestructura vial con menor inversión de tiempo y recursos. La aplicación de herramientas avanzadas como los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) y el Índice de Condición del Pavimento (PCI) logran convertirse en una estrategia innovadora y confiable a fin de ser identificadas y clasificadas en el pavimento sus fallas, evaluando tanto su severidad como su frecuencia.

Este estudio se enfocó en evaluar y comparar la efectividad tanto del VANT como del PCI respecto a la caracterización de las fallas evidenciadas en el pavimento flexible perteneciente a la carretera Cusco – Paucartambo. Se busca determinar cuál de estos métodos resulta más eficiente en términos de tiempo y costos, contrastando los hallazgos alcanzados en la identificación conforme al índice de condición del pavimento. Además, el aporte científico estuvo centrado en proporcionar evidencia empírica sobre la precisión y aplicabilidad de los VANT en estudios de pavimentación, abriendo nuevas posibilidades

para la automatización de procesos en la ingeniería vial. De igual forma, se plantearon soluciones prácticas y sostenibles a razón de alcanzar mejoras en la calidad y el desempeño del pavimento flexible, contribuyendo así al desarrollo y mantenimiento de una infraestructura vial clave para la región.

El presente trabajo buscó ofrecer un análisis técnico detallado de cómo se encontraba actualmente la carretera, además de generar conocimiento que sirva de apoyo para estudios futuros en conservación vial. Asimismo, su contribución permite fortalecer la planificación y priorización de intervenciones en vías estratégicas, optimizando la adopción de medidas correctivas en proyectos de mantenimiento y rehabilitación, lo que impacta positivamente en la movilidad y la economía local.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Siti Miladiyah y Amalia Firdaus Mawardi, en su estudio titulado “Evaluación y mantenimiento del pavimento flexible de la carretera Sampan-Ketapang empleando el método del índice de condición del pavimento (PCI) y el método Bina Marga” menciona que el estado del pavimento es uno de los factores cruciales en la funcionalidad y seguridad de una carretera, ya que su deterioro progresivo puede generar riesgos de accidentes y costos elevados de rehabilitación si no se realizan inspecciones y mantenimientos adecuados. A su vez, se indica que a través del método PCI se logra examinar efectivamente la condición de los pavimentos a fin de tomar decisiones oportunas sobre su mantenimiento y rehabilitación. (Miladiyah & Mawardi, 2022).

Por otro lado, Eugen Valentin Butila y Razvan Gabriel Boboc, en su investigación “Monitoreo y análisis del tráfico urbano mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT): una revisión sistemática de la literatura” destacan que la tecnología VANT se ha manifestado como una de las herramientas eficientes para ser analizado el estado del pavimento, permitiendo un análisis detallado y preciso con menor inversión de tiempo y recursos al compararse con otros métodos convencionales. Su estudio resalta que la integración del VANT con el método PCI facilita que sean identificados en el pavimento sus

patologías, optimizando la planificación de mejoras viales y reduciendo los costos de intervención (Butilă & Boboc, 2022).

Las carreteras de nuestra región suelen presentar problemas de mantenimiento debido a la falta de estudios técnicos especializados y a la dificultad de acceder a tecnologías avanzadas para la evaluación de pavimentos. En muchos casos, las inspecciones viales dependen exclusivamente de métodos convencionales, que, aunque efectivos, requieren una inversión significativa de recursos y tiempo. La falta de acceso a herramientas tecnológicas de bajo costo y fácil implementación limita la posibilidad de realizar diagnósticos oportunos sobre el estado del pavimento, lo que a su vez retrasa la ejecución de planes de conservación y rehabilitación vial.

Actualmente, la carretera Cusco – Paucartambo cubre una distancia total de 24+104 km, siendo una de las vías más primordiales para la conectividad de la región, facilitando el transporte de personas y mercancías entre Cusco y la provincia de Paucartambo. No obstante, esta carretera presenta signos visibles de deterioro en varios tramos debido a condiciones como el déficit de mantenimientos periódicos, condiciones de clima adversos y el tráfico pesado. A pesar de requerir evaluaciones precisas de su estado, los métodos tradicionales de inspección manual demandan una alta inversión de tiempo y recursos, lo que dificulta poder tomar decisiones oportunas para su conservación y optimización.

Por esta razón, esta investigación se orienta a la evaluación de la condición del pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo empleando el método VANT y el PCI, a razón de comparar la eficiencia de ambas metodologías y determinar cuál resulta más efectiva en relación a la precisión, tiempo y costos. Los hallazgos resultantes permiten generar información técnica valiosa para ser optimizados los procesos de mantenimiento vial, contribuyendo a una mejor gestión de la infraestructura de transporte en la localidad.

2.1.1. Formulación del problema de investigación

La problemática de la investigación radica en establecer ¿Cuál es el índice de condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco-2024? El deterioro progresivo de la carretera Cusco – Paucartambo representa un problema significativo para la conectividad y seguridad vial de la región. La falta de evaluaciones periódicas y eficientes del estado del pavimento impide adoptar decisiones adecuadas para su mantenimiento, lo que genera altos costos de reparación y afecta la calidad del transporte. A pesar de la existencia de métodos convencionales como el PCI, su aplicación suele ser costosa y requiere una gran inversión de tiempo, lo que limita su uso frecuente en carreteras con alta demanda vehicular.

Finalmente, es de suma importancia contar con un método eficiente, preciso y accesible que permita evaluar la condición del pavimento de manera ágil y con menor costo, facilitando así la planificación y ejecución de estrategias como los mantenimientos y rehabilitaciones de infraestructuras viales clave para el desarrollo regional.

2.1.1.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es el índice de condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco-2024?

2.1.1.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

¿Cuál es el estado actual del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco?

¿Cuál es el tipo de actividad de mantenimiento vial a realizar la carretera Cusco Paucartambo, Cusco?

¿Cuál es el método más eficiente empleando el Método VANT y PCI para evaluar la carretera Cusco – Paucartambo, Cusco?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Establecer el índice de condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco-2024.

2.2.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Determinar el estado actual del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco.

O.E.2. Determinar el tipo de actividad de mantenimiento vial a realizar en la carretera Cusco Paucartambo, Cusco.

O.E.3. Determinar el método más eficiente empleando el Método VANT y PCI para la mejora de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco-2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Justificación

2.3.1.1. Justificación técnica

La investigación estuvo enfocada en la evaluación y comparación de la condición del pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo por medio del uso del PCI y los VANT. A su vez, se busca determinar la eficacia de estos métodos en la identificación de fallas del pavimento, permitiendo así análisis más precisos y eficientes para la toma de decisiones en el mantenimiento vial.

2.3.1.2. Justificación Social

El estado del pavimento de la carretera Cusco – Paucartambo influye directamente en la calidad del transporte, la seguridad vial y el desarrollo socioeconómico de la región. Implementar un método eficiente y accesible para la evaluación del pavimento contribuirá a mejorar la infraestructura vial, siendo reducidos los costos de mantenimiento con el transcurrir del tiempo y beneficiando a los usuarios en general que hace uso frecuente de esta vía.

2.3.1.3. Justificación por viabilidad

La investigación logra ser viable gracias a la disponibilidad de herramientas tecnológicas como los VANT y el acceso a metodologías validadas como el PCI. Se cuenta con un entorno propicio para ser recolectados los datos en la carretera, así como el respaldo de instituciones académicas y técnicas para el procesamiento de información.

2.3.2. Importancia

2.3.2.1. Importancia técnica

Por importancia técnica, se abocó la investigación en la optimización de los procesos de evaluación de pavimentos mediante herramientas innovadoras como los VANT. La comparación con el método tradicional PCI permite validar la precisión y eficiencia de esta tecnología, facilitando su implementación en futuras inspecciones viales.

2.3.2.2. Importancia Social

Esta investigación busca mejorar las condiciones de transitabilidad en la carretera Cusco – Paucartambo, ofreciendo infraestructuras viales de mayor seguridad y eficiencia. Un adecuado mantenimiento de la vía reduce tiempos de traslado, disminuye accidentes viales y fomenta que sea desarrollada la economía en la región.

2.3.2.3. Importancia por viabilidad

La importancia por viabilidad radica en el requerimiento de poseer un método accesible, preciso y rentable para ser evaluado en el pavimento su estado actual. Al ser implementado el uso de VANT se permite disponer de una herramienta práctica y efectiva para la inspección de carreteras sin incurrir en costos elevados ni procesos engorrosos.

2.4. Limitaciones

Se optó por emplear el Método PCI (Pavement Condition Index) y la tecnología VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado). Esta decisión se tomó debido a las siguientes razones:

- a) El Método PCI es un estándar internacional reconocido por la norma ASTM D6433-03, esto permite la comparación de los resultados con estudios similares a nivel global.
- b) La metodología del MTC se basa en inspecciones visuales tradicionales, que pueden ser más subjetivas y exigen mayor tiempo y recursos humanos para la recopilación de datos.
- c) La integración de la tecnología VANT permite una mayor exactitud al momento de capturar imágenes, además del levantamiento de datos georreferenciados, reduciendo errores humanos y optimizando
 - La altitud de vuelo para todas las pruebas fue de 30 metros.
 - El horario de vuelo es de 7:00 a.m. a 13:00 p.m.
 - El área circundante está libre de obstáculos como líneas eléctricas, árboles o desniveles.

El diagnóstico se efectuó por medio de tramos específicos de la carretera Cusco-Paucartambo, dado esto, los hallazgos resultantes alcanzados no pueden extrapolarse a toda la vía ni a otras carreteras con características geológicas o climáticas distintas.

Se analizaron tramos seleccionados en función de su accesibilidad y seguridad, lo que podría haber excluido zonas con patologías diferentes que requieren otro tipo de intervención.

La propuesta de mejora del pavimento se basa en la evaluación PCI y la interpretación de imágenes VANT, sin incluir ensayos de laboratorio sobre la calidad de los materiales del pavimento o estudios de mecánica de suelos que permitan analizar detalladamente lo que origina el deterioro.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

Existen resultados en la evaluación del índice de condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI, para la carretera Cusco – Paucartambo, Cusco – 2024. donde el uso del Método VANT es una alternativa más eficiente.

2.5.2. Hipótesis Específicas

H.E.1. La aplicación del Método VANT y PCI permite determinar el estado actual del pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo con precisión aceptable.

H.E.2. La evaluación del pavimento mediante VANT y PCI permite identificar el tipo de actividad de mantenimiento vial más adecuado para la carretera Cusco – Paucartambo.

H.E.3. Existe una diferencia en la eficiencia de los métodos VANT y PCI, donde el Método VANT permite optimizar tiempo y costos en la evaluación de la carretera Cusco – Paucartambo.

2.6. Variables

Se representa en la tabla adjunta la operacionalización de variables, dando forma y dirección a nuestro estudio de investigación.

Tabla 1:

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medida
Variable independiente: Método VANT y PCI	El Método VANT y el PCI, son técnicas utilizadas en la evaluación del estado del pavimento flexible. El VANT permite la recopilación de imágenes aéreas para el análisis de daños superficiales, mientras que el PCI clasifica el pavimento según el grado de deterioro basándose en inspecciones visuales y parámetros estandarizados (Ghadi et al., 2023).	La aplicación de los métodos VANT y PCI permite la evaluación del pavimento flexible en la carretera Cusco – Paucartambo, analizando su eficiencia respecto al costo y tiempo de aplicación asociados a la identificación de fallas, comparando los resultados obtenidos con cada método.	Método VANT	Nivel de precisión Inventario de fallas Índice de condición del pavimento Valor deducido Número máximo admisible de valor deducido	De razón
			Método PCI	Máximo valor deducido corregido Tipo y severidad de fallas Determinación del PCI	De razón
			Eficiencia de los métodos aplicados	Costo Tiempo	De razón
Variable dependiente: Condición del	Hace referencia al estado estructural y funcional de una vía, evaluado a partir de	Se mide mediante la clasificación del estado del pavimento	Grado de la condición del pavimento	Escala de medición	De razón

pavimento flexible	parámetros como grietas, hundimientos, fisuras, baches y deformaciones. Su análisis permite determinar el nivel de servicio que ofrece la infraestructura vial y definir estrategias de mantenimiento (Gkyrtis et al., 2022).	con base en los valores obtenidos con los métodos VANT y PCI, considerando dimensiones como el grado de condición del pavimento y las actividades de mantenimiento de la carretera Cusco – Paucartambo.	Actividad de mantenimiento	Categoría de acción	De razón
--------------------	---	---	----------------------------	---------------------	----------

Nota: Propia del autor.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Mendoza (2021) a través de su tesis, estableció por objetivo analizar comparativamente 4 tipos de metodología evaluadores de la superficie del pavimento flexible en 3 tramos. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada con diseño no experimental. Evidenció por resultados la presencia destacada de fallas por medio del desprendimiento de agregados con 51.74%, piel de cocodrilo con 24.50% y agrietamientos en bloques con 11.11%, de igual forma, de los 3 tramos evaluados su PCI para el 1ero, 2do y 3er tramo fue de 9.78, 70.07 y 90.97 respectivamente, denotados como fallados, satisfactorios y buenos respectivamente. Concluyeron que por medio del PCI se logra inspecciones rigurosas, evidenciando el planteamiento de mejoras futuras.

Cervantes (2021) en su tesis, estableció por objetivo implementaciones en los procesos de conservación estructurales de las capas de rodadura de la vía en estudio. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada con diseño no

experimental. Se reveló por resultados en el conteo vehicular 1,567 veh/día, evidenciando un PCI igual a 66.50 considerado bueno, denotando planteamientos de mejora como selladores superficiales, sellados de grieta y fisura, además de limpieza de cunetas en 181.410 m², 196.540 m² y 1550 m respectivamente. Concluyó que debe ser ejecutado mantenimientos rutinarios englobando diversas labores a fin de que las capas de rodadura puedan conservarse óptimamente.

Cajas (2021) en su tesis, estableció por objetivo implementaciones en los procesos de conservación estructurales de las capas de rodadura de la vía en estudio. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada con diseño no experimental. Se reveló por resultados por conteo vehicular 5,346 veh/día, evidenciando un PCI igual a 82.30 considerado muy bueno, denotando planteamientos de mejora como selladores superficiales, sellados de fisuras, parcheos parciales, además de limpieza de cunetas en 33.760 m², 39.630 m², 38.60 m² y 2200 m respectivamente. Concluyó que deben ser ejecutados mantenimientos rutinarios y en algunos puntos mantenimientos periódicos.

Solis (2020) en su artículo, estableció por objetivo examinar a través de la metodología PCI el estado del pavimento flexible de una carretera. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada y diseño no experimental. Evidenció por resultados la presencia de grieta de bordes con 1.350%, piel de cocodrilo con 4.510%, agregado pulido con 4.110%, grietas en bloques con 3.960%, grietas longitudinales y transversales con 3.240%, parches con 2.270% y desprendimientos del agregado con 78.280%. Concluyó el PCI final fue de 49 siendo este mismo de estado regular.

Yanchapaxi (2020) en su tesis, estableció por objetivo implementaciones en los procesos de conservación estructurales de las capas de rodadura de la vía en estudio. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada con diseño no experimental. Se reveló por resultados por conteo vehicular 1,612 veh/día, evidenciando un PCI igual a 83.71 considerado muy bueno, denotando planteamientos de mejora como

bacheos asfálticos menores y mayores mezclados en caliente, sellados de fisuras, limpieza de derrumbes, además de limpieza de cunetas en 81.640 m², 236.450 m², 20 m y 1820 m respectivamente. Concluyó que deben ser ejecutados mantenimientos rutinarios a fin de ser conservadas las capas de rodadura de la vía en estudio.

3.1.2. A nivel nacional

Quinde y Yarleque (2023) en su tesis, establecieron por objetivo efectuar una evaluación de una carretera y brindar propuestas de rehabilitación. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada, diseño no experimental de corte transversal. Evidenciaron por resultados la presencia de pendientes mínimas de -4% y pendientes máximas a 4%; el IMDA de la carretera fue igual a 156 veh/día; de la evaluación PCI denota que la carretera se encontraba en regular a mal estado a 47%, en regular estado a 29%, en mal estado a 12% y en buen estado a 12%. Concluyeron que el rediseño del pavimento tuvo que contar con un T.S.B., base y subbase de 2 cm, 20 cm y 20 cm según corresponde, contemplando labores de rehabilitación de limpieza de badenes y alcantarillas.

Bacilio y Chavez (2022) en su tesis, establecieron por objetivo efectuar la examinación del estado de conservación y rediseñar el pavimento flexible bajo la AASTHO-93. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada y diseño no experimental. Los hallazgos resultantes evidenciaron la presencia de fallas de ahuellamiento, huecos, pulimentos de agregados, parches, grieta transversal y longitudinal, de presión, exudación y piel de cocodrilo; el IMDA de la carretera fue igual a 264 veh/día; de la evaluación PCI denotó que la carretera se encontraba estado fallido y muy pobre con 20% cada uno, en estado bueno y pobre con 7% cada uno, en estado muy bueno con 13% y estado regular con 33%. Concluyeron que el rediseño del pavimento tuvo que contar con un capa, base y subbase de 5 cm, 15 cm y 15 cm según corresponde.

Maquera y Talavera (2022) en su tesis, establecieron por objetivo evaluar funcional y estructuralmente un pavimento flexible a fin de ofrecer propuestas de rehabilitación. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada, diseño no experimental con corte transversal. Evidenciaron por resultados un IMDA de la 2da y 3ra avenida de 11,323 y 6,630 veh/día respectivamente, al evaluar el PCI de las 3 avenidas, la 1er contó con un PCI de 32.34, la 2da contó con un PCI de 8.58, y la 3ra contó con un PCI de 32.34, requiriendo conservación periódica, reconstrucción y mantenimiento, y reconstrucción y rehabilitación respectivamente. Concluyeron que el rediseño del pavimento para la 2da avenida y 3ra avenida tuvo que ser para su carpeta asfáltica, base y subbase de 5 cm – 5 cm, 20 cm – 25 cm y 30 cm – 32 cm respectivamente.

Pretel y Rodríguez (2022) en su tesis, establecieron evaluar cómo se encontraba el pavimento por medio del PCI y VIZIR a fin de proponer mejoras a la carretera. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada, diseño no experimental con corte transversal. Evidenciaron por resultados un IMDA de 239 veh/día, denotaron presencia de fallas como parchados, baches y desprendimiento de agregados, al evaluar el PCI contó con un PCI de 65 siendo este bueno, requiriendo recapeos de 1", parchados superficiales y parchados profundos. Concluyeron que el rediseño del pavimento tuvo que ser para su carpeta asfáltica, base y subbase de 2", 8" y 8" respectivamente.

Paredes y Torres (2022) a través de la tesis, establecieron por objetivo examinar cómo se encontraba el pavimento por medio del PCI y VIZIR con drones a fin de proponer mejoras a la carretera. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada con diseño no experimental. Evidenciaron por resultados un IMDA para los dos sentidos A – B de 11,173 y 6,662 veh/día, denotaron presencia de fallas de piel de cocodrilo en 21.70%, agrietamientos en bloques en 11.57% y grietas transversales y longitudinales en 10.28%, al evaluar el PCI contó con un PCI de 46.20 siendo este regular. Concluyeron que se deben aplicar mantenimientos rutinarios y preventivos en un 10%, mantenimientos correctivos en un 50%, rehabilitaciones mayores en un 30% y reconstrucciones en un 10%.

Quispe (2021), en su tesis tuvo por objetivo describir de que manera el método PCI, utilizando VANT define como se encuentra superficialmente el pavimento flexible en la Av. José María Arguedas-San Jerónimo. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada con diseño no experimental. Los hallazgos resultantes incluyeron ortofotos obtenidas mediante procesamientos fotogramétricos, la cual permitió efectuar inventarios de falla y conocer el PCI de 55, reflejando por condición superficial del pavimento "regular". Se recomendó mantenimientos correctivos intensivos con sellados superficiales y rencarpetados delgados. El método convencional estableció por PCI 54, también indicando una condición "regular". La prueba "t" arrojó por P-valor 0.080, superior de 0.05 (α), indicando que no existe alguna diferencia significativa entre los PCI alcanzados con VANT y el método tradicional, demostrando altos grados de confiabilidad. En conclusión, el método PCI con VANT logró ser confiable, dado que determinaron hallazgos semejantes a los de las evaluaciones tradicionales, permite una recolección de datos precisa y optimiza el tiempo de uso, el personal designado y el presupuesto de seguridad, sin interrumpir el flujo vehicular.

3.1.3. A nivel regional y local

Paliza y Chuyucama (2022), a través de la tesis tuvieron por objetivo evaluar el estado de 32-360 km que conforman una de las carreteras Transversales 28G de Cusco–Pisac haciendo uso de las metodologías VANT y PCI, con el fin de demostrar la diferencia entre ambas metodologías en términos de eficiencia. Para evaluar la carretera 28G, se seleccionaron 16 muestras representativas aleatorias y 5 adicionales en campo, aplicando ambas metodologías. El método convencional del PCI implicó inventarios de falla según ASTM D6433, mientras que el método VANT utilizó imágenes georreferenciadas de un dron Mavic 2 Pro, siendo procesado por Agisoft Metashape a razón de obtener ortofotos. El PCI promedio fue de 45.80 con la metodología tradicional y de 46.81 con VANT, ambos indicando una condición regular del pavimento. Con un 95% de confiabilidad, no se

revelaron diferencias significantes sobre ambos métodos, concluyeron en que el método VANT es una de las alternativas de mayor eficiencia.

Jiménez y Vivanco (2022), a través de su tesis, establecieron por objetivo plantear mejoras por medio del PCI y VIZIR a fin de que se propongan mejoras a la carretera. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada, diseño no experimental con corte transversal. Evidenciaron por resultados que las fallas más representativas fueron pulimentos del agregado con 18.87%, grietas longitudinales con 7.09%, piel de cocodrilo con 6.14% y parcheo con 4.27%, al evaluar el PCI contó con un PCI de 25.37 siendo este muy pobre. Concluyeron que el rediseño del pavimento tuvo que contar con losas de concreto y subbase de 20 cm para ambos casos.

Holgado (2022), en su tesis abordó por objetivo examinar en qué medida influye la falla superficial en el pavimento flexible para el tramo estudiado. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada y diseño no experimental. Evidenciaron por hallazgos resultantes la presencia de abultamientos con 20.70%, ahuellamientos con 25%, pieles de cocodrilo con 31.30%, grieta longitudinal y transversal con 40%, grietas de borde con 40%, huecos con 97.50%, desplazamientos y pulimentos de agregado con 100%, con un PCI de los dos tramos de 50 y 21 considerados regulares y malos. Concluyeron que el pavimento requiere actividades de mantenimiento y rehabilitación.

Huancollucho y Moya (2021), en su tesis establecieron por objetivo examinar si el método PCI logra determinar dentro del pavimento flexible su estado de conservación para la vía Izcuchaca–Huarcocondo–Anta. El aspecto metodológico comprendió ser de nivel descriptivo, tipo aplicada y diseño no experimental. Evidenciaron por hallazgos resultantes la presencia de agrietamientos en bloques con 63.73%, piel de cocodrilo con 14.98%, desniveles con 11.76%, grietas de borde con 6%, parcheo con 1.28%, y abultamientos y hundimientos con 1.22%, con un PCI de 39.49 considerado malo. Concluyeron que el pavimento requiere actividades de parcheo en toda la profundidad.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Bases teóricas para variables independientes

3.2.1.1. Método VANT

El método VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) es una técnica avanzada que utiliza drones para la recolección de datos aéreos, permitiendo una evaluación precisa y eficiente de diversas superficies e infraestructuras. Es uno de los métodos que se revela como una de las herramientas indispensables en campos ingenieriles, la topografía, la agricultura, y la dirección de desastres, debido a sus numerosas ventajas sobre los métodos convencionales al momento de recolectar datos (Islam & Tarefder, 2021).

El uso del método VANT se ha popularizado debido a su capacidad para reducir costos y tiempos en comparación con métodos tradicionales de levantamiento terrestre. Gracias a su integración con software de procesamiento, es posible obtener modelos tridimensionales y análisis detallados de la superficie evaluada. Su flexibilidad y adaptabilidad a distintos entornos lo convierten en una de las herramientas claves para adoptar medidas correctivas en proyectos de infraestructura, optimizando el control y seguimiento de obras (Li et al., 2022).

Figura 1:

Dispositivo de vehículo aéreo no tripulado con Drone y GPS



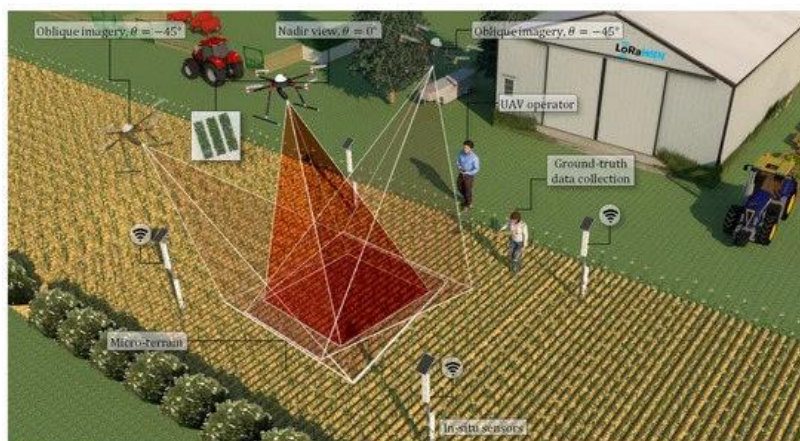
Nota. Tomado de Astor et al. (2023)

Fotogrametría

La fotogrametría es un método de medición y representación tridimensional de superficies a partir de imágenes capturadas desde distintos ángulos. En el contexto del método VANT, esta técnica se basa en la toma de fotografías aéreas superpuestas, permitiendo la reconstrucción precisa del terreno mediante algoritmos de procesamiento. A través del uso de software especializado, se generan ortofotos, modelos digitales de elevación y nubes de puntos, facilitando el análisis de áreas extensas con alta exactitud (Elkhrachy, 2021).

Figura 2:

Fotogrametría basada en VANT



Nota. Tomado de Li et al. (2022)

Intervalo de fallas

El intervalo de fallas es el periodo en el que una estructura, pavimento o equipo puede funcionar sin presentar fallos significativos que afecten su rendimiento. Dentro del sector infraestructural, se define como el tiempo o cantidad de ciclos de carga que un pavimento puede soportar antes de desarrollar deterioros visibles. Este concepto es clave para la planificación del mantenimiento preventivo, ya que permite estimar en la estructura su vida útil, además de programar intervenciones oportunas (Islam & Tarefder, 2021).

Índice de condición del pavimento

El empleo de tecnología VANT en la determinación del PCI ha mejorado la precisión y eficiencia en la inspección de pavimentos, este índice es una medida cuantitativa la cual permite examinar el estado superficial de los pavimentos con base en la severidad y extensión de sus defectos. Se calcula mediante inspecciones visuales o herramientas tecnológicas, siendo asignada calificaciones sobre los 0 y 100, al tener valores altos se revela una buena condición y valores bajos reflejan un deterioro avanzado. Este índice es ampliamente utilizado en el control de carreteras para ser priorizadas labores de mantenimiento y rehabilitación (Astor et al., 2023).

3.2.1.2. Método PCI

El PCI se revela como un sistema de evaluación meticuloso y cuantitativo, destinado a calificar la condición de las superficies viales, en su esencia, se materializa como uno de los indicadores numéricos del cual arroja una valoración precisa concerniente al estado general del pavimento, facilitando así tomar alguna decisión en materia de mantenimiento y gestión vial. Este índice se fundamenta en inspecciones visuales detalladas, donde se lleva a cabo un minucioso examen de la cantidad, severidad y clase de fallas presentes en la parte estructural de los pavimentos (Ghadi et al., 2023).

Valor deducido

Es uno de los parámetros que logra reflejar en qué medida impacta cada tipo de fallas sobre la forma en que se encuentra el pavimento, tiende a ser obtenido a partir de tablas estandarizadas en relación a la cantidad y severidad de los defectos observados. Cada falla identificada tiene un valor deducido asociado, el cual se suma para obtener una estimación global del deterioro de la superficie analizada (Hermawati & Putri, 2024). La ecuación para calcular el valor deducido total es:

$$DV_i = f(A_i, S_i)$$

Ecuación 1: Valor deducido

Siendo:

DVi = Valor deducido de la falla i.

Ai = Área o cantidad de la falla i.

Si = Severidad de la falla i.

Número máximo admisible de valor deducido (CDV)

Para evitar que una única falla influya desproporcionadamente en la evaluación del pavimento, se establece un límite al máximo valor deducido por defecto. Este límite impide que la contribución de un solo tipo de deterioro distorsione la calificación general (Issa et al., 2022).

El CDV logra ser obtenido por medio de tablas ASTM, asegurando que ningún defecto individual tenga más peso del debido en el PCI, de igual forma, si el total de valores deducidos excede este límite, debe ser efectuada una corrección para obtener un valor representativo del deterioro acumulado (Kumar et al., 2021).

Máximo valor deducido corregido

Es uno de los ajustes aplicados al valor deducido total cuando múltiples fallas están presentes en una misma unidad de muestreo, logra ser calculado tomando en consideración un factor de corrección basado en el número y severidad de los defectos observados (Hermawati & Putri, 2024).

El máximo valor deducido corregido logra ser determinado partiendo de tablas establecidas a través del método PCI, donde se compara el número de fallas, además de

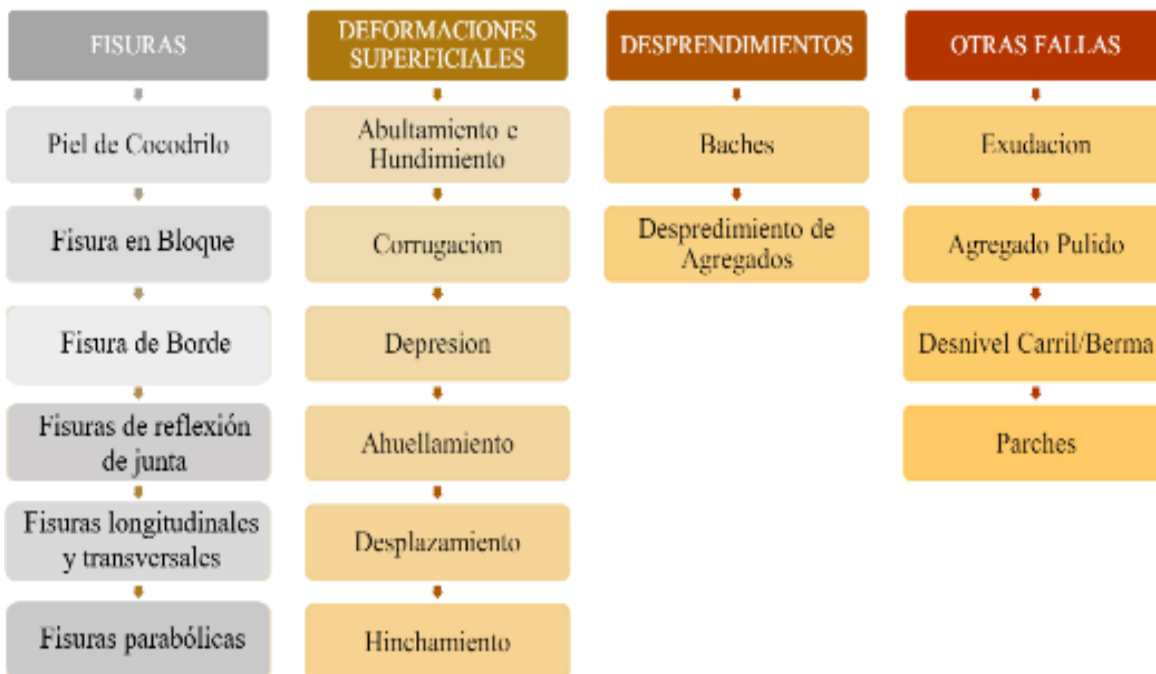
su impacto acumulativo, a su vez, la corrección garantiza que la evaluación refleje de manera más precisa el estado real del pavimento, evitando sobrestimaciones del daño en la estructura (Issa et al., 2022).

Tipo y severidad de fallas

Estas se pueden clasificar a través de 4 grandes categorías: fisuras, deformaciones superficiales, desprendimientos y otros fenómenos como el desplazamiento de bermas. Cada una de estas categorías engloba una variedad de defectos que pueden afectar la integridad y funcionalidad del pavimento, desde grietas superficiales hasta hundimientos estructurales, brindando una visión completa de los desafíos a los que se enfrenta el pavimento flexible (Rondón & Reyes, 2023).

Figura 3:

Tipos de fallas según categoría



Nota: Adaptado de Rondón y Reyes (2023).

La evaluación de la severidad concerniente al pavimento constituye un aspecto crucial en el proceso de diagnóstico y gestión del mismo, dicha evaluación comprende la

detección de una serie de características específicas presentes en las fallas, las cuales proporcionan indicadores claros sobre la gravedad de los problemas identificados. Cuando estas características muestran similitudes significativas, se procede a clasificar las fallas en distintos rangos de severidad, siendo estos bajos hasta medios y altos, según la magnitud del impacto que pueden tener en la integridad y funcionalidad del pavimento (León, 2021).

Según Rondón y Reyes (2023), la severidad se categoriza en tres niveles:

- Baja: Fallas incipientes con poco impacto en la funcionalidad.
- Media: Daños progresivos que requieren mantenimiento correctivo.
- Alta: Defectos severos que comprometen la integridad estructural del pavimento.

Determinación del PCI

Calcular el PCI está enfocado en la inspección de unidades de muestreo representativas, al igual que, el análisis de fallas identificadas y la aplicación de valores deducidos corregidos (Hermawati & Putri, 2024).

El método PCI es una metodología estandarizada que permite conocer cómo se encuentra superficialmente los pavimentos rígidos y flexibles, desarrollada a través del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (ASTM D6433-20). Está abocado en inspeccionar visualmente los defectos y su clasificación según tipo, severidad y cantidad, otorgando una característica de pavimento en pésimo estado y la de un pavimento en excelente condición (Miladiyah & Mawardi, 2022). La fórmula general para determinar el PCI es:

$$PCI = 100 - CDV$$

Ecuación 2: *Determinación del PCI*

Eficiencia del método VANT y PCI

La integración de drones en la evaluación del PCI ha demostrado ser altamente eficiente, reduciendo costos y tiempos en la inspección vial, dado que, por medio de la fotogrametría y sensores especializados, los VANT permiten que sean capturadas las imágenes de alta resolución y generar modelos tridimensionales del pavimento, facilitando la identificación de fallas sin necesidad de recorridos manuales extensivos (Astor et al., 2023).

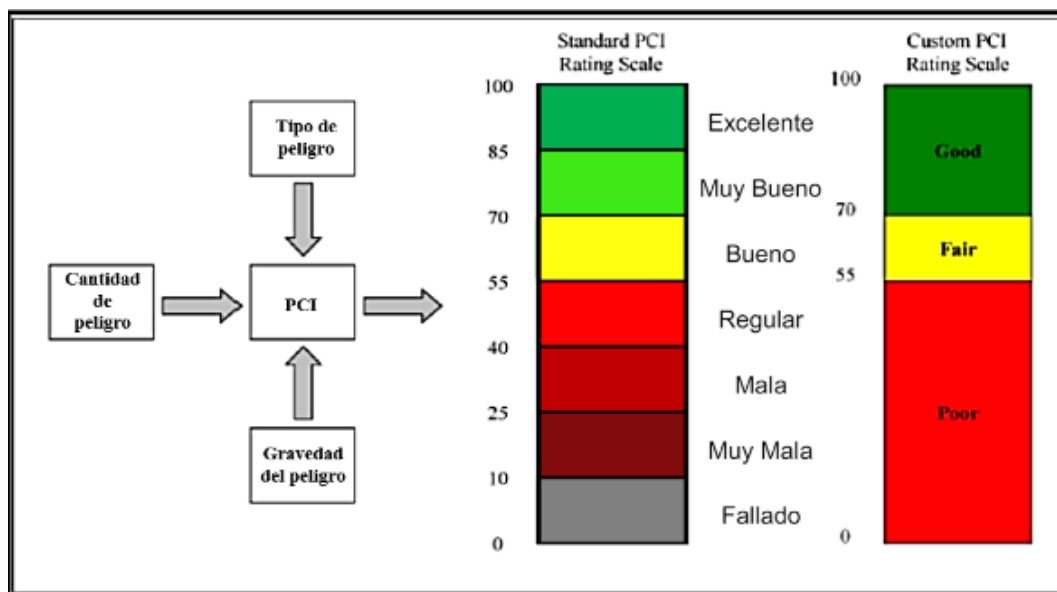
El uso del método VANT mejora la objetividad en la determinación del PCI, al permitir el procesamiento automatizado de datos con inteligencia artificial y algoritmos de reconocimiento de patrones. Esto optimiza la adopción de medidas sobre la gestión de carreteras, mejorando la planificación del mantenimiento y prolongando la vida útil del pavimento (Islam & Tarefder, 2021).

3.2.2. Bases teóricas para la variable dependiente

3.2.2.1. Condición del pavimento flexible

Grado de condición del pavimento

La escala del grado de condición se posiciona como una forma de evaluación detallado y meticuloso, diseñado a razón de abarcar tanto pavimentos rígidos como flexibles. Su función principal radica en proporcionar un análisis objetivo y exhaustivo sobre el pavimento respecto a su integridad estructural, así como las condiciones operativas de su parte superficial. A través de un espectro amplio que se extiende desde cero (0) hasta cien (100), esta escala abarca una gama completa de estados, permitiendo la clasificación precisa de la calidad del pavimento en cuestión (Garcés,, 2017).

Figura 4:*Escala de graduación del PCI*

Nota: Tomado de Al-Rubae et al. (2020)

Actividad de mantenimiento





Las labores de mantenimiento en pavimentos flexibles revelan por objetivo preservar la funcionalidad y que se prolongue en la vía su vida útil, evitando deterioros prematuros que afecten la seguridad y operatividad del tránsito. Estas acciones incluyen inspecciones periódicas, intervenciones superficiales y reparaciones específicas en función del tipo y severidad de los defectos observados en la calzada (Islam & Tarefder, 2021).

- El mantenimiento rutinario incluye acciones simples y frecuentes destinadas a preservar el estado de la superficie del pavimento, tales como limpieza de calzada, eliminación de material suelto, sellado de fisuras y reposición de señalización. Estas intervenciones no requieren equipos especializados ni interrupciones significativas en el tránsito, pero son esenciales para evitar el deterioro progresivo de la vía (Quispe, 2021).

- El mantenimiento correctivo se aplica cuando el pavimento ya presenta fallas visibles que afectan su funcionalidad, como baches, fisuras extensas o ahuellamiento. Estas intervenciones requieren reparaciones localizadas mediante el fresado y reposición de capas de asfalto o el uso de parches superficiales y profundos según la severidad del daño (Miladiyah & Mawardi, 2022).
- La rehabilitación mayor implica intervenciones más profundas que el mantenimiento correctivo, restaurando la capacidad estructural del pavimento cuando este ha sufrido un deterioro significativo. Se emplean técnicas como el reciclado en caliente o en frío, el refuerzo con capas adicionales de mezclas de asfalto y la estabilización de la base a razón de que se optimice la resistencia del suelo de apoyo (Ghadi et al., 2023).
- La reconstrucción es la solución final cuando el pavimento ha alcanzado un estado de fallo total ($PCI < 10$) y no es viable aplicar mantenimiento o rehabilitación. Este proceso implica el retiro completo del pavimento existente, la recompactación de la subrasante y la construcción de una nueva estructura de capas de base, subbase y carpeta asfáltica (Mohamed & Tran, 2021).

Figura 5:

Actividad de mantenimiento

Categoría de acción	Rango	Clasificación	Simbología
Mantenimiento Preventivo	100 – 85	Excelente	
Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico	85 – 70	Muy Bueno	
	70 – 55	Bueno	
Mantenimiento Correctivo	55 – 40	Regular	
Rehabilitación – Refuerzo Estructural	40 – 25	Malo	
Rehabilitación – Reconstrucción	25 – 10	Muy Malo	
	10 – 0	Fallado	

Nota: Tomado de Garce (2020).

3.3. Definición de términos

a. Cantidad de fallas: Número de defectos o problemas identificados en la carretera (Rondón & Reyes, 2023).

b. Capacidad vehicular: Capacidad máxima de tráfico que el pavimento flexible puede soportar sin comprometer su seguridad y funcionalidad (Bhandari et al., 2023).

c. Falla: Defecto o deterioro en la estructura del pavimento que afecta su funcionamiento y durabilidad (León, 2021).

d. Índice de condición: Valor numérico que refleja en el pavimento su estado general, basado en que sea aplicado el método PCI (Al-Rubaei et al., 2020).

e. Infraestructura vial: Conjunto de elementos físicos, como calzadas, puentes y señalización, que componen una carretera y permiten el tránsito seguro de vehículos (Richard & Mpele, 2023).

f. Mejora adecuada: Intervención o solución específica que se considera apropiada para abordar las exigencias de que se rehabilite y mantenga adecuadamente la carretera (Bhandari et al., 2023).

g. Método PCI: Procedimiento estandarizado a fin de examinar en el pavimento su condición, considerando factores como el tipo y extensión de las fallas (Ghadi et al., 2023).

h. Severidad de las fallas: Grado de daño o impacto que las fallas del pavimento tienen en lo seguro y cómodo que se encuentran los usuarios (Mohamed & Tran, 2021).

i. Tipo de fallas: Clasificación de los distintos problemas presentes en el pavimento, como grietas, baches, deformaciones, entre otros (Rondón & Reyes, 2023).

IV. Metodología

La presente investigación emplea el método hipotético-deductivo-inductivo, al partir de una hipótesis previamente formulada para ser evaluada la condición del pavimento flexible en la carretera Cusco – Paucartambo por medio del empleo del Método VANT y el PCI. Este enfoque permite estructurar el estudio de manera lógica, combinando la formulación teórica con la observación empírica y el ser analizados los datos logrados en campo.

Es un método que inicia formulando una hipótesis y posterior a ello logra someterla a prueba mediante el análisis lógico y la contrastación con la realidad; a través de la deducción, se extraen conclusiones que luego se validan o descartan con base en la observación y la evidencia empírica (Hadi et al., 2023).

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Abordó ser de tipo aplicada dado que se buscó utilizar conocimientos metodológicos existentes a través del uso del método VANT y el PCI, pretendiendo alcanzar información a detalle respecto a cómo se encontraba actualmente la vía con el fin de proponer mejoras específicas en su conservación y mantenimiento.

Entendiendo que una investigación aplicada se enfoca en la traducción práctica del conocimiento científico para resolver problemas reales y generar impactos tangibles en la sociedad (Arias et al., 2022).

4.1.2. Nivel de investigación

Se optó por el nivel descriptivo porque su objetivo principal fue caracterizar el estado del pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo a partir de valores resultantes alcanzados por medio del método VANT y el PCI. Al momento de ser recopilada la información sobre las fallas superficiales, severidad y distribución, fue generado un diagnóstico detallado sin manipular variables.

El nivel descriptivo en una investigación se centra en ser recolectados detalladamente los datos para proporcionar una comprensión exhaustiva de un fenómeno o situación particular (Ruiz & Valenzuela, 2022).

4.1.3. Diseño de investigación

Se optó por un diseño no experimental porque la investigación estuvo basada en la recopilación de datos mediante VANT y en ser aplicado el método PCI a razón de evaluar el deterioro sin intervenir en la estructura vial durante el proceso de medición.

El diseño no experimental de una investigación se caracteriza por ser observados y recopilados los datos en entornos naturales, sin la manipulación deliberada de variables (Hadi et al., 2023).

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

Se efectuó la investigación durante el año 2024, abarcando las diferentes fases del proyecto, donde estas incluyeron la recopilación de información inicial, los trabajos de

campo con el empleo del VANT, el análisis de datos por medio del método PCI y la elaboración del informe final.

4.2.2. Ámbito espacial

El estudio se efectuó en la carretera Cusco-Paucartambo, ubicada en la región Cusco, el tramo analizado fue seleccionado con base en su relevancia funcional, estado actual y su impacto en la movilidad de la población.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

4.3.1.1. Descripción

La población comprende al conjunto de elementos, con características similares, que componen el espacio donde se realiza el estudio y a través de los cuales, se logra disponer información que permite comprender el fenómeno (Arias & corvinos, 2021).

En este sentido, La investigación tiene por población objetivo al pavimento flexible correspondiente a la vía que logra conectar Cusco-Paucartambo, abarcando el tramo comprendido entre el Puente Huambutio y el distrito de Huancarani.

4.3.1.2. Cuantificación

Este segmento de la carretera Cusco-Paucartambo inicia en el Puente Huambutio y se extiende hasta el distrito de Huancarani, cubriendo una distancia total de 24+104 km, con 6.00 metros de ancho promedio de la vía, lo que da como resultado una sección de área en 144,624 m².

4.3.2. Muestra

4.3.2.1. Descripción

Representa un subgrupo de la población elegido con base a criterios metodológicos que permiten generalizar los resultados hacia la población (Hernandez & Mendoza, 2018).

Para este estudio, se ha elegido un muestreo del tipo no probabilístico intencional o por conveniencia, en el cual los investigadores fijaron criterios para identificar los elementos que componen la muestra (Arias & corvinos, 2021).

Partiendo de ello, se ha elegido una muestra intencional (Hernández et al., 2014) Las muestras seleccionadas corresponden a secciones representativas de pavimento flexible ubicadas en la carretera Cusco-Paucartambo, identificadas y seleccionadas de acuerdo a los requerimientos estipulados en la norma ASTM D6433-03, estas muestras fueron utilizadas para la aplicación de las dos metodologías contempladas en la investigación.

4.3.2.2. Cuantificación

Conforme a lo estipulado en la norma ASTM D 6433, el proceso de definición de cada unidad muestral considera de la vía su ancho y establece por criterio que las unidades deben abarcar un área en $230,00 \pm 93,00 \text{ m}^2$. A través de la tabla adjunta son evidenciados ejemplos que ilustran los vínculos entre la longitud y el ancho de las calzadas pavimentadas.

Tabla 2:

Relación de ancho-longitud de las calzadas pavimentadas

Ancho de calzada (m)	Longitud de unidad de muestra
7.3 (máximo)	31.5
6.5	35.4

6	38.3
5.5	41.8
5.0	46.0

Nota: Tomado de Vasquez (2002)

De acuerdo con la Tabla 2, la longitud establecida para cada unidad de muestra es 38.30 m, considerando un ancho promedio de calzada a 6.00 m, esto resulta en un área de muestra de 229.8 m², valor que se encuentra dentro del rango especificado por la norma ASTM D6433.

La carretera pavimentada Cusco-Paucartambo tiene por longitud total 24,104.00 m y por ancho promedio 6.00 m, lo que equivale a un área de estudio de 144,624 m², dividiendo este valor por el área de cada unidad muestral (229.8 m²), se obtiene en su totalidad 630 unidades de muestra. El área promedio de cada unidad cumple con los estándares establecidos.

A fin de que se determine la numeración mínima de unidades muestrales necesarias, se aplicó la ecuación siguiente, obteniendo un total de 16 unidades representativas que se distribuyen adecuadamente a lo largo de la vía. Esta distribución sistemática se logró calculando el intervalo de espaciamiento entre muestras, seleccionando la primera unidad de manera aleatoria.

$$n = Ns^2 / \left(\left(\frac{e^2}{4} \right) * (N - 1) + s^2 \right)$$

Ecuación 3: *Número total de unidad muestral*

Siendo el error admisible al ser calculado el PCI de la selección, e=+/-5 puntos respecto al PCI; s la desviación estándar del PCI, de una muestra a otra en la misma selección, siendo ello considerado 10 que es para pavimentos de concretos asfálticos y 15

para pavimentos rígidos articulados; y n la numeración en su totalidad la unidad muestral en la selección.

Según el cálculo realizado con la fórmula siguiente, la unidad de muestra se ubica dentro del intervalo en 40, es decir, se evalúa una unidad por cada 40 disponibles. Además, se incorporaron 5 unidades de muestra adicionales seleccionadas intencionadamente para incluir condiciones específicas de pavimento, como tramos en estado pobre, bueno y/o excelente, a razón de alcanzar una evaluación más completa del PCI.

$$i = N/n$$

Ecuación 4: *Intervalo del espaciamiento*

Siendo n el número de UM a ser inspeccionadas y N el número total de UM en la sección.

Figura 6:

Asignación de unidades muestrales en la carretera Cusco-Paucartambo



Nota: Propia del autor

Tabla 3:*Coordenada de las unidades muestrales*

Puntos	Este (X)	Norte (Y)
UM 01	206397	8497078
UM 02	206556	8497189
UM 03	207059	8497507
UM 04	207112	8498037
UM 05	205743	8498034
UM 06	206733	8498762
UM 07	206908	8500144
UM-A01	206929	8500178
UM 08	207822	8501101
UM 09	207859	8501998
UM 10	207349	8502889
UM 11	208501	8503550
UM-A02	208733	8503838
UM 12	209313	8504158
UM 13	210493	8503951
UM-A03	210457	8504072
UM 14	209767	8505076
UM-A04	210772	8505282
UM 15	210782	8505388
UM 16	211539	8505646
UM-A05	211854	8505519

Nota: Propia del autor

4.3.2.3. Método de muestreo

Se empleó el probabilístico, dado que, la selección de la primera unidad muestral se realiza aleatoriamente, mientras que las siguientes se determinan en función de un intervalo previamente definido, según lo descrito en el apartado 4.3.2.2.

4.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Para ser analizadas las unidades muestrales concerniente al pavimento flexible de la carretera Cusco-Paucartambo, fueron diseñadas fichas específicas de recolección de datos que permiten aplicar de manera efectiva tanto el método tradicional PCI como el que estuvo basado en el uso de drones (VANT).

De igual forma, se desarrollaron planos detallados que representan las fallas de cada unidad muestral, facilitando la localización y evaluación de la severidad de cada tipo de daño. Cada falla se identifica con un sombreado y color específico que corresponde al nivel de severidad registrado, asegurando una clasificación visual clara y precisa.

4.3.2.5. Criterios de inclusión

En el estudio se consideran la totalidad de unidad muestral concerniente al pavimento flexible de la vía. Estas lograron ser evaluadas y analizadas utilizando tanto el método convencional del PCI como el que estuvo basado en VANT, que incorpora el empleo de drones a fin de que se mejore la precisión y eficiencia en la recolección de datos.

4.4. Técnicas e instrumento de recolección y análisis de datos

4.4.1. Técnicas de recolección de datos

Como técnica de recolección de datos, se ha empleado la observación directa que consiste en un método donde el investigador se pone en contacto con el fenómeno a

Figura 8:

Drone Mavic 3E Enterprise



Nota: Propia del autor

Figura 9:

Equipos topográficos



Nota: Propia del autor

4.5. Análisis Estadístico

La estadística es considerada la ciencia encargada de la interpretación de los datos en base al uso de modelos matemáticos (Barreto, 2012).

Para la presentación de datos, utilizando Microsoft Excel, se elaboraron tablas que muestran los resultados finales obtenidos mediante los métodos PCI y VANT. Además, se elaboraron barras, líneas y círculos estadísticos que ilustraron de manera gráfica los resultados proporcionados. Para el estudio e interpretación de los datos, se llevó a cabo el análisis inferencial cuadrado de estadística en el programa SPSS v.28, cuyo objetivo era verificar la hipótesis propuesta en este caso, que era si existe o no una relación entre las metodologías PCI y VANT en la evaluación del estado del pavimento.

4.6. Procedimientos

4.6.1. Procedimiento para ser recolectados los datos tradicionalmente

- I. Equipos
 - Cámara de celular.
 - Regla milimétrica.
 - Regla de aluminio.
 - Ficha de recolección de datos.
 - EPPs.
 - Yeso.
 - Wincha.
 - Odómetro.
- II. Proceso para la obtención de información

Para llevar a cabo la fase de recolección de datos en toda la extensión de la carretera de 24.104 km, se identificaron 630 áreas de muestreo, con una superficie promedio de 229.8 m². De estas, se seleccionaron 16 muestras representativas, además de 5 muestras

adicionales elegidas aleatoriamente que no representan la totalidad del escenario evaluado.

Se efectuó una inspección inicial a lo largo de toda la vía objeto de análisis, con el propósito de obtener una visión general sobre las condiciones actuales del pavimento. Esta actividad se llevó a cabo mediante recorridos a pie o utilizando un vehículo.

Como primer punto, se tomó por unidad muestral UM-01 localizada en la carretera Cusco-Paucartambo. El procedimiento comienza identificando cada límite de la unidad muestral, estableciendo por longitud 38.3 m lineal con la ayuda de un odómetro. Posteriormente, se delimita el tramo a examinar marcándolo con yeso, siendo ello ilustrado en las imágenes que se presentan a continuación.

Figura 10:

Unidad de muestra – 01





Nota: Propia del autor

Se efectuó la anotación del código y la categoría de la unidad de muestreo, al igual que sus medidas específicas, utilizando un odómetro como instrumento principal. Dichos datos se consignan en formatos evaluativos previamente establecido.

Se identificó los defectos presentes en la unidad de muestreo, procediendo a medirlos y clasificarlos según su grado de severidad. La información recopilada fue documentada en el formulario diseñado para el análisis correspondiente.

Figura 11:

Procesamiento del PCI del UM-01

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE										
		PROYECTO: "EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA METODOLOGIA TRADICIONAL DEL PCI Y LA METODOLOGIA VANT EN LA CARRETERA CUSCO - PAUCARTAMBO"								
DENOMINACION DE LA VIA:		CARRETERA 20B		UNIDAD DE MUESTRA:		UM - 01				
EVALUADORES:		GUSTAVO LOPE A Y JUAN C MAMANIO		PROGRESIVA (km):		0+900-0+98.3				
ANCHO DE LA CALZADA (m):		8		AREA DE LA MUESTRA (m2):		229.8				
N°		FALLAS		COD.		UNIDAD				
1		Piel De Coodrillo		PC		m2				
2		Eradacion		EX		m2				
3		Agrupamiento En Bloque		BLD		m2				
4		Abultamiento Y Hardiment		ABH		m2				
5		Corrugacion		COR		m2				
6		Deposito		DEP		m2				
7		Grieta De Borde		GB		m				
8		Grieta De Reflexion De Junta		GR		m				
9		Desnivel Cantil/Berna		DN		m				
10		Grieta Longitudinales Y Tran		GLT		m				
11		Parcheo		PA		m2				
12		Pulimento De Agregado		PU		m2				
13		Huecos		HUE		und				
14		Cruce De Via Ferrea		CVF		m2				
N°		FALLAS		COD.		UNIDAD				
15		Ahuellamiento		AHU		m2				
16		Desplazamiento		DES		m2				
17		Grieta Parabólica		GP		m2				
18		Hinchamiento		HN		m2				
19		Desprendimiento De Agregado		DAG		m2				
Rango PCI %		Color		Estado						
0-10				Falta						
11-25				Muy Malo						
26-40				Malos						
41-55				Regular						
56-70				Bueno						
71-85				Muy Bueno						
86-100				Excelente						
SEVERIDADES		LOW		BAJA		L				
		MEDIUN		MEDIA		M				
		HIGH		ALTA		H				
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO(VD)
8	L	6.7					6.7	2.92%	1.83	
16	L	8.9					8.9	3.87%	3.12	
12	L	72.54					72.54	31.57%	8.58	
13	H	2					2	0.87%	49.75	
							TOTAL VD =		63.28	
valor deducido mas alto (HV D):		49.75		VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (VDC)						
numero de valores deducidos >2 (q):		3								
numero maximo de valores deducidos (m):		5.6 m = 1+(3/8)(100-HDV) <= 10								
N°	VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VDC						
1	49.75 8.58 3.12	61.40	3	38.94						
2	49.75 8.58 2	60.34	2	44.23						
3	49.75 2 2	53.75	1	53.75						
							Max VDC=		63.75	
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)=							$100 - (\text{Max VDC} \text{ o } \text{total VD})$		46.25	
GRADO DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO							Regular			

Nota: Propia del autor

- Los hallazgos alcanzados en la unidad de muestreo UM-01 incluyeron los siguientes aspectos:

Se identificaron cuatro clases de defectos: fisuras por reflexión en juntas, grietas longitudinales y transversales, desgaste superficial del agregado, y cavidades (huecos).

Cada uno de estos defectos presentó distintos niveles de severidad, detallados a continuación:

- ✓ Baja severidad (L): 6.7 m² de fisuras por reflexión en juntas, 8.9 m² de grietas transversales y longitudinales, y 72.54 m² de superficies con desgaste del agregado.
- ✓ Alta severidad (H): 2 unidades correspondientes a cavidades o huecos.

Figura 12:

Falla de grieta de deflexión de junta severidad baja



Nota: Propia del autor

Figura 13:

Falla de grieta longitudinal y transversal severidad baja



Nota: Propia del autor

Figura 14:

Falla de pulimiento de agregado severidad baja



Nota: Propia del autor

Figura 15:

Fallas de hueco de Severidad alta (H)



Nota: Propia del autor

4.6.2. Procedimiento para ser recolectados por medio del método VANT

I. Equipos

- Drone Mavic 3E Enterprise
- Laptop Lenovo.
- Celular iPhone.
- GPS GARMIN map60CSx.
- GPS diferencial Trimble.
- Estación total Trimble y sus accesorios.
- Ficha de recolección de datos.
- EPPs.
- Yeso.

- Wincha.
- Odómetro.

II. Proceso para la obtención de información

Para la obtención de los hallazgos a lo largo de la vía de 24.104 km, se dispusieron 630 zonas de muestreo con un promedio de 229.8 m² por unidad. De este total, se seleccionaron 16 unidades consideradas representativas y 5 adicionales escogidas de manera aleatoria, sumando un total de 21 muestras.

Para comparar ambas metodologías, se utilizará la unidad muestral misma seleccionada en el método convencional, identificada como UM-01, situada en la carretera Cusco-Paucartambo.

Se realizó la localización precisa del segmento de análisis para garantizar la consistencia del estudio.

Para la preparación para el vuelo se definió un área adecuada para el despegue del dron, que puede estar dentro o fuera de la zona de muestreo, asegurándose de que el espacio esté libre de obstrucciones para evitar inconvenientes durante el despegue y el vuelo. Se empleó una lista de verificación previa al vuelo, siendo:

- ✓ Confirmar que la batería del dron esté completamente cargada.
- ✓ Asegurarse de que las hélices estén instaladas correctamente.
- ✓ Verificar que el entorno esté despejado de posibles obstrucciones como cables de alta tensión, árbol, talud o edificaciones.
- ✓ Disponer de conexión a la red a fin de que se cargue el plan de vuelo.
- ✓ Garantizar la conexión adecuada conforme al mando del dron y dispositivo móvil.

De acuerdo con lo estipulado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), tiene que ser respetada la distancia mínima de 20 metros en vertical y 30 metros en horizontal con respecto a cualquier obstáculo.

- El vuelo del dron modelo Mavic 3E Enterprise fue planificado utilizando dos aplicaciones específicas: “DJI Pilot 2” y “DJI GO 4”. Estas herramientas permiten programar automáticamente las rutas del vuelo y evaluar la calidad de las imágenes capturadas.

La aplicación DJI GO 4 se empleó para ajustar la configuración de la cámara del dron según las condiciones de luz existentes, ya que factores climáticos como la luminosidad influyen directamente en la nitidez de las imágenes. Cabe mencionar que esta aplicación está diseñada exclusivamente para los productos de la línea DJI.

La aplicación “DJI Pilot 2” y “DJI GO 4”. permitió delimitar el área a inspeccionar estableciendo diversos parámetros de vuelo, como el tipo de cámara utilizada por el dron, la altitud de operación, el valor porcentual de superposición transversal y longitudinal sobre imágenes, y de la cámara su ángulo de inclinación.

Para configurar el plan de vuelo, se utilizaron los siguientes valores:

- Altitud de vuelo: 30 metros.
- Ángulo de la cámara: 90°.
- Área de vuelo: 4825.8 m².
- Traslape de vuelo: 75% - 75% transversal.

Se mantuvo una altitud uniforme de 30 metros en todas las áreas de muestreo, con el objetivo de garantizar una calidad de resolución homogénea en las ortofotos y evitar inconsistencias en la identificación y al ser medidas las fallas detectadas.

Figura 16:

Configuración del plan de vuelo en la aplicación DJI Pilot 2



Nota: Propia del autor

Al culminar, la aplicación calculó automáticamente el tiempo, la velocidad y el número de líneas de vuelo, a su vez se verificó el almacenamiento del drone, conectividad, cantidad de batería, GPS, y demás en relación.

Figura 17:

Área, velocidad y altura de vuelo con la aplicación DJI Pilot 2



Nota: Propia del autor

Figura 18:

Verificación de los permisos requeridos para iniciar el vuelo

Lista de comprobación de cartografía			
20932 m Distancia	33 m 31 s Hora estimada	181 Trayectoria	947 veces Fotos de instrumentos 1
Altitud de despegue segura (2~1500m)			-100 -10 20 +10 +100
Guardar foto	DJI Mavic 3E - WIDE	GSD de reconstrucción	4,03 cm/píxel
Estado de RTK	Desactivado		
Acción completa de ruta de vuelo	Regreso al punto de origen	Acción de pérdida de señal	Regreso al punto de origen
Crear carpeta	DJI_YYYYMMDDhhmm_XXX_ Cartografía12		
Modo de cámara	Auto S A M		
Corrección esférica	<input type="checkbox"/>		
Atrás		Cargar misión de vuelo	

Nota: Propia del autor

Una vez otorgados todos los permisos necesarios, se activó el vuelo de manera automática; durante la operación, es posible visualizar la ruta seguida por el dron, el número de satélites GPS disponibles, la velocidad de desplazamiento, la difusión instantánea de las imágenes captadas, el nivel de batería del equipo, y el conteo de fotografías tomadas; ante cualquier inconveniente, se sugiere detener el vuelo; en ese caso, el dron regresará automáticamente al punto de partida sin mayores complicaciones.

Figura 19:

Vista del transcurso de vuelo del Dron Mavic 3E Enterprise



Nota: Propia del autor

Al finalizar el vuelo, todas las imágenes capturadas se descargan en la memoria interna del dron, y posteriormente, se almacenan como parte de un archivo de proyecto dentro la aplicación “DJI Pilot 2” y “DJI GO 4”, donde se incluye la totalidad de hallazgos en el plan de vuelo.

Figura 20:

Transferencia de imágenes capturadas en vuelo



Nota: Propia del autor

Figura 21:

Proyecto de vuelo guardado en la aplicación DJI Pilot 2



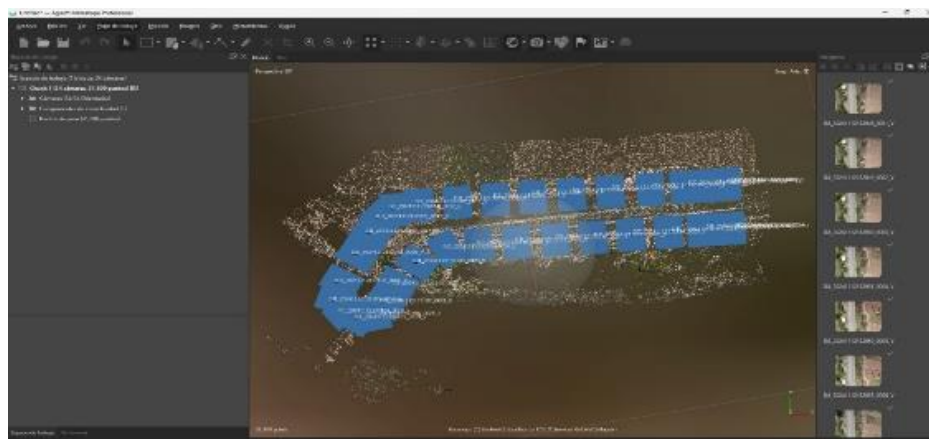
Nota: Propia del autor

➤ **Procesamiento de imágenes:**

Agisoft Metashape se empleó para analizar y reconocer las características de las imágenes captadas mediante el uso de drones. Al iniciar, se cargó una carpeta que tuvo las fotografías obtenidas, generando un flujo de trabajo automatizado; el programa orientó automáticamente las imágenes para proceder con el procesamiento.

Figura 22:

Imágenes subidas por medio del programa Agisoft Metashape



Nota: Propia del autor

Se establecieron puntos clave que facilitaron la orientación automática de las fotografías, este paso aseguró que las imágenes sean alineadas y preparadas para las etapas posteriores.

Figura 23:

Creación de puntos y orientación



Nota: Propia del autor

Se asignan puntos de referencia o control fotográfico con el objetivo de alinear correctamente las imágenes y minimizar errores al ser georreferenciado.

Figura 24:

Inclusión de puntos de control fotográfico

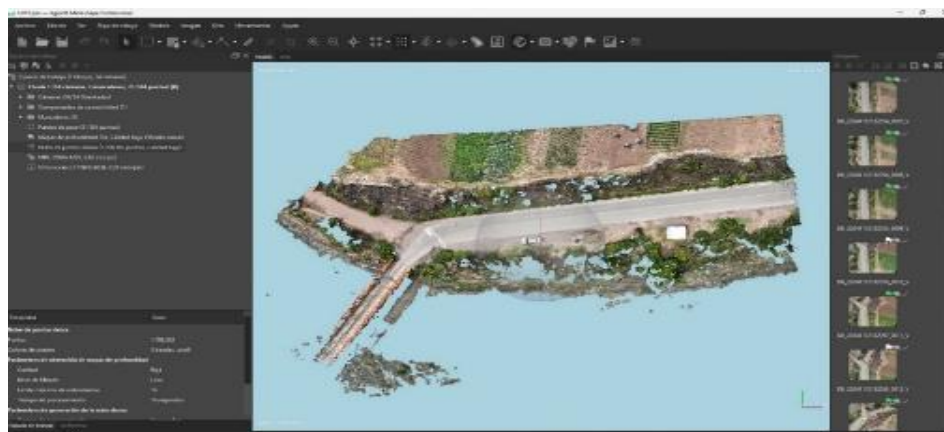


Nota: Propia del autor

Se produjo una nube de puntos densa que optimiza en la superficie capturada su visualización y su modelado tridimensional (3D).

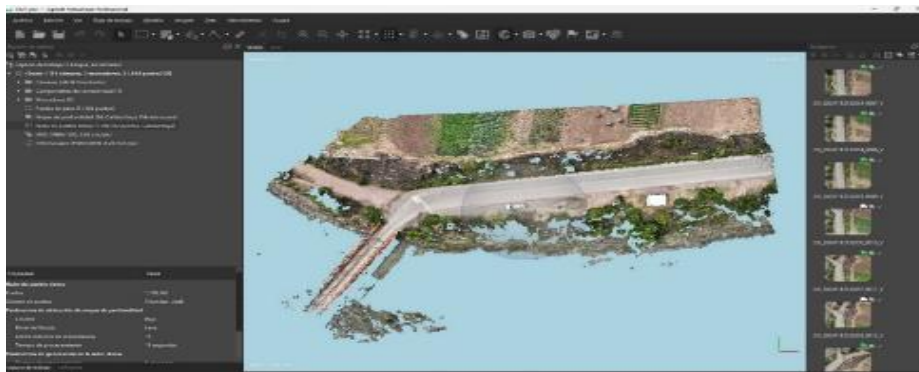
Figura 25:

Generación de nube de puntos densa

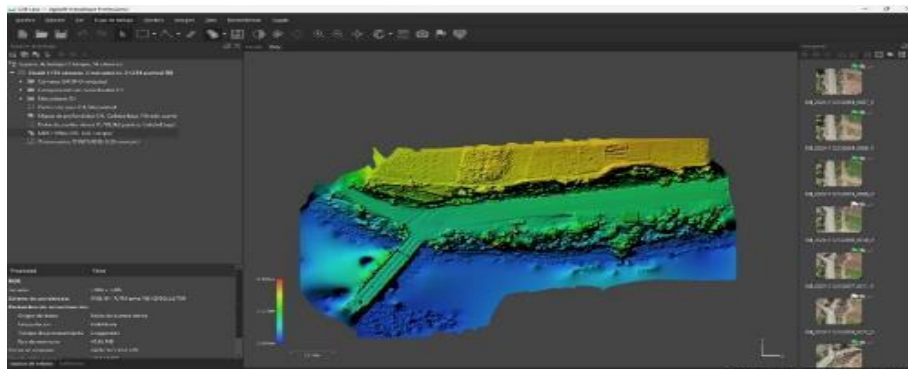


Nota: Propia del autor

Partiendo de la nube de puntos, se construye una malla digital que forma el modelo 3D; en este paso, también se mejora la textura de las imágenes para lograr un mayor nivel de detalle en el resultado final.

Figura 26:*Generación de malla digital**Nota: Propia del autor*

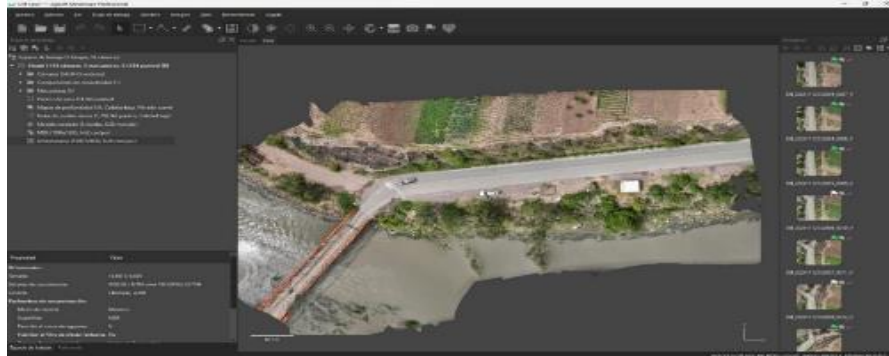
Se elaboró un Modelo Digital de Elevaciones (DEM), lo cual permitió representar las características del terreno con gran precisión, siendo un paso fundamental en el análisis de irregularidades.

Figura 27:*Generación de DEM**Nota: Propia del autor*

Se generó un ortomosaico, que consiste en una representación ajustada y escalada de las imágenes de la zona estudiada; este archivo se utilizó posteriormente en programas como AutoCAD Civil 3D para que se identifique y dimensione las fallas.

Figura 28:

Generación de ortomosaicos



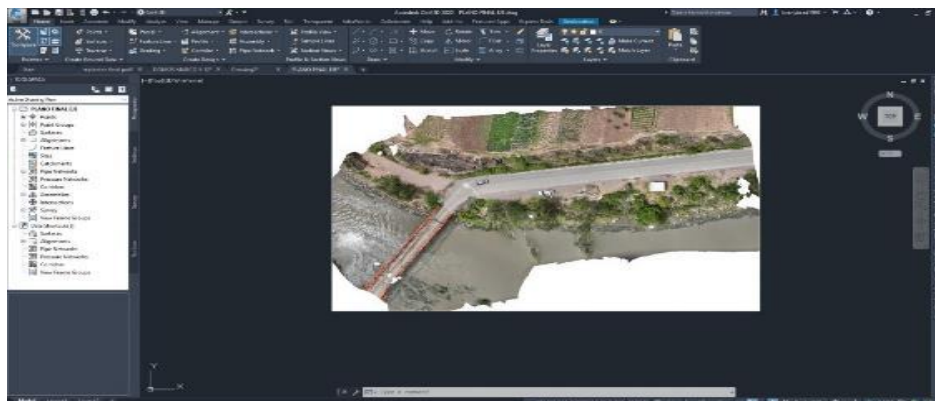
Nota: Propia del autor

➤ Dimensionamiento de fallas empleando AutoCAD Civil 3D

El ortomosaico se importó al software AutoCAD Civil 3D, donde se analizó e identificó en las fallas detectadas su severidad.

Figura 29:

Dimensionamiento de fallas localizadas por medio del software AutoCAD Civil 3D



Nota: Propia del autor

Se asignan niveles de severidad a las fallas según una leyenda predefinida que utiliza colores para su representación considerado tanto para la muestra UM-01 hasta la muestra UMA-05:

- ✓ Rojo: Severidad alta.
- ✓ Amarillo: Severidad media.
- ✓ Verde: Severidad baja.

Figura 30:

Leyenda de severidad aplicado a las muestras UM-01 hasta la UMA-05



Nota: Propia del autor

Se logró identificar la totalidad de fallas dentro del tramo examinado, clasificándolas y resaltándolas con su respectivo color en función de la severidad.

Figura 31:

Localización de fallas identificadas



Nota: Propia del autor

La ortofoto del tramo de estudio se recortó y se incluyeron las fallas detectadas con su clasificación.

Figura 32:

Ortofoto recortado respecto al tramo estudiado UM-01



Nota: Propia del autor

Estudios previos como el de Tan y Li (2019) han demostrado que el uso de imágenes fotogramétricas obtenidas con UAV permite reconstrucciones 3D de alta precisión, teniendo por error promedio 1 cm en la dimensión vertical. En el presente análisis, los datos procesados mostraron una variación en la vertical ± 1.5 a 15 mm y en la horizontal de ± 1 a 8 mm al emplear puntos de control capturados con la estación total y GPS diferencial. Estos valores indican que las mediciones son lo suficientemente precisas para evaluar las fallas sin afectar significativamente el PCI.

Figura 33:

Análisis de severidad por medio del MDE y Ortofoto



Nota: Propia del autor

Se identificaron diversas categorías de severidad para los cuatro tipos de defectos analizados, que se describen posteriormente:

- ✓ Severidad alta (H): 2 unidades de defectos tipo huecos.
- ✓ Severidad baja (L): 6.7 metros de grietas de reflexión en juntas, 8.9 metros correspondientes a grietas transversales y longitudinales, y por área 72.54 m² afectada por el desgaste superficial del agregado.

Posteriormente, se revela el esquema detallado sobre las fallas correspondiente a la unidad muestral UM-01, donde se localizan y marcan con precisión las fallas identificadas, facilitando su análisis y las acciones correctivas necesarias en futuras intervenciones.

Figura 34:

Plano de falla respecto al tramo estudiado UM-01



Nota: Propia del autor

Posteriormente, se presentan los datos recopilados de las 21 unidades de muestra obtenidas utilizando el método basado en VANT. Que se encuentran en la parte de anexos los planos de falla de las 16 unidades de muestras y 05 unidades de muestra adicionales.

4.7. Análisis de datos

4.7.1. Proceso para ser analizados los datos levantados tradicionalmente

Se utiliza la muestra número 01 como referencia a fin de efectuar el procesamiento de datos. Respecto al procedimiento de análisis, se calcula la suma de las áreas o longitudes totales correspondientes a cada categoría de falla, clasificadas por nivel de severidad.

$$DENSIDAD (\%) = \frac{AREA\ TOTAL\ DE\ FALLA}{AREA\ TOTAL\ UM - 01}$$

Ecuación 5: Fórmula de densidad

Se calculó el valor derivado (VD) utilizando las gráficas de valores asignados para pavimento asfáltico, correspondientes al tipo de falla y su nivel de severidad, donde estas están disponibles por medio de los anexos. A través de estas gráficas, se obtuvo el valor derivado para cada categoría de defecto según su nivel de gravedad.

Por ejemplo, para un hueco con gravedad moderada (13-H), que presentó por densidad 0.87%, se localizó el valor derivado correspondiente en las curvas específicas para huecos.

Figura 37:

Cálculo del Valor Deducido sobre la falla de huecos para UM-01



Nota: Propia del autor

El valor deducido obtenido a partir de la curva de parche para una severidad media fue 19.03, posteriormente, lograron ser calculados los valores derivados correspondientes a los tipos de falla identificada.

Figura 38:

Medición del valor deducido concerniente al tipo de fallas para UM -01

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD PARCIALES									TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO (VD)
8	L	6.7									6.7	2.92%	1.88
10	L	8.9									8.9	3.87%	3.12
12	L	72.54									72.54	31.67%	8.58
13	H	2									2	0.87%	49.75
											TOTAL VD =		63.26

Nota: Propia del autor

Según la norma ASTM D6433, si ninguno o solo uno de los valores derivados individuales supera 2, se utiliza el valor total en lugar del VDC a fin de ser determinado el Índice de PCI.

Luego de calcular los valores derivados, se sumó la cantidad total de aquellos superiores a 2, obteniendo un total de 3.

$$Cantidad\ de\ valores\ derivados > 2 (q): 3$$

Ecuación 6: Cantidad de valores derivados

Continuando con ello, se determinó el número máximo admisible de valores derivados utilizando la fórmula:

$$m = 1 + (9/98) * (100 - HDV) = < 10$$

Ecuación 7: Número máximo admisible de valores derivados

Siendo:

m: Número máximo permitido de valores derivados, contemplando fracciones (≤ 10).

HDV: Valor derivado individual más alto en la unidad de muestra.

Para la muestra UM-01, el mayor valor deducido individual fue 49.75. Sustituyendo en la fórmula:

$$m = 1 + (9/98) * (100 - 49.75) = < 10$$

Ecuación 8: Cálculo del número máximo admisible de valores derivados

El valor de m fue 6, dado que la ASTM D6433 revela que contemplando la fracción decimal. Si hay una menor cantidad de VD que el máximo m, se emplea en su totalidad los disponibles.

Se generó un listado descendente de valores derivados individuales, multiplicando el último por la fracción del máximo permitido. Los valores resultantes se suman para obtener el valor deducido total (VDT).

Posterior a ello, se redujo a 2 el dato más reducido derivados individuales hasta que q tenga una equivalencia de 1.

Figura 39:

Listado de valores deducidos totales respecto al UM-01

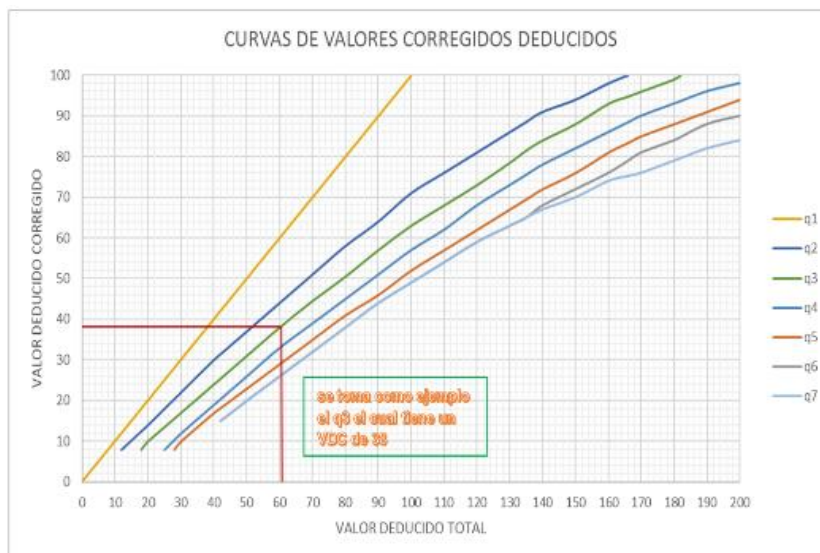
N°	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC
1	49.75	8.58	3.12						61.45	3	
2	49.75	8.58	2						60.33	2	
3	49.75	2	2						53.75	1	
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
										Max VDC=	0

Nota: Propia del autor

Se tuvo que identificar el VDC para cada VDT, dichos valores resultantes se alcanzaron a través de curvas de corrección del VD respecto al concreto asfáltico.

Figura 40:

Hallazgo de valores deducidos corregidos respecto a la UM-01



Nota: Propia del autor

Figura 41:

Listado de valores deducidos corregidos respecto a la UM-01

N°	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC
1	49.75	8.58	3.12						81.45	3	38
2	49.75	8.58	2						80.33	2	44
3	49.75	2	2						53.75	1	52.56
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
										Max VDC=	52.56

Nota: Propia del autor

A razón de ser calculado el PCI, se obtuvo siendo restado a 100 el máximo VDC.


$$PCI = 100 - Max.VDC$$

Ecuación 9: Fórmula del PCI

A fin de ejemplificar la unidad de muestra UM-01, se evidenció por PCI 4, en conformidad al grado de PCI le tuvo que corresponder al estado de pavimento regular.

Figura 42:

Resultado de PCI para UM-01

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)=	$\frac{100 - (\text{Max VDC o total VD})}{47.44}$
GRADO DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO	

Nota: Propia del autor

Figura 43:*Grado de condición del pavimento*



Rango PCI %	Color	Estado
0-10		Falla
nov-25		Muy Malo
26-40		Malo
41-55		Regular
56-70		Bueno
71-85		Muy Bueno
86-100		Excelente

Nota: Propia del autor

En la siguiente figura, se presenta el análisis de la muestra UM-01 a través del método tradicional PCI. Para ello, se efectuó un procedimiento a detalle que incluyó la identificación de la muestra, la aplicación del método conforme a los criterios estipulados y el registro de los resultados que se obtuvieron. Este mismo procedimiento fue replicado en las demás muestras desde la UM-01 hasta la UM-16 y las UMA-05 a fin de que se asegure la precisión en la evaluación. Donde dicho análisis de las 21 UM se podrá corroborar en la parte de anexos

Figura 44:

Análisis UM-01 por medio del método tradicional PCI

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE																																																																																																																																			
 <p>PROYECTO: "EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA METODOLOGIA TRADICIONAL DEL PCI Y LA METODOLOGIA VANT EN LA CARRETERA CUSCO - PAUCARTAMBO</p> 																																																																																																																																			
DENOMINACION DE LA VIA:		CARRETERA 28B			UNIDAD DE MUESTRA:			UM - 01																																																																																																																											
EVALUADORES:		GUSTAVO LOPE.A Y JUAN.C MAMANI.Q			PROGRESIVA (km):			0+000-0+38.3																																																																																																																											
ANCHO DE LA CALZADA (m):		6			AREA DE LA MUESTRA (m2):			229.8																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>FALLAS</th> <th>COD.</th> <th>UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Piel De Cocodrillo</td><td>PC</td><td>m2</td></tr> <tr><td>2</td><td>Exudacion</td><td>EX</td><td>m2</td></tr> <tr><td>3</td><td>Agrietamiento En Bloque</td><td>BLO</td><td>m2</td></tr> <tr><td>4</td><td>Abultamiento Y Hundimiento</td><td>ABH</td><td>m2</td></tr> <tr><td>5</td><td>Corrugacion</td><td>COR</td><td>m2</td></tr> <tr><td>6</td><td>Depresion</td><td>DEP</td><td>m2</td></tr> <tr><td>7</td><td>Grieta De Borde</td><td>GB</td><td>m</td></tr> <tr><td>8</td><td>Grieta De Reflexion De Junta</td><td>GR</td><td>m</td></tr> <tr><td>9</td><td>Desnivel Carriil/Berna</td><td>DN</td><td>m</td></tr> <tr><td>10</td><td>Grieta Longitudinales Y Tra</td><td>GLT</td><td>m</td></tr> <tr><td>11</td><td>Parqueo</td><td>PA</td><td>m2</td></tr> <tr><td>12</td><td>Pulimiento De Agregado</td><td>PU</td><td>m2</td></tr> <tr><td>13</td><td>Huecos</td><td>HUE</td><td>und</td></tr> <tr><td>14</td><td>Cruce De Via Ferrea</td><td>CVF</td><td>m2</td></tr> </tbody> </table>				N°	FALLAS	COD.	UNIDAD	1	Piel De Cocodrillo	PC	m2	2	Exudacion	EX	m2	3	Agrietamiento En Bloque	BLO	m2	4	Abultamiento Y Hundimiento	ABH	m2	5	Corrugacion	COR	m2	6	Depresion	DEP	m2	7	Grieta De Borde	GB	m	8	Grieta De Reflexion De Junta	GR	m	9	Desnivel Carriil/Berna	DN	m	10	Grieta Longitudinales Y Tra	GLT	m	11	Parqueo	PA	m2	12	Pulimiento De Agregado	PU	m2	13	Huecos	HUE	und	14	Cruce De Via Ferrea	CVF	m2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>FALLAS</th> <th>COD.</th> <th>UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15</td><td>Ahuellamiento</td><td>AHU</td><td>m2</td></tr> <tr><td>16</td><td>Desplazamiento</td><td>DES</td><td>m2</td></tr> <tr><td>17</td><td>Grieta Parabolica</td><td>GP</td><td>m2</td></tr> <tr><td>18</td><td>Hinchamiento</td><td>HN</td><td>m2</td></tr> <tr><td>19</td><td>Desprendimiento De Agreg</td><td>DAG</td><td>m2</td></tr> </tbody> </table>				N°	FALLAS	COD.	UNIDAD	15	Ahuellamiento	AHU	m2	16	Desplazamiento	DES	m2	17	Grieta Parabolica	GP	m2	18	Hinchamiento	HN	m2	19	Desprendimiento De Agreg	DAG	m2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango PCI %</th> <th>Color</th> <th>Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-10</td><td></td><td>Falla</td></tr> <tr><td>11-25</td><td></td><td>Muy Malo</td></tr> <tr><td>26-40</td><td></td><td>Malo</td></tr> <tr><td>41-55</td><td></td><td>Regular</td></tr> <tr><td>56-70</td><td></td><td>Bueno</td></tr> <tr><td>71-85</td><td></td><td>Muy Bueno</td></tr> <tr><td>86-100</td><td></td><td>Excelente</td></tr> </tbody> </table>		Rango PCI %	Color	Estado	0-10		Falla	11-25		Muy Malo	26-40		Malo	41-55		Regular	56-70		Bueno	71-85		Muy Bueno	86-100		Excelente	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">SEVERIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LOW</td> <td>BAJA</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>MEDIUN</td> <td>MEDIA</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>HIGH</td> <td>ALTA</td> <td>H</td> </tr> </tbody> </table>		SEVERIDADES			LOW	BAJA	L	MEDIUN	MEDIA	M	HIGH	ALTA	H
N°	FALLAS	COD.	UNIDAD																																																																																																																																
1	Piel De Cocodrillo	PC	m2																																																																																																																																
2	Exudacion	EX	m2																																																																																																																																
3	Agrietamiento En Bloque	BLO	m2																																																																																																																																
4	Abultamiento Y Hundimiento	ABH	m2																																																																																																																																
5	Corrugacion	COR	m2																																																																																																																																
6	Depresion	DEP	m2																																																																																																																																
7	Grieta De Borde	GB	m																																																																																																																																
8	Grieta De Reflexion De Junta	GR	m																																																																																																																																
9	Desnivel Carriil/Berna	DN	m																																																																																																																																
10	Grieta Longitudinales Y Tra	GLT	m																																																																																																																																
11	Parqueo	PA	m2																																																																																																																																
12	Pulimiento De Agregado	PU	m2																																																																																																																																
13	Huecos	HUE	und																																																																																																																																
14	Cruce De Via Ferrea	CVF	m2																																																																																																																																
N°	FALLAS	COD.	UNIDAD																																																																																																																																
15	Ahuellamiento	AHU	m2																																																																																																																																
16	Desplazamiento	DES	m2																																																																																																																																
17	Grieta Parabolica	GP	m2																																																																																																																																
18	Hinchamiento	HN	m2																																																																																																																																
19	Desprendimiento De Agreg	DAG	m2																																																																																																																																
Rango PCI %	Color	Estado																																																																																																																																	
0-10		Falla																																																																																																																																	
11-25		Muy Malo																																																																																																																																	
26-40		Malo																																																																																																																																	
41-55		Regular																																																																																																																																	
56-70		Bueno																																																																																																																																	
71-85		Muy Bueno																																																																																																																																	
86-100		Excelente																																																																																																																																	
SEVERIDADES																																																																																																																																			
LOW	BAJA	L																																																																																																																																	
MEDIUN	MEDIA	M																																																																																																																																	
HIGH	ALTA	H																																																																																																																																	
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD PARCIALES								TOTAL	DENSIDA%	VALOR DEDUCIDO(VD)																																																																																																																							
8	L	6.7								6.7	2.92%	1.83																																																																																																																							
10	L	8.9								8.9	3.87%	3.12																																																																																																																							
12	L	72.54								72.54	31.57%	8.58																																																																																																																							
13	H	2								2	0.87%	49.75																																																																																																																							
										TOTAL VD =		63.28																																																																																																																							
valor deducido mas alto (HV Di):		49.75																																																																																																																																	
numero de valores deducidos >2 (q):		3																																																																																																																																	
numeros maximos de valores deducidos (mi):		5.6 m = 1+(9/98)(100-HDV)<=10																																																																																																																																	
N°	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC																																																																																																																								
1	49.75	8.59	3.12						61.46	3	38.94																																																																																																																								
2	49.75	8.59	2						60.34	2	44.23																																																																																																																								
3	49.75	2	2						53.75	1	53.75																																																																																																																								
										Max VDC=	53.75																																																																																																																								
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)=										100-(Max VDC o total VD)																																																																																																																									
										46.25																																																																																																																									
GRADO DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO										Regular																																																																																																																									

Nota: Propia del autor

4.7.2. Proceso para ser analizados los datos levantados empleando dron

Se efectuó el mismo proceso como el apartado 4.6.1. del PCI para las muestras por medio del método VANT. En la siguiente figura, se analizó la muestra UM-01 a través de este método, efectuando un procedimiento que incluyó la identificación de la muestra, la aplicación del método conforme a los criterios estipulados y el registro de los resultados que se obtuvieron. Este mismo procedimiento fue replicado en las demás muestras desde la UM-01 hasta la UM-16 y las UMA-05 a fin de que se asegure la precisión en la evaluación. Donde dicho análisis de las 21 UM se podrá corroborar en la parte de anexos

Figura 45:

Análisis UM-01 por medio del método VANT

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE										
		PROYECTO: "EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA METODOLOGIA TRADICIONAL DEL PCI Y LA METODOLOGIA VANT EN LA CARRETERA CUSCO - PAUCARTAMBO"								
DENOMINACION DE LA VIA:		CARRETERA 28B		UNIDAD DE MUESTRA:		UM - 01				
EVALUADORES:		GUSTAVO LOPE.A Y JUAN.C MAMAN.Q		PROGRESIVA (km):		0+000-0+38.3				
ANCHO DE LA CALZADA (m):		6		AREA DE LA MUESTRA (m2):		229.8				
N°	FALLAS	COD.	UNIDAD	N°	FALLAS	COD.	UNIDAD			
1	Piel De Coadrillo	PC	m2	15	Ahuellamiento	AHU	m2			
2	Exudacion	EX	m2	16	Desplazamiento	DES	m2			
3	Agrietamiento En Bloque	BLO	m2	17	Grieta Parabolica	GP	m2			
4	Abultamiento Y Hundimiento	ABH	m2	18	Hinchamiento	HN	m2			
5	Corrugacion	COR	m2	19	Desprendimiento De Agregado	DAG	m2			
6	Depresion	DEP	m2							
7	Grieta De Borde	GB	m							
8	Grieta De Reflexion De Junta	GR	m							
9	Desnivel Carril/Berna	DN	m							
10	Grieta Longitudinales Y Transverzales	GLT	m							
11	Parqueo	PA	m2							
12	Pulimento De Agregado	PU	m2							
13	Huecos	HUE	und							
14	Cruce De Via Ferrea	CVF	m2							
				Rango PCI %	Color	Estado	SEVERIDADES			
				0-10		Falla	LOW	BAJA	L	
				11-25		Muy Malo	MEDIUN	MEDIA	M	
				26-40		Malo	HIGH	ALTA	H	
				41-55		Regular				
				56-70		Bueno				
				71-85		Muy Bueno				
				86-100		Excelente				
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD PARCIALES						TOTAL	DENSIDA%	VALOR DEDUCIDO(VD)
8	L	6.7					6.7	2.92%	1.83	
10	L	7					7	3.05%	2.06	
12	L	65					65	28.29%	7.99	
13	H	2					2	0.87%	49.75	
							TOTAL VD =		61.63	
valor deducido mas alto (HV D _i):		49.75		VALORES DEDUCIDOS		VDT	q	VDC		
numero de valores deducidos >2 (q):		3		1	49.75	59.8	3	37.86		
numeros maximos de valores deducidos (m):		5.6 m = 1+(9/98)(100-HDV)≤10		2	49.75	59.74	2	43.81		
				2	49.75	53.75	1	53.75		
							Max VDC=		53.75	
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)=							100-(Max VDC o total VD) 46.25			
GRADO DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO							Regular			

Nota: Propia del autor

4.7.3. Análisis de nivel de confiabilidad del método VANT en comparación con el método tradicional PCI

A razón de ser examinado el nivel de confiabilidad del método VANT en comparación con el método tradicional PCI, se empleó por medio del software SPSS v.28. El análisis se basó en la comparación del valor.

Tabla 4:

Unidades de muestra total de PCI tradicional y VANT

UM	PROGRESIVA	PCI - TRADICIONAL	PCI - VANT
UM - 01	0+000-0+038.3	46.25	46.25
UM - 02	1+500-1+538.3	86.71	87.13
UM - 03	3+000-3+038.3	80.84	84.47
UM - 04	4+500-4+538.3	67.14	69.9
UM - 05	6+000-6+038.3	78.16	78.65
UM - 06	7+500-7+538.3	76.06	63.15
UM - 07	9+000-9+038.3	69.32	65.02
UM - 08	10+500-10+538.3	77.89	77.48
UM - 09	12+000-12+038.3	79.41	64.47
UM - 10	13+500-13+538.3	79.3	61.39
UM - 11	15+000-15+038.3	100	87.05
UM - 12	16+500-16+538.3	86.11	86.11
UM - 13	18+000-18+038.3	97.75	93.78
UM - 14	19+500-19+538.3	100	100
UM - 15	21+000-21+038.3	71.1	71.1
UM - 16	22+500-22+538.3	79.35	88.55
UMA-01	9+038.3+9+0.076.6	68.66	58.31
UMA-02	15+138.30+15+176.6	48.37	51.12
UMA-03	18+158.3+18+196.6	32.27	19.59
UMA-04	20+836.7+ 20+875	30.65	29.64
UMA-05	23+390.3 + 23+428.6	36.32	49.56

Nota: Propia del autor

Figura 46:

Registro de datos por medio del software SPSS v.28

	TRADICIONAL	VANT
1	3.00	5.00
2	50.00	50.00
3	20.00	27.00
4	81.00	90.00
5	50.00	55.00
6	34.00	35.00
7	30.00	41.00
8	32.00	28.00
9	32.00	32.00
10	50.00	52.00
11	81.00	82.00
12	82.00	80.00
13	40.00	47.00
14	65.00	65.00
15	0.00	0.00
16	60.00	58.00
17	70.00	67.00
18	0.00	0.00
19	60.00	67.00
20	51.00	53.00
21	50.00	50.00
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		

Nota: Propia del autor

Posteriormente, se llegaron a describir los pasos efectuados:

✓ Planteamiento de hipótesis

H0: No existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos con la metodología tradicional y los obtenidos con la metodología VANT (hipótesis nula).

H1: Existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos con la metodología tradicional y los obtenidos con la metodología VANT (hipótesis alternativa).

✓ Nivel de significancia

Se estableció por nivel de confiabilidad 95%, lo que corresponde a un valor de $\alpha=0.05$ o 5%.

✓ Selección de la prueba estadística

Dado que este estudio es longitudinal y el PCI representa una variable fija, se empleó por test estadístico paramétrico numérico: T de Student para muestras emparejadas o relacionadas. Esta prueba requiere que los datos cumplan con la condición de normalidad.

- ✓ Prueba de normalidad

Se trabajó con la totalidad de datos disponibles.

Tabla 5:

Validación del 100% de los datos que se ingresaron

	Válido		Casos perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Tradicional	21	100.00%	0	0.00%	21	100.00%
Dron	21	100.00%	0	0.00%	21	100.00%

Nota: Propia del autor

Para determinar la normalidad, se seleccionó el test de Shapiro-Wilk dado que el tamaño de la muestra no superaba los 50.

Tabla 6:

Resultados del test de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tradicional	.139	21	.200	.960	21	.516
Dron	.137	21	.200	.950	21	.334

Nota: Propia del autor

Criterios para ser determinada la normalidad:

Si el valor $p \geq \alpha$: es aceptada la H_0 , indicando que los datos derivan de una distribución normal.

Si el valor $p < \alpha$: es aceptada la H_1 , indicando que los datos no derivan de una distribución normal.

Tabla 7:

Criterios para evaluar la normalidad

Análisis de normalidad		
P-valor (Tradicional)	0.5160 >	$\alpha = 0.050$
P-valor (Drone)	0.3340 >	$\alpha = 0.050$

Nota: Propia del autor

Al contar con los resultados alcanzados, se evidenció que los datos generados tanto por el método tradicional PCI como por el método VANT corresponden a una distribución normal.

4.8. Consideraciones éticas

Se tomaron en consideración diversos lineamientos a razón de garantizar la integridad ética del proyecto de investigación, asegurando un cumplimiento riguroso de las normativas establecidas y obteniendo resultados respaldados por un laboratorio acreditado, donde esto aseguró la validez de los datos obtenidos, de igual forma, contribuyó de manera significativa al beneficio colectivo de la sociedad.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Estado actual del pavimento flexible empleando el Método PCI de la carretera Cusco Paucartambo, Cusco

Se evidencia los valores resultantes en relación a los indicadores del método, siendo: I) metrado de falla, II) distribución de deterioro, III) condición del pavimento.

5.1.1.1. Síntesis de metrados de falla con el método PCI

La tabla revela una síntesis detallada de las fallas que se identificaron en el pavimento, categorizadas según el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Se enumeran diferentes tipos de fallas, clasificadas por unidad de medida y nivel de severidad (bajo, medio y alto). Esta tabla sirve como base a fin de ser evaluado el estado actual del pavimento y definir estrategias de mantenimiento y rehabilitación futuras.

Tabla 8:*Síntesis de metrados de falla - PCI*

N°	Tipo de fallas	Unidad	Nivel de severidad	Sub total
			L	0.00
1	Piel De Cocodrilo	m ²	M	0.00
			H	0
			L	0.00
2	Exudación	m ²	M	0.00
			H	5.74
			L	52.036
3	Agrietamiento En Bloque	m ²	M	23.97
			H	0.00
			L	0.00
4	Abultamiento Y Hundimiento	m ²	M	0.79
			H	0.00
			L	0.00
5	Corrugación	m ²	M	0.00
			H	0.00
			L	0.00
6	Depresión	m ²	M	0.00
			H	215.7
			L	80.88
7	Grieta De Borde	m	M	0.00
			H	0.00
8	Grieta De Reflexión De Junta	m	L	6.7
			M	0.00

			H	0.00
			L	0.00
9	Desnivel Carril/Berna	m	M	0.00
			H	0.00
			L	61.81
10	Grieta Longitudinales Y Transversales	m	M	85.38
			H	0.00
			L	0.00
11	Parqueo	m ²	M	0.00
			H	0.00
			L	1195.74
12	Pulimiento De Agregado	m ²	M	686.465
			H	0.00
			L	1
13	Huecos	und	M	5
			H	3
			L	0.00
14	Cruce De Vía Férrea	m ²	M	0.00
			H	0.00
			L	0.00
15	Ahuellamiento	m ²	M	0.00
			H	0.00
			L	0.00
16	Desplazamiento	m ²	M	0.00
			H	60.78
17	Grieta Parabólica	m ²	L	0.00

			M	0.00
			H	0.00
			L	0.00
18	Hinchamiento	m ²	M	0.00
			H	48.8
			L	0.00
19	Desprendimiento De	m ²	M	9.9
	Agregado		H	0.00

Nota: Propia del autor

5.1.1.2. Vista general de falla en cada unidad de muestra

La tabla proporciona un análisis exhaustivo de las fallas identificadas en la totalidad de unidades de muestra utilizando el método convencional del PCI. Se categoriza cada tipo de falla según su unidad de medida y nivel de severidad (bajo, medio y alto), mostrando la extensión del deterioro en diversas unidades de muestreo (UM-1 a UM-16 y unidades adicionales como UMA-01 a UMA-05).

Cruce De Vía		L			0
Férrea	m ²	M			0
		H			0
		L			0
Ahuellamiento	m ²	M			0
		H			0
		L			0
Desplazamiento	m ²	M			0
o		H		18.0	
				8 42.7	60.78
Grieta		L			0
Parabólica	m ²	M			0
		H			0
		L			0
Hinchamiento	m ²	M			0
		H		48.8	48.8
	m ²	L			0

Desprendimient	M	9.9	9.9
o De Agregado	H		0

Nota: Propia del autor

La tabla presenta el porcentaje total de fallas identificadas a través del método tradicional del PCI. Este análisis cuantitativo revela la distribución de las diferentes fallas en relación con el total observado.

Tabla 10:

Porcentaje total de fallas identificadas - Método Tradicional PCI

Tipo de fallas	Porcentaje
Exudación	0.23%
Agrietamiento En Bloque	2.99%
Abultamiento Y Hundimiento	0.03%
Depresión	8.48%
Grieta De Borde	3.18%
Grieta De Reflexión De Junta	0.26%
Grieta Longitudinales Y Transversales	5.79%
Pulimiento De Agregado	74.00%
Huecos	0.35%
Desplazamiento	2.39%
Hinchamiento	1.92%
Desprendimiento De Agregado	0.39%
Total	100.00%

Nota: Propia del autor

5.1.1.3. Tabla del análisis PCI

El Índice de Condición del Pavimento se ha calculado sobre cada unidad de muestra utilizando el método tradicional. A razón de ser calculado el PCI implicó la identificación de

las fallas, la determinación de su severidad y extensión, y la asignación de una puntuación que refleje del pavimento su condición general.

Tabla 11:

PCI de cada Unidad de Muestra por medio del método Tradicional

UM	Progresiva	VDT O Máx VDC	PCI - Tradicional	Condición
UM-1	1+168 - 1+203	96.2	3.8	Fallado
UMA-02	2+761 - 2+796	42	58	Bueno
UM-2	3+186 - 3+221	74	26	Malo
UMA-04	4+956 -4+991	13	87	Excelente
UM-3	5+203 - 5+239	42	58	Bueno
UM-4	7+221 - 7+257	66	34	Malo
UM-5	9+239 - 9+274	62	38	Malo
UM-6	11+257 - 11+292	68	32	Malo
UM-7	13+275 - 13+310	68	32	Malo
UMA-01	12+708 - 12+744	50	50	Regular
UM-8	15+292 - 15+328	19	81	Muy Bueno
UMA-03	16+602 - 16+638	38	62	Bueno
UM-9	17+310 - 17+346	52	48	Regular
UM-10	19+328 - 19+363	35	65	Bueno
UM-11	21+346 - 21+381	94	6	Fallado
UM-12	23+364 - 23+399	34	66	Bueno
UM-13	25+381 - 25+417	25	75	Muy Bueno
UM-14	27+399 - 27+435	92	8	Fallado
UM-15	29+417 - 29+452	44	56	Bueno
UM-16	31+435 - 31+470	43	57	Bueno

UMA-05	32+284 - 32+320	81	19	Muy Malo
--------	-----------------	----	----	----------

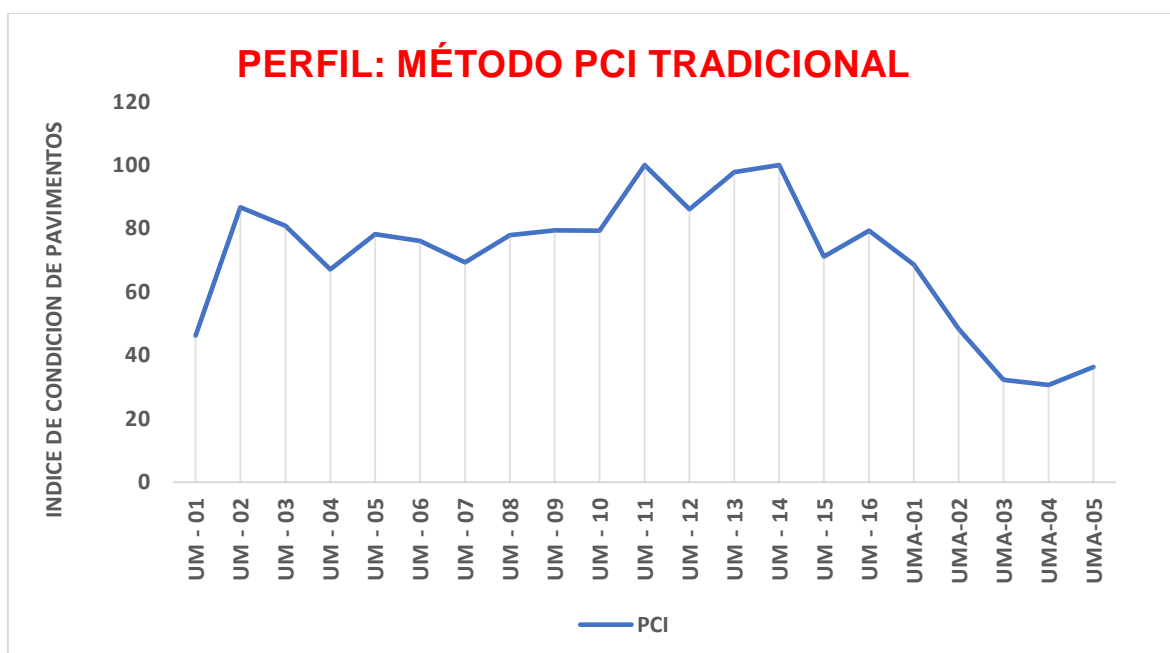
Nota: Propia del autor

5.1.1.4. Perfil PCI para la carretera Cusco – Paucartambo

Se evidencia posteriormente para las 21 Unidades de Muestra de la carretera Cusco - Paucartambo el perfil del índice de condición del pavimento por medio del método tradicional PCI:

Figura 47:

Perfil de cada Unidad de Muestra por medio del método PCI



Nota: Propia del autor

5.1.1.5. Condición del pavimento

Al ya obtenerse la totalidad de resultados conforme al índice de condición de pavimento para cada muestra, elegida aleatoriamente, debe tenerse en consideración un promedio ponderado a fin de ser hallado el PCI para la vía, empleando la fórmula adjunta:

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

Ecuación 10: Condición del pavimento

Dado ello, el índice de condición de pavimento fue 52.05, evidenciando que el pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo se situó dentro del estado de conservación Regular.

Continuando con ello, se evidencia los valores porcentuales de los tipos de condición del pavimento localizado en la extensión de la carretera Cusco – Paucartambo.

Tabla 12:

Condición de pavimento de la carretera Cusco - Paucartambo por medio del método tradicional PCI

Condición	Unidad de muestreo	% De condición de pavimento
Excelente	5	23.81%
Muy bueno	8	38.10%
Bueno	3	14.29%
Regular	2	9.52%
Malo	3	14.29%
Muy malo	0	0.00%
Fallado	0	0.00%
Total	21	100.00%

Nota: Propia del autor

5.1.2. Estado actual del pavimento flexible empleando el Método VANT de la

carretera Cusco Paucartambo, Cusco

5.1.2.1. Síntesis de metrados de falla con el método VANT

La tabla presenta una síntesis detallada de las fallas que se identificaron dentro del pavimento, categorizadas según el Índice de Condición del Pavimento por medio del método VANT. Se enumeran diferentes tipos de fallas, clasificadas por unidad de medida y nivel de severidad (bajo, medio y alto). Esta tabla sirve como base a razón de ser evaluado el estado actual del pavimento y definir estrategias de mantenimiento y rehabilitación futuros.

Tabla 13:

Síntesis de metrados de falla - VANT

N°	Tipo de fallas	Unidad	Nivel de severidad	Sub total
			L	0
1	Piel De Cocodrilo	m ²	M	0
			H	0
			L	0
2	Exudación	m ²	M	0
			H	9.12
			L	61.05
3	Agrietamiento En Bloque	m ²	M	27.56
			H	0
			L	0
4	Abultamiento Y Hundimiento	m ²	M	14.05
			H	0
			L	0
5	Corrugación	m ²	M	0
			H	0

			H	0
			L	0
6	Depresión	m ²	M	0
			H	243.73
			L	78.84
7	Grieta De Borde	m	M	0
			H	0
			L	6.7
8	Grieta De Reflexión De Junta	m	M	0
			H	0
			L	0
9	Desnivel Carril/Berna	m	M	0
			H	0
			L	61.53
10	Grieta Longitudinales Y Transversales	m	M	49.85
			H	0
			L	0
11	Parcheo	m ²	M	0
			H	0
			L	1044.46
12	Pulimiento De Agregado	m ²	M	565.26
			H	0
			L	1
13	Huecos	und	M	5
			H	3
14	Cruce De Vía Férrea	m ²	L	0

			M	0
			H	0
			L	0
15	Ahuellamiento	m ²	M	0
			H	0
			L	0
16	Desplazamiento	m ²	M	0
			H	46.97
			L	0
17	Grieta Parabólica	m ²	M	0
			H	0
			L	0
18	Hinchamiento	m ²	M	0
			H	34.61
			L	0
19	Desprendimiento De Agregado	m ²	M	41.86
			H	0

Nota: Propia del autor

5.1.2.2. Vista general de falla en cada unidad de muestra

La tabla proporciona un análisis exhaustivo de las fallas identificadas en la totalidad de unidades de muestra utilizando el método VANT. Se categoriza cada tipo de falla según su unidad de medida y nivel de severidad (bajo, medio y alto), mostrando la extensión del deterioro en diversas unidades de muestreo (UM-1 a UM-16 y unidades adicionales como UMA-01 a UMA.-05).

Cruce De Vía		M				0
Férrea		H				0
		L				0
Ahuellamiento	M ²	M				0
		H				0
		L				0
Desplazamient	M ²	M				0
o		H		18.0	42.7	60.78
		L		8		0
Grieta	M ²	M				0
Parabólica		H				0
		L				0
Hinchamiento	M ²	M				0
		H			48.8	48.8
		L				0
	M ²	M	9.9			9.9

Desprendimien

to De

H

0

Agregado

Nota: Propia del autor

Tabla 15:*Porcentaje total de fallas identificadas - Método VANT*

Tipo de fallas	Porcentaje
Exudación	0.40%
Agrietamiento En Bloque	3.86%
Abultamiento Y Hundimiento	0.61%
Depresión	10.62%
Grieta De Borde	3.44%
Grieta De Reflexión De Junta	0.29%
Grieta Longitudinales Y Transversales	4.85%
Pulimiento De Agregado	70.15%
Huecos	0.39%
Desplazamiento	2.05%
Hinchamiento	1.51%
Desprendimiento De Agregado	1.82%
Total	100.00%

Nota: Propia del autor

5.1.2.3. Tabla del análisis índice de condición del pavimento por medio del VANT

El Índice de Condición del Pavimento se ha calculado para cada Unidad de Muestra utilizando el método VANT. El proceso de cálculo implica que sean identificadas las fallas,

la determinación de su severidad y extensión, y la asignación de una puntuación que refleje la condición general del pavimento

Tabla 16:

PCI de cada Unidad de Muestra por medio del método VANT

UM	Progresiva	VDT o max	PCI	Condición
		VDC		
UM - 01	0+000-0+038.3	53.75	46.25	Regular
UM - 02	1+500-1+538.3	12.87	87.13	Excelente
UM - 03	3+000-3+038.3	15.53	84.47	Muy bueno
UM - 04	4+500-4+538.3	30.1	69.9	Bueno
UM - 05	6+000-6+038.3	21.35	78.65	Muy bueno
UM - 06	7+500-7+538.3	36.85	63.15	Muy bueno
UM - 07	9+000-9+038.3	34.98	65.02	Bueno
UM - 08	10+500-10+538.3	22.52	77.48	Muy bueno
UM - 09	12+000-12+038.3	35.53	64.47	Bueno
UM - 10	13+500-13+538.3	38.61	61.39	Bueno
UM - 11	15+000-15+038.5	12.95	87.05	Excelente
UM - 12	16+500-16+538.3	10.61	86.11	Excelente
UM - 13	18+000-18+038.3	6.22	93.78	Excelente
UM - 14	19+500-19+538.3	0	100	Excelente
UM - 15	21+000-21+038.3	28.9	71.1	Muy bueno
UM - 16	22+500-22+538.3	11.45	88.55	Muy bueno
UMA-01		41.69	58.31	Bueno
UMA-02		48.88	51.12	Regular
UMA-03		80.41	19.59	Muy malo

UMA-04	70.36	29.64	Malo
UMA-05	50.44	49.56	Regular

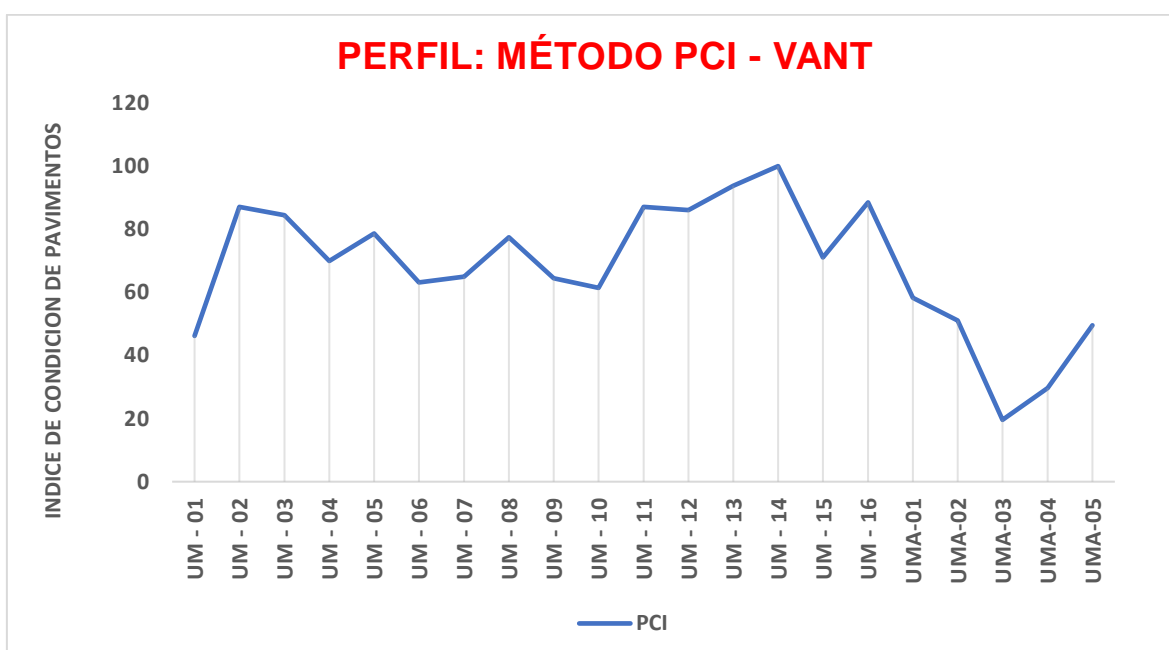
Nota: Propia del autor

5.1.2.4. Perfil PCI para la carretera Cusco – Paucartambo

Se evidencia posteriormente para las 21 Unidades de Muestra de la carretera Cusco - Paucartambo su perfil del índice de condición del pavimento por medio del método VANT:

Figura 48:

Perfil de cada Unidad de Muestra por medio del método VANT



Nota: Propia del autor

5.1.2.5. Condición del pavimento

Al ya obtenerse la totalidad de resultados conforme al índice de condición de pavimento por medio del método VANT para cada muestra, elegida aleatoriamente, debe

tenerse en consideración un promedio ponderado a razón de ser hallado el PCI para la vía, empleando la formula adjunta:

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

Ecuación 11: Cálculo de condición del pavimento

Dado ello, el índice de condición de pavimento a través del método VANT fue 50.003, evidenciando que se situó en un estado de conservación Regular el pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo.

Continuando con ello, se evidencia los valores porcentuales de los tipos de condición del pavimento con el método VANT localizado en toda la carretera Cusco – Paucartambo.

Tabla 17:

Condición de pavimento de la carretera Cusco-Paucartambo por medio del método VANT

Condición	Unidad de muestreo	% De condición de pavimento
Excelente	5	23.81%
Muy bueno	6	28.57%
Bueno	5	23.81%
Regular	3	14.29%
Malo	1	4.76%
Muy malo	1	4.76%
Fallado	0	0.00%
Total	21	100.00%

Nota: Propia del autor

5.1.3. Tipo de actividad de mantenimiento vial a realizar en la carretera Cusco

Paucartambo, Cusco de metodologías PCI y VANT

La siguiente tabla aborda el tipo de actividad de mantenimiento vial a realizar en la carretera Cusco-Paucartambo, centrándose en las metodologías del PCI y el VANT. A través de un análisis exhaustivo de las fallas identificadas y su extensión, se definieron las acciones de mantenimiento más adecuadas para restaurar la condición de la carretera.

Tabla 18:*Alternativas de Mantenimiento para cada Unidad de Muestra*

UM	Progresiva	PCI- Tradicional	Condición	PCI-VANT	Condición	Mantenimiento
UM - 01	0+000+0+038.3	46.25	Regular	46.25	Regular	Sellado de la superficie con lechada asfáltica (slurry seal)
UM - 02	1+500+1+538.3	86.71	Excelente	87.13	Excelente	No requiere mantenimiento.
UM - 03	3+000+3+038.3	80.84	Muy bueno	84.47	Muy bueno	No requiere mantenimiento.
UM - 04	4+500+4+538.3	67.14	Bueno	69.9	Bueno	No requiere mantenimiento.
UM - 05	6+000+6+038.3	78.16	Muy bueno	78.65	Muy bueno	No requiere mantenimiento.
UM - 06	7+500+7+538.3	76.06	Muy bueno	63.15	Muy bueno	No requiere mantenimiento.

UM - 07	9+000+9+038.3	69.32	Bueno	65.02	Bueno	Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena y Sellado de la superficie afectada con emulsión bituminosa
UM - 08	10+500+10+538.3	77.89	Muy bueno	77.48	Muy bueno	No requiere mantenimiento.
UM - 09	12+000+12+038.3	79.41	Muy bueno	64.47	Bueno	Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena y Sellado de la superficie afectada con emulsión bituminosa
UM - 10	13+500+13+538.3	79.3	Muy bueno	61.39	Bueno	Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena y Sellado de la superficie afectada con emulsión bituminosa
UM - 11	15+000+15+408.5	100	Excelente	87.05	Excelente	No requiere mantenimiento.
UM - 12	16+500+16+538.1	86.11	Excelente	86.11	Excelente	No requiere mantenimiento.
UM - 13	18+000+18+408.3	97.75	Excelente	93.78	Excelente	No requiere mantenimiento.

UM - 14	19+500+19+538.3	100	Excelente	100	Excelente	No requiere mantenimiento.
UM - 15	21+000+21+408.3	71.1	Muy bueno	71.1	Muy bueno	No requiere mantenimiento.
UM - 16	22+500+22+538.79	79.35	Muy bueno	55.55	Muy bueno	Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena y Sellado de la superficie afectada con emulsión bituminosa
UMA- 01		68.66	Bueno	58.31	Bueno	Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena
UMA- 02		48.37	Regular	51.12	Regular	Sellado de la superficie con lechada asfáltica (slurry seal)
UMA- 03		32.27	Malo	19.59	Muy malo	Bacheo profundo; incluida reposición de base granular y Sellado de la superficie con lechada asfáltica (slurry seal)
UMA- 04		30.65	Malo	29.64	Malo	Bacheo parcial (capa asfáltica); mezclas asfálticas en frío caliente y Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena

UMA- 05	36.32	Malo	49.56	Regular	Bacheo parcial (capa asfáltica); mezclas asfálticas en frío caliente y Sellado de fisuras con mortero asfáltico; asfalto líquido o emulsión bituminosa + arena
------------	-------	------	-------	---------	--

Nota: Propia del autor

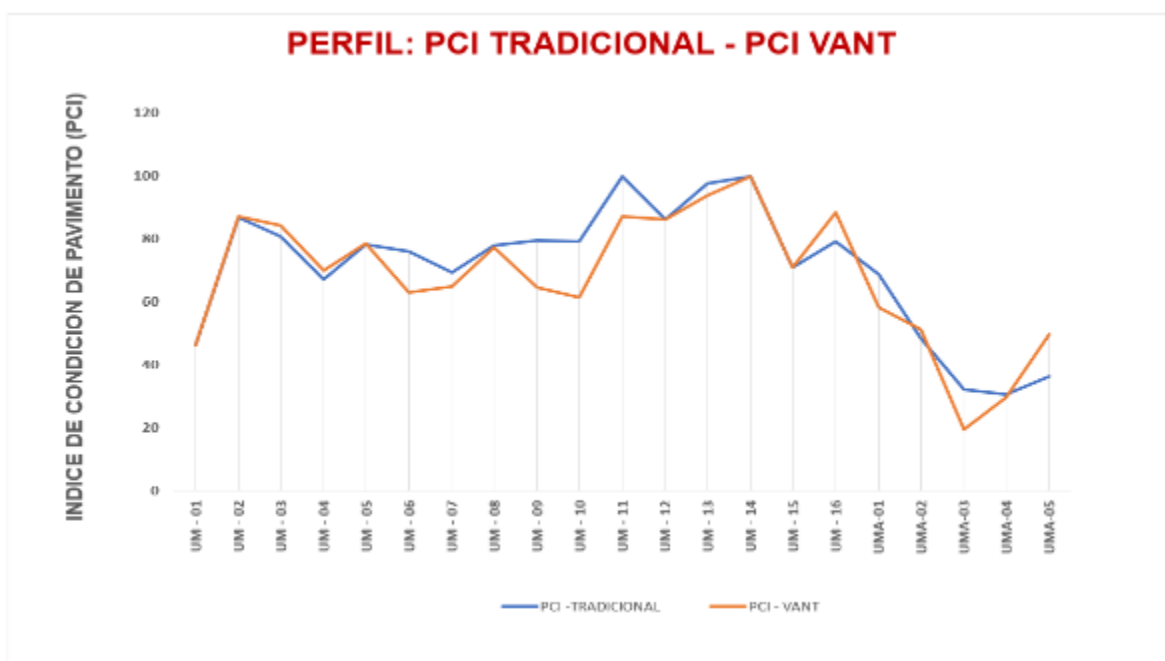
5.1.4. Análisis de eficiencia del método tradicional del PCI y el método VANT

5.1.4.1. Comparativa de resultados con el método tradicional del PCI y el método VANT

Se verificó el contraste de los valores resultantes de las 21 unidades de muestra que se tomó para ambos métodos, evidenciando que no existe alguna diferencia significativa entre cada perfil de índice de condición de pavimento de ambos métodos.

Figura 49:

Comparativa del perfil de las metodologías PCI y VANT



Nota: Propia del autor

5.1.4.2. Eficiencia respecto al tiempo y costo

A razón de ser calculado el costo y beneficio de las metodologías evaluadas, se analizaron tanto el precio como el tiempo requerido para cada procedimiento, comparando

el método tradicional PCI y el método VANT, a razón de determinar cuál resulta más eficiente.

En el método tradicional PCI, el tiempo estimado para recopilar los datos de cada unidad de muestra es equivalente a 2 horas y 30 minutos; dicho cálculo incluyó actividades complementarias como: desplazamiento al sitio, instalación de conos de seguridad en el área de estudio, ubicación precisa de la unidad de muestra con GPS, delimitación del área del tramo, medición de fallas y registro fotográfico. Siguiendo este método, se evaluaron tres unidades de muestra diarias, logrando completar el levantamiento de datos de las 21 unidades en 7 días. Posteriormente, el procesamiento y análisis de los datos tomaron 8 días, trabajando 5 horas diarias.

En contraste, el método VANT requiere 40 minutos para ser capturadas fotografías de cada unidad de muestra, dicho tiempo incluyó actividades como: llegada al lugar, localización de la unidad de muestra con GPS, instalación de puntos de fotocontrol cerca del área de estudio, georreferenciación de los puntos de fotocontrol con GPS diferencial y registro fotográfico. Para las 21 unidades de muestra, el trabajo de campo se completó en 2 días, con jornadas de 6 horas diarias. Para ser procesadas las imágenes, generación de ortofotos procesadas, ser elaborados los planos de fallas y su dimensionamiento se ejecutó en gabinete, dedicando 1 hora y 30 minutos por cada unidad de muestra. Todo el proceso de gabinete se completó en 5 días, trabajando 6 horas diarias, por otro lado, para procesar y analizar los datos se tomó 5 días, también con jornadas de 6 horas diarias.

Cabe destacar que los tiempos evidenciados son promedios, considerando que las unidades de muestra no revelan homogeneidad y asumiendo que no ocurrieron errores durante el proceso.

El costo total para evaluar la carretera Cusco-Paucartambo utilizando el método tradicional PCI fue S/. 5472.40, de acuerdo al desglose presentado en la tabla correspondiente.

Tabla 19:

Presupuesto para ser evaluada la Carretera Cusco-Paucartambo por medio del método tradicional PCI

Ítem	Und	Cantidad	Precio Unitario	Total
-Técnico 1	Dia	14	S/. 150.00	S/. 2100.00
-Técnico 2	Dia	14	S/. 120.00	S/. 1680.00
-Ayudante	Dia	7	S/. 50.00	S/. 350.00
-Alquilar vehículos	Dia	7	S/. 100.00	S/. 700.00
-Combustibles	Gal	16	S/. 15.40	S/. 246.40
-Odómetros	Und	1	S/. 150.00	S/. 150.00
-EPP	Und	2	S/. 80.00	S/. 160.00
-Yeso	Bls	1	S/. 5.50	S/. 5.50
-Pintura Esmalte	Gal	1	S/. 50.50	S/. 50.50
-Thiner Acrílico	Gal	1	S/. 22.00	S/. 22.00
-Brocha	Und	1	S/. 8.00	S/. 8.00
			Total	S/. 5472.40

Nota: Propia del autor

A razón de ser obtenidos los precios para ser evaluada la carretera Cusco-Paucartambo por medio del método VANT se evidenció por total S/. 5133.60 soles, siendo esto detallado por medio de la tabla adjunta.

Tabla 20:

Presupuesto para ser evaluada la Carretera Cusco-Paucartambo por medio del método tradicional VANT

Item	Und	Cantidad	Precio Unitario	Total
-Técnico 1	Dia	13	S/. 150.00	S/. 1950.00
-Técnico 2	Dia	13	S/. 120.00	S/. 1560.00
-Ayudante	Dia	2	S/. 50.00	S/. 100.00
-Alquilar vehículos	Dia	2	S/. 100.00	S/. 200.00
-Alquilar Drones Y Equipos	Dia	2	S/. 700.00	S/. 1400.00
-Combustible	Gal	2	S/. 15.40	S/. 30.80
-Odómetros	Und	1	S/. 150.00	S/. 150.00
-Epp	UND	2	S/. 80.00	S/. 160.00
- Yeso	Bls	2	S/. 5.50	S/. 11.00
			TOTAL	S/. 5133.60

Nota: Propia del autor

Cada precio evidenciado por medio de la Tabla 19 y 20 tomaron en consideración al asumir que no hubo ningún tipo de error mientras se obtuvieron los valores resultantes en el estudio.

5.2. Análisis de resultados

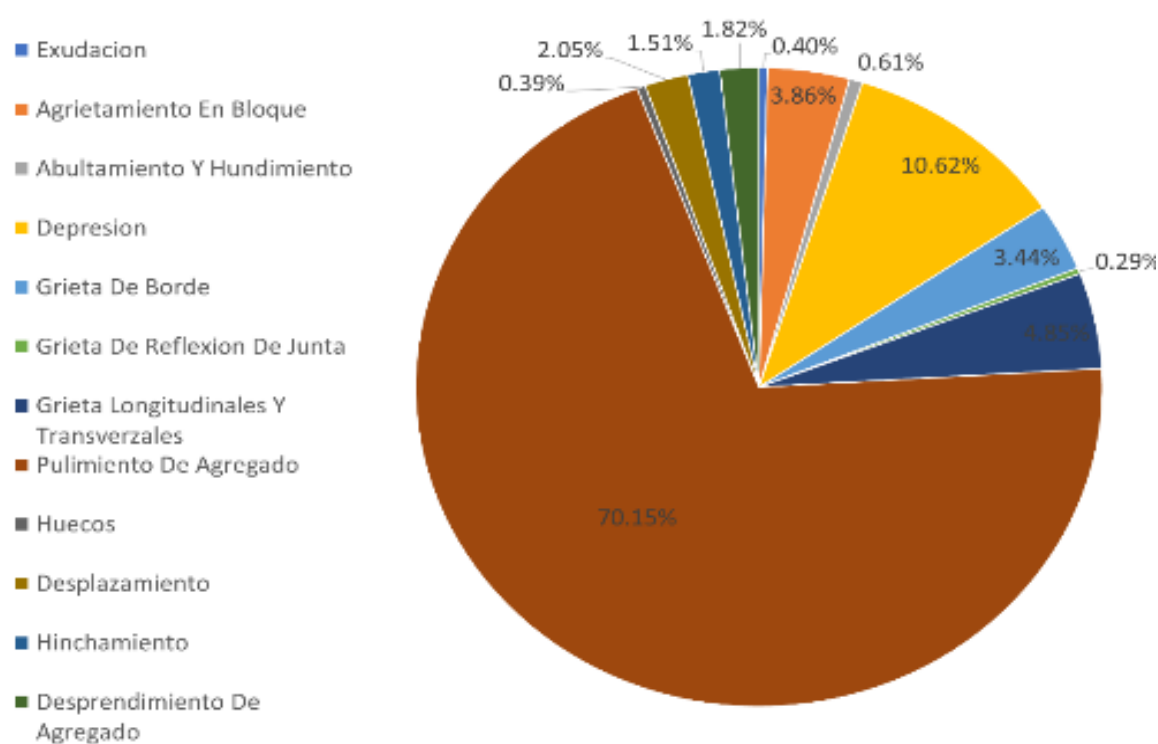
5.2.1. Estado actual del pavimento flexible

5.2.1.1. Severidad y tipo de fallas

Al analizar los resultados, se identificaron 12 tipos de falla de las 19 establecidas en la normativa ASTM D6433-03. Entre ellas destacan exudación, depresión, hundimiento, abultamiento, agrietamiento en bloque, grietas (borde, reflexión de junta, longitudinal y transversal), pulimiento de agregado, desplazamientos, hueco, hinchamiento y desprendimiento de agregado.

Figura 50:

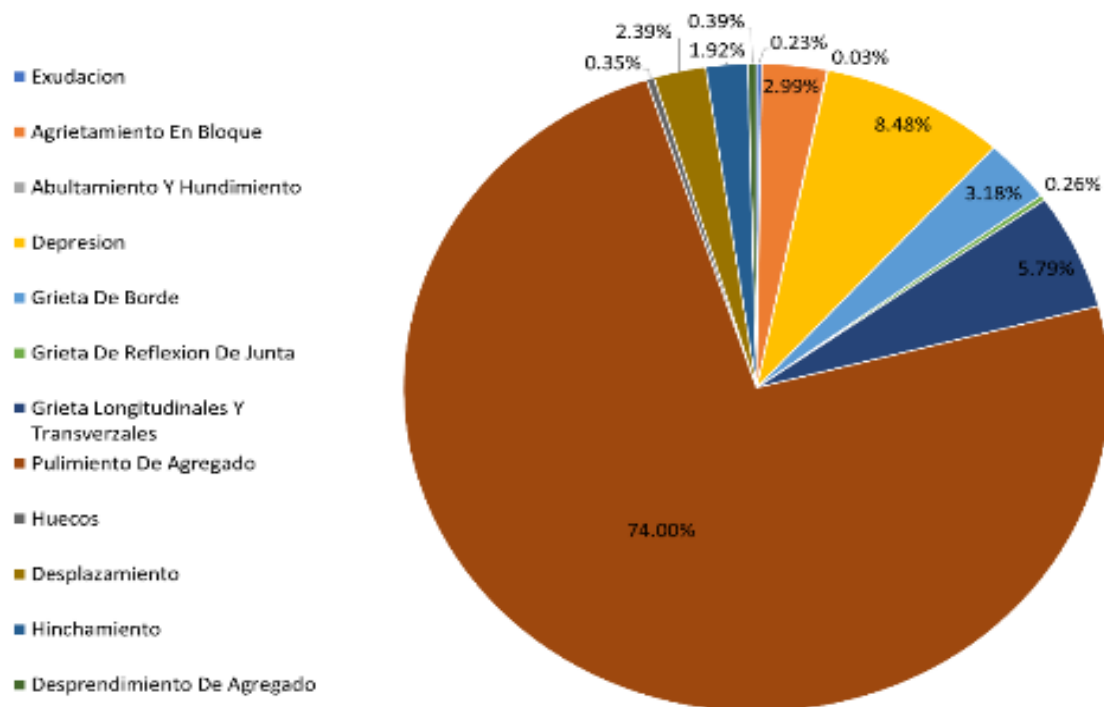
Porcentaje total de fallas identificadas - Método VANT



Nota: Propia del autor

Figura 51:

Porcentaje total de fallas identificadas - Método Tradicional PCI



Nota: Propia del autor

5.2.1.2. Índice de condición del pavimento

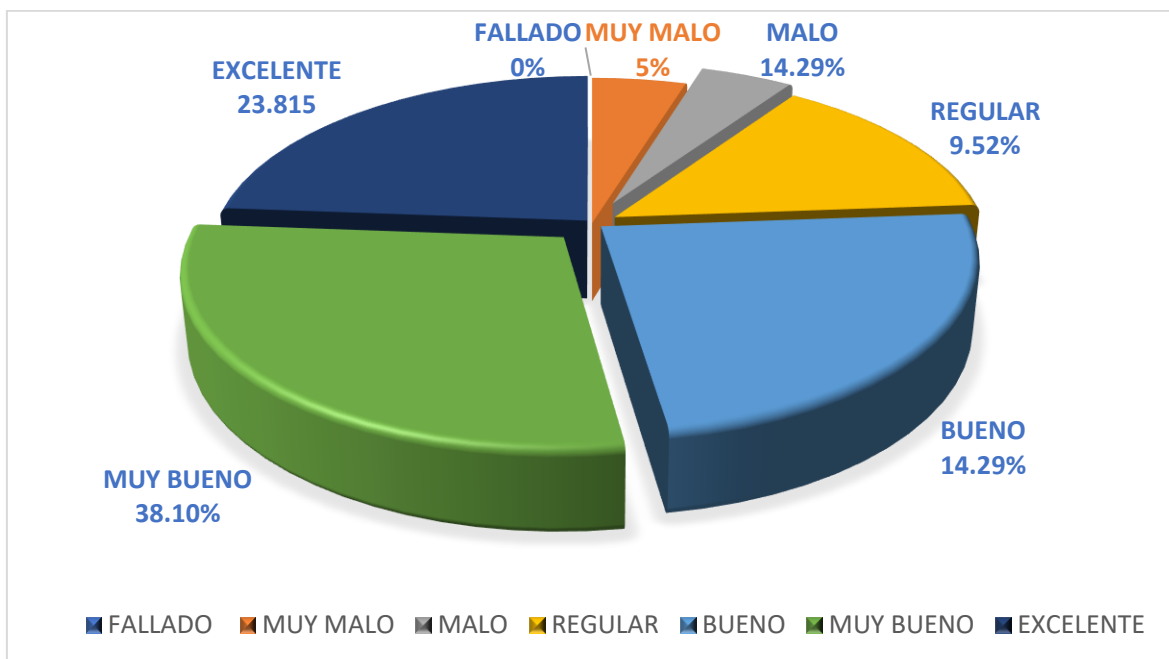
El uso del método tradicional PCI para examinar la carretera Cusco – Paucartambo arrojó un valor promedio de PCI de 52.05, clasificando su estado de conservación como "Regular". Por otro lado, el método basado en VANT obtuvo un PCI promedio de 50.003, manteniéndose también dentro de la categoría "Regular". La comparación entre ambos métodos revela que no existe una discrepancia significativa en la evaluación del estado del pavimento.

Por medio de la siguiente figura se evidencia que al ser evaluadas las 21 unidades de muestra que se analizaron para la carretera Cusco - Paucartambo, se reveló un 23.815%

“Excelente” con condición de “Fallado”, un 38.10% “Muy bueno”, un 14.29% “Bueno”, un 9.52% “Regular”, un 14.29% “Malo”, un 0.00% “Muy malo” y un 0.00%.

Figura 52:

Porcentaje total de condición de pavimento de la carretera Cusco - Paucartambo por medio del método VANT

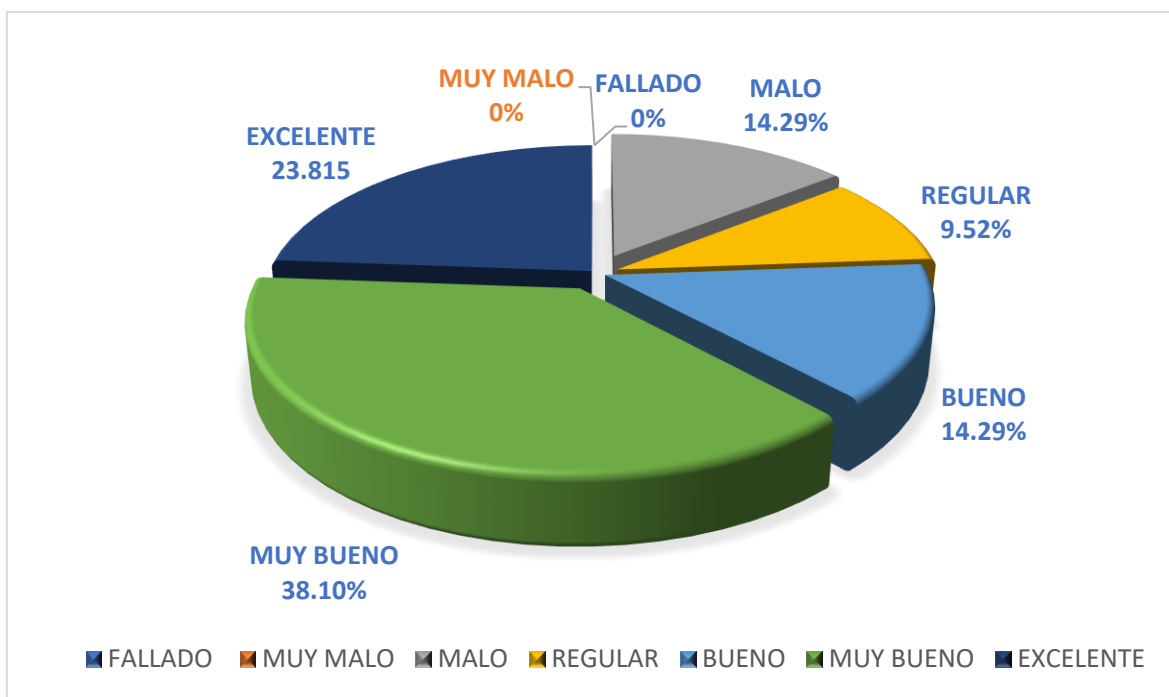


Nota: Propia del autor

Por medio de la siguiente figura se evidencia que al ser evaluadas las 21 unidades de muestra que se analizaron para la carretera Cusco - Paucartambo, se reveló un 23.81% “Excelente” con condición de “Fallado”, un 38.10% “Muy bueno”, un 14.29% “Bueno”, un 9.52% “Regular”, un 14.29% “Malo”, un 0.00% “Muy malo” y un 0.00%.

Figura 53:

Porcentaje total de condición de pavimento de la carretera Cusco - Paucartambo por medio del método tradicional PCI



Nota: Propia del autor

5.2.2. Tipos de mantenimiento vial a realizar en la carretera

Se analizaron las condiciones del pavimento en la carretera Cusco – Paucartambo, permitiendo determinar los requerimientos de mantenimiento específicos según la calificación obtenida en cada tramo:

- Tramos con calificación "Regular" (UM-01, UMA-02): Requieren sellados superficiales con lechadas asfálticas (slurry seal) para evitar deterioros progresivos.
- Tramos con condición "Malo" o "Muy malo" (UMA-03, UMA-04): Necesitan intervenciones más intensivas, como bacheos profundos con reposición de la base granular y sellados de fisuras.

- Tramos en condiciones "Bueno" y "Muy bueno" (UM-04, UM-07, UM-09, UM-10, UMA-01): Se recomienda la aplicación de sellados de fisura con emulsiones bituminosas o morteros asfálticos para preservar su estado.
- Tramos calificados como "Excelente" (UM-02, UM-11, UM-13, UM-14): No requieren mantenimiento inmediato, ya que presentan un estado óptimo de conservación.

5.2.3. Análisis de la eficiencia empleando el Método VANT y PCI

5.2.3.1. Eficiencia en tiempo y costo

En relación a la evaluación por medio del método tradicional PCI se llevó a cabo en 21 unidades de muestra, requiriendo aproximadamente 15 días y generando un costo total de S/. 5472.40. Por su parte, la aplicación del método basado en VANT para las mismas 21 unidades de muestra redujo el tiempo a 12 días, con un costo total de S/. 5133.60.

5.2.3.2. Método más eficiente

Estos resultados evidencian que el método basado en VANT es más eficiente en términos de tiempo, permitiendo una reducción de dos días en el proceso de evaluación. Sin embargo, el costo total de este método es ligeramente superior al tradicional. A pesar de ello, la rapidez en ser obtenidos los resultados, además de la capacidad de evaluar grandes áreas en menor tiempo justifican la viabilidad de su aplicación en proyectos de evaluación de pavimentos.

5.2.3.3. Análisis estadístico inferencial

Con la finalidad de determinar cuál de los métodos, ya sea el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) o el Índice de Condición del Pavimento (PCI), ofrece una mayor confiabilidad en sus resultados, se efectuó un análisis estadístico inferencial. Este análisis

incluyó la aplicación de pruebas de normalidad para evaluar si los datos obtenidos a través de ambos métodos siguieron una distribución normal, lo cual es un requisito fundamental para la validez de diversas pruebas estadísticas. La comparación de los resultados permitió identificar posibles diferencias significativas en la precisión y consistencia de cada método, proporcionando así una base sólida para establecer cuál de las dos técnicas resulta de mayor confiabilidad al ser evaluada la condición superficial del pavimento.

Tabla 21:

Prueba de normalidad del VANT y del PCI

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VANT	0.115	21	0.200	0.954	21	0.406
PCI	0.188	21	0.050	0.904	21	0.041

Nota: IBM SPSS 27

Mediante los resultados mostrados en la tabla anterior, al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk, se reveló por significancia mayor 0.05 en el VANT, esto evidencia que sigue distribución normal; caso contrario ocurre con el PCI, puesto que se obtuvo una significancia inferior de 0.05, dado ello, no logra seguir una distribución normal; por ello se usa la prueba de Wilcoxon.

Tabla 22:

Prueba de Wilconxon para el VANT y el PCI

PCI - VANT	
Z	-1.349

Sig. asin. (bilateral) 0.177

Nota: IBM SPSS 27

Como se muestra en la tabla 22, al ser aplicado el test estadístico no paramétrico de Wilcoxon, se reveló por valor de significancia (p-valor) superior a 0.05. Esto indica que no es rechazada la hipótesis nula, dado ello evidencia que no existe una diferencia estadísticamente significativa sobre los resultados alcanzados mediante el método VANT y el PCI. En otras palabras, ambos métodos proporcionan resultados comparables en cuanto a la evaluación de la condición superficial del pavimento, lo que sugiere que cualquiera de los dos puede ser utilizado con niveles similares de confiabilidad y precisión en el contexto del presente estudio.

5.3. Discusión

a) Discusión de la formulación interrogativa de los problemas: Respecto a los resultados de la evaluación de la condición del pavimento flexible mediante el Método VANT y PCI, los datos obtenidos en la evaluación de la carretera Cusco-Paucartambo utilizando VANT y PCI son congruentes, permitiendo una caracterización precisa del estado del pavimento. El Método VANT facilita la recolección de imágenes aéreas para la identificación de fallas superficiales, mientras que el PCI permite una clasificación objetiva de la condición del pavimento a partir de índices normalizados.

b) Análisis de la eficacia en la obtención de la condición del pavimento: Si bien es cierto, el empleo del Método VANT demuestra ser eficiente en la identificación de fallas, ya que reduce el tiempo y los recursos necesarios en comparación con métodos tradicionales de inspección visual en campo. Sin embargo, la interpretación de imágenes requiere procesamiento digital y validación en sitio. Por otro lado, el PCI, al ser un método

estandarizado, proporciona resultados cuantificables y comparables, aunque su aplicación manual demanda mayor tiempo en la recopilación de datos en tramos extensos.

c) Comparación de los resultados del Método VANT y PCI: La comparación de los resultados obtenidos con el Método VANT y el PCI permitió establecer una relación cuantitativa entre las imágenes capturadas por el dron y el índice de condición del pavimento. Se identificó una tendencia constante en la clasificación de deterioros, lo que valida la aplicabilidad del Método VANT como herramienta complementaria en la evaluación del pavimento.

d) Corrección de los resultados generados por la comparación del Método VANT y PCI: A partir del análisis comparativo, se evidenció la necesidad de un proceso de ajuste en los valores obtenidos por el Método VANT para alinearlos con los criterios del PCI. Se implementó un procedimiento de validación cruzada con inspección visual en campo, lo que permitió minimizar discrepancias y garantizar la precisión de los resultados.

e) Viabilidad económica del uso del Método VANT y PCI en la evaluación del pavimento: El análisis de costos demostró que la implementación del Método VANT reduce significativamente los tiempos de inspección y la necesidad de personal especializado en comparación con métodos tradicionales. Aunque la adquisición inicial del equipo representa una inversión, su uso recurrente en evaluaciones viales justifica su costo. En contraste, el método convencional basado en inspecciones visuales directas requiere mayor tiempo y recursos humanos, lo que lo hace menos eficiente económicamente a largo plazo.

g) Discusión de la formulación de los objetivos. Establecer el índice de condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI: El análisis de la condición del pavimento mediante el PCI permitió obtener un índice que clasifica el nivel de deterioro en función de la presencia y severidad de fallas identificadas. El Método VANT

facilitó la recolección masiva de datos visuales en un menor tiempo, permitiendo una evaluación más eficiente del índice de condición. La combinación de ambos métodos resultó efectiva para cuantificar el estado del pavimento en diferentes secciones de la carretera.

h) Determinar el estado actual del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI: El estado actual del pavimento se estableció mediante la inspección visual con el VANT y el cálculo del PCI. Se identificaron secciones con deterioro significativo, clasificadas según los valores del PCI, lo que permitió un diagnóstico detallado de la infraestructura vial. El uso del VANT permitió la identificación de fisuras, baches y desprendimientos de material con alta precisión, mientras que el PCI aseguró una categorización cuantitativa del daño, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

i) Determinar el tipo de actividad de mantenimiento vial a realizar: Con base en el índice PCI obtenido y la observación de fallas con el VANT, se estableció el tipo de intervención requerida para cada tramo de la carretera. Se determinaron tres categorías de mantenimiento vial: mantenimiento rutinario para tramos con PCI superior a 70, mantenimiento periódico para PCI entre 50 y 70, y rehabilitación estructural para PCI menor a 50. Esta clasificación permite optimizar recursos y priorizar intervenciones según la condición del pavimento.

j) Determinar el método más eficiente empleando el Método VANT y PCI: El análisis comparativo entre el Método VANT y el PCI permitió concluir que su combinación representa la opción más eficiente para la evaluación del pavimento. El VANT redujo significativamente el tiempo de inspección y permitió el análisis de grandes extensiones en menor tiempo, mientras que el PCI brindó una metodología estructurada para la

clasificación del deterioro. La integración de ambos métodos optimiza la planificación del mantenimiento y mejora la precisión en la toma de decisiones viales.

k) De los antecedentes: En investigaciones previas sobre la evaluación del pavimento, el PCI ha sido ampliamente utilizado como una herramienta confiable para clasificar el estado del pavimento. Sin embargo, el uso del Método VANT representa una innovación en la recopilación de datos, permitiendo una inspección más rápida y detallada. La combinación de ambos métodos responde a la necesidad de mejorar la precisión y eficiencia en la evaluación de carreteras

VI. Conclusiones

Conclusión 1:

Hipótesis General:

Se pudo comprobar que efectivamente existe resultados en la evaluación del índice de condición del pavimento flexible empleando el Método VANT y PCI, donde el uso del Método VANT es una alternativa más eficiente en la mejora de la carretera Cusco – Paucartambo, Cusco – 2024, debido a los siguientes factores:

- El Método VANT permitió una recolección de datos más rápida y detallada, reduciendo el tiempo de inspección en comparación con los métodos tradicionales.
- La combinación del Método VANT con el PCI proporcionó un diagnóstico más preciso del estado del pavimento, permitiendo priorizar las intervenciones de mantenimiento vial.
- La aplicación del Método VANT representó una optimización de costos operativos, al reducir la necesidad de equipos especializados y personal en campo.

- El análisis comparativo confirmó que el Método VANT es una herramienta eficiente para la evaluación de pavimentos flexibles, complementando el PCI en la toma de decisiones viales.

Así mismo, por medio del análisis de la carretera Cusco – Paucartambo empleando el método tradicional PCI, se obtuvo un valor promedio de 52.05, en cambio, al emplear el método basado en VANT, el valor promedio obtenido fue de 50.003, donde esto representó una diferencia de 2.047 unidades entre ambos resultados, equivalente a una variación porcentual del 3.93%. Esta discrepancia se debe a que algunas fallas menores no fueron identificadas de manera precisa durante la fase de recopilación de datos con el método VANT, donde ello influyó en la variación observada en los valores.

Conclusión 2:

H.E.1. Se pudo comprobar que la aplicación del Método VANT y PCI permite determinar el estado actual del pavimento flexible de la carretera Cusco – Paucartambo con una precisión aceptable. La combinación de estos métodos permitió identificar los defectos superficiales del pavimento, clasificar el nivel de deterioro y generar un diagnóstico estructurado. Considerando la Tabla 11 y 13, entre los datos capturados por el VANT y el índice PCI validó la fiabilidad de la metodología implementada.

Conclusión 3:

H.E.2. Se pudo comprobar que la evaluación del pavimento mediante VANT y PCI permite identificar el tipo de actividad de mantenimiento vial más adecuado para la carretera Cusco – Paucartambo. La clasificación del pavimento según el índice PCI facilitó la determinación de estrategias de mantenimiento vial, segmentando la vía en tres categorías: mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y rehabilitación estructural.

Considerando la Tabla 18, este enfoque optimizó la planificación de intervenciones y la asignación de recursos.

Conclusión 4:

H.E.3. Se pudo comprobar que existe una diferencia en la eficiencia de los métodos VANT y PCI, donde el Método VANT permite optimizar tiempo y costos en la evaluación de la carretera Cusco – Paucartambo. El uso de VANT redujo significativamente los tiempos de inspección en campo, minimizando la interferencia con el tráfico y mejorando la seguridad de los evaluadores. Además, el análisis de costos evidenció que la implementación del VANT resulta más rentable a largo plazo en comparación con los métodos tradicionales, permitiendo evaluaciones periódicas con menor inversión en recursos humanos y equipos.

VII. Recomendaciones

Se recomienda realizar vuelos con drones a una altitud de aproximadamente 30 metros para garantizar imágenes de alta resolución que permitan identificar fallas en el pavimento con mayor detalle. A alturas mayores, la calidad de las imágenes se reduce, afectando la precisión en la detección de daños. Además, se sugiere realizar pruebas a diferentes altitudes para determinar el límite óptimo que garantice un balance entre cobertura y resolución.

Se recomienda que PROVIAS Nacional establezca un plan de mantenimiento periódico para la carretera Cusco – Paucartambo, basado en los resultados obtenidos con el Método VANT y el PCI. Esto permite intervenir de manera oportuna, reduciendo el deterioro progresivo del pavimento, mejorando la seguridad vial y minimizando el riesgo de accidentes.

Se recomienda emplear drones con sensores de alta precisión y capacidad de georreferenciación integrada, lo que optimiza la captura de datos y reduce la dependencia de múltiples puntos de control terrestre. Esto no solo mejorará la exactitud de los levantamientos, sino que también reducirá el tiempo y los costos operativos del monitoreo del pavimento.

Se recomienda una correcta georreferenciación de los puntos de control para mejorar la precisión en el procesamiento de imágenes y la generación de ortofotos. Esto

permitirá minimizar inconsistencias en el traslape fotográfico y garantizar evaluaciones confiables del estado del pavimento. Además, se sugiere utilizar software de procesamiento avanzado para mejorar la interpretación de datos y la clasificación del pavimento según su condición.

Se recomienda ampliar la investigación con estudios comparativos entre el Método VANT y otros métodos tradicionales de evaluación de pavimentos, como el levantamiento manual y el uso de escáneres terrestres. Esto permitirá validar aún más la eficiencia del VANT y evaluar su aplicabilidad en diferentes tipos de carreteras y condiciones climáticas.

VIII. Referencias

- Arias, & corvinos. (2021). *poblacion. colombia: dradi*.
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Astor, Y., Nabesima, Y., Utami, R., Sihombing, A., Adli, M., & Firdaus, M. (2023). Unmanned aerial vehicle implementation for pavement condition survey. *Transportation Engineering*, 12, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100168>
- Bacilio, J., & Chavez, K. (2022). *Análisis del estado de conservación del pavimento flexible mediante la norma del índice de condición de pavimento (PCI) y propuesta de un nuevo diseño del pavimento flexible AASTHO 93, en la calle Puerto Argentino y la calle Los Aguanos de la urbanización*. Repositorio Institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/30454>
- Barreto, J. (2012). *Analisis estadístico*. bogota: cucas.
- Bhandari, S., Luo, X., & Wang, F. (2023). Understanding the effects of structural factors and traffic loading on flexible pavement performance. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(1), 258-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.02.004>
- Butilă, E., & Boboc, R. (2022). Urban Traffic Monitoring and Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Systematic Literature Review. *Remote Sensing*, 14(3), 620. <https://doi.org/10.3390/rs14030620>
- Cajas, D. (2021). *Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Ambato – Tisaleo sector Santa Rosa – Juan Benigno Vela en el tramo de la abscisa 6+400 hasta 9+600 de la provincia de Tungurahua*. Ecuador: Repositorio Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32160>

- Carrasco, J. (2017). *análisis descriptivo*. peru: Humbreras.
- Cervantes, R. (2021). *Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Ambato – Quisapincha en el tramo de la abscisa 0+000 hasta la abscisa 3+200 de la provincia de Tungurahua*. Ecuador: Repositorio Universidad Técnica de Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32500>
- Elkhrachy, I. (2021). Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5579-5590.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.011>
- Garces. (2017). Evaluation of rigid pavement using the Pavement Condition Index: A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 12128.
10.1088/1757-899X/737/1/012128
- Ghadi, M., Ahmad, H., & Ahmad, H. (2023). Influence of Traffic Characteristics on Pavement Performance of Parking Lots. *Infrastructures*, 8(4), 65.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures8040065>
- Gkyrtis, K., Plati, C., & Loizos, A. (2022). Mechanistic Analysis of Asphalt Pavements in Support of Pavement Preservation Decision-Making. *Infrastructures*, 7(5), 61.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures7050061>
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., & Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. Puno: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
<https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Hermawati, P., & Putri, N. (2024). Assessment of road pavement conditions using Surface Distress Index (SDI) and Pavement Condition Index (PCI) methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1294, 012030.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1294/1/012030>
- Hernandez, & Mendoza. (2018). *muestra*. Ecuador: vargas.

- Holgado, M. (2022). *Influencia de las fallas superficiales del pavimento flexible en la transitabilidad del tramo vía nacional San Salvador - Pisac, provincia de Calca, departamento del Cusco - 2021*. Repositorio Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/12397>
- Huancollucho, C., & Moya, E. (2021). *Análisis de la identificación de fallas superficiales por el método del PCI en el Vía Izcuchaca – Huarcocondo – Anta, Cusco - 2020*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/61973>
- Islam, R., & Tarefder, R. (2021). *Pavement Design: Materials, Analysis, and Highways*. Nueva York: McGraw Hill LLC.
https://www.google.com.pe/books/edition/Pavement_Design_Materials_Analysis_and_H/yArtDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&bsq=Pavement+Design:+Materials,+Analysis,+and+Highways+aashto&dq=Pavement+Design:+Materials,+Analysis,+and+Highways+aashto&printsec=frontcover
- Issa, A., Samaneh, H., & Ghanim, M. (2022). Predicting pavement condition index using artificial neural networks approach. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(1), 101490.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.033>
- Jimenez, E., & Vivanco, M. (2022). *Planteamiento de mejora por los métodos PCI y VIZIR en las avenidas Manco Capac, Huayruropata y Diagonal Angamos, Cusco 2022*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/98077>
- Kumar, R., Suman, S., & Prakash, G. (2021). Evaluation of Pavement Condition Index Using Artificial Neural Network Approach. *Transportation in Developing Economies*, 7(20).
<https://doi.org/10.1007/s40890-021-00130-7>

- León, A. (2021). Relación de severidad de los deterioros de los pavimentos flexibles con la transitabilidad. *Big Bang Faustiniiano*, 10(2), 33-39. <https://doi.org/10.51431/bbf.v10i2.683>
- Li, M., Shamshiri, R., Schirrmann, M., Weltzien, C., Shafian, S., & Laursen, M. (2022). UAV Oblique Imagery with an Adaptive Micro-Terrain Model for Estimation of Leaf Area Index and Height of Maize Canopy from 3D Point Clouds. *Remote Sensing*, 14(3), 585. <https://doi.org/10.3390/rs14030585>
- Maquera, C., & Talavera, G. (2022). *Evaluación funcional y estructural del pavimento asfáltico y propuesta de rehabilitación en la av. Collpa y av. Tarapacá, con la av. Gregorio Albarracín, Tacna, 2021*. Universidad Privada de Tacna. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2761>
- Mendoza, J. (2021). *Análisis comparativo de cuatro metodologías de evaluación superficial de pavimentos flexibles en sectores típicos de las rutas a cargo de la Administración Vial del INVIAS Territorial Meta, módulo 1, grupo 3*. Colombia: Repositorio Universidad Nacional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81189>
- Miladiyah, S., & Mawardi, A. (2022). The Evaluation and Maintenance of the Flexible Pavement on the Sampan-Ketapang Highway Using the Pavement Condition Index (PCI) Method and the Bina Marga Method. *Jurnal Transportasi: Sistem, Material, Dan Infrastruktur*, 5(1), A219-A226. <https://journal.its.ac.id/index.php/transportasi/article/view/726>
- Mohamed, M., & Tran, D. (2021). Risk-based inspection for concrete pavement construction using fuzzy sets and bayesian networks. *Automation in Construction*, 128, 103761. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103761>
- Paliza, V., & Chuyacama, B. (2022). *Evaluación del estado actual del pavimento flexible mediante la metodología tradicional del PCI y la metodología VANT en la Carretera Transversal 28G (Cusco - Pisac)*. Cusco: Universidad Andina del Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5257>

- Paredes, C., & Torres, Y. (2022). *Evaluación del pavimento flexible mediante métodos del PCI y VIZIR con dron en un tramo de la carretera Reposo – Saramiriza, Bagua, Amazonas, para una propuesta de mejora - 2022*. Repositorio Institucional de la UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/7136>
- Pretel, J., & Rodriguez, C. (2022). *Determinación del estado del pavimento mediante los métodos PCI y VIZIR y propuesta de mejora en Wichanza – La Esperanza*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/98932>
- Quinde, A., & Yarleque, J. (2023). *Evaluación estructural y propuesta de rehabilitación en el tramo carretera de Salitral a San Juan de Bigote Provincia de Morropón-Piura 2022*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/131016>
- Quispe, X. (2021). *Metodología PCI empleando VANT, para determinar la condición superficial del pavimento flexible en la Avenida José María Arguedas San Jerónimo, 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65540>
- Richard, F., & Mpele, M. (2023). Generation of traffic input for flexible pavement design. *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19256>
- Rondón, H., & Reyes, F. (2023). *Pavimentos - 2da edición: Materiales, construcción y diseño*. ECOE Ediciones. https://www.google.com.pe/books/edition/Pavimentos_2da_edici%C3%B3n/UBt1EAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Piel+de+Cocodrilo+Grietas+Longitudinales+y+Transversales&pg=PA237&printsec=frontcover
- Ruiz, C., & Valenzuela, M. (2022). *Metodología de la investigación*. Lima: Fondo Editorial UNAT. <https://doi.org/10.56224/EdiUnat.4>
- Solis, B. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí. *Dominio*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>

Tan, Y., & Li, Y. (2019). UAV photogrammetry-based 3D road distress detection. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(9), 409.
<https://doi.org/10.3390/ijgi8090409>

Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

Yanchapaxi, J. (2020). *Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Ambato – Tisaleo en el sector Juan Benigno Vela en el tramo de la abscisa 9+600 hasta la abscisa 12+800 de la provincia de Tungurahua*. Ecuador: Repositorio Universidad Técnica de Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31493>