

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



TOMO I

**“COMPARACIÓN DEL PCI UTILIZANDO MEDICIONES
DIRECTAS Y ORTOFOTOS OBTENIDAS CON DRON EN
EL TRAMO CRUCE AL VALLE DE CONCEPCIÓN –
VALLE DE CONCEPCIÓN”**

Por:

**XAVIER ALEJANDRO GONZALES
ALTAMIRANO**

Proyecto de grado presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar el
grado académico de licenciatura de Ingeniería Civil

SEMESTRE II – 2023

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a quienes
confiaron en mí.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.2.1. Técnica.....	2
1.2.2. Socio económica.....	2
1.2.3. Social.....	2
1.3. Situación problemática.....	3
1.3.1. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Hipótesis.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. General.....	4
1.5.2. Específicos.....	4
1.6. Variables dependientes e independientes.....	4
1.6.1. Variables dependientes.....	4
1.6.2. Variables independientes.....	4
1.6.3. Operacionalización de variables.....	5
1.7. Diseño metodológico.....	5
1.7.1. Unidades de estudio y decisión de la muestra.....	6
1.7.2. Metodología y técnicas empleadas.....	6
1.7.3. Proceso de aplicación.....	10
1.7.4. Análisis estadístico.....	10
1.8. Alcance.....	11

CAPÍTULO 2
FUNDAMENTO TEÓRICO

	Página
2.1. Pavimento	13
2.1.1. Funciones de pavimentos.....	13
2.2. Clasificación de pavimentos	13
2.2.1. Pavimentos rígidos	13
2.2.2. Funciones de las capas de un pavimento rígido	14
2.2.3. Pavimentos flexibles.....	15
2.3. Fallas en pavimentos	17
2.3.1. Evaluación de fallas superficiales en pavimentos	17
2.3.2. Importancia de evaluación de pavimentos.....	17
2.3.3. Objetividad en la evaluación de pavimentos	17
2.3.4. Curva de comportamiento de los pavimentos.....	18
2.3.5. Índice de condición de Pavimentos	19
2.3.6. Fallas que considera el PCI en pavimentos	26
2.4. Drones.....	101
2.4.1. Tipos de drones.....	101
2.4.2. Funciones que puede cumplir un drone	101
2.4.3. Fotogrametría aérea con drones.....	103
2.4.4. Ortofoto	104

CAPÍTULO 3

APLICACIÓN

	Página
3.1. Ubicación del tramo de estudio	108
3.2. Georreferenciación de la información	109
3.3. Unidades de muestreo.....	111
3.3.1. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación	113
3.3.2. Cálculo de unidades a ser evaluadas.....	114
3.3.3. Selección de las unidades de muestreo para la inspección.....	114
3.3.4. Evaluación de la condición (medición de la magnitud de las fallas).....	116
3.3.5. Rendimiento de inspección y personal de campo.....	117
3.4. Obtención de información de manera indirecta por dron	117
3.4.1. Misión de vuelo	117
3.4.2. Determinación de la altura de vuelo por medio del análisis y precisión del instrumento comparando diferentes alturas de vuelo	120
3.4.3. Ejecución y operación de vuelo.....	129
3.4.4. Georreferenciación	130
3.4.5. Procesamiento de la información	134
3.4.6. Edición de la ortofoto	136
3.4.7. Cruce de información para la identificación y medición de fallas	137
3.5. Cálculo del PCI.....	148
3.5.1. Para mediciones obtenidas de ortofotos tomadas por dron carril derecho	148
3.5.2. Para mediciones obtenidas de ortofotos tomadas por dron carril izquierdo.....	149
3.5.3. Para mediciones realizadas por auscultaciones directas carril derecho.....	151
3.5.4. Para mediciones realizadas por auscultaciones directas carril izquierdo	152

3.6. Análisis de resultados obtenidos.....	153
3.6.1. Comparación del PCI obtenido por las diferentes metodologías de colección de información.....	158

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1. Conclusiones.....	163
4.2. Recomendaciones	164

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A. PLANILLAS DE MEDICIONES EN CAMPO
- ANEXO B. ÁBACOS PROPUESTOS POR LA NORMATIVA ASTM D 6433
- ANEXO C. PLANILLAS DE CÁLCULO
- ANEXO C.1. CÁLCULO DEL PCI CON MEDICIONES DIRECTAS
- ANEXO C.2. CÁLCULO DEL PCI CON MEDICIONES OBTENIDAS POR ORTOFOTOS DE MANERA INDIRECTA
- ANEXO D. MEMORIA FOTOGRÁFICA
- ANEXO D.1. TRABAJO REALIZADO EN CAMPO
- ANEXO D.2. FALLAS DETECTADAS
- ANEXO D.3. COMPARACIÓN FOTOGRÁFICA DE FALLAS
- ANEXO E. MAPAS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Variable independiente y dependiente.....	5
Tabla 2 Rangos de calificación de PCI.....	20
Tabla 3 Niveles de severidad para huecos.....	52
Tabla 4 Niveles de Severidad para Losa Dividida	70
Tabla 5 Niveles de Severidad para Escala.....	74
Tabla 6 Niveles de Severidad para Punzonamiento	90
Tabla 7 Niveles de Severidad para Descascaramiento de Esquina.	97
Tabla 8 Niveles de Severidad Descascaramiento de Junta.....	99
Tabla 9 Georreferenciación de información.....	109
Tabla 10 Unidades de muestreo.....	111
Tabla 11 Subdivisión de tramos de estudio.....	115
Tabla 12 Subdivisión de tramos de estudio añadidos (extra).....	116
Tabla 13 Cálculo del GSD para una altura de vuelo de 60 m	120
Tabla 14 Cálculo del GSD para una altura de vuelo de 20 m	122
Tabla 15 Comparación de la variación en mediciones con ortofotos tomadas a 20 y 60 m....	129
Tabla 16 Errores en la georreferenciación de las ortofotos.....	132
Tabla 17 Cálculo del GSD para una altura de vuelo de 31.3 m	147
Tabla 18 Resumen de clasificación de PCI obtenido por dron carril derecho	148
Tabla 19 Resumen de clasificación de PCI obtenido por dron carril izquierdo.....	149
Tabla 20 Resumen de clasificación de PCI obtenido con mediciones directas, carril derecho.....	151
Tabla 21 Resumen de clasificación de PCI obtenido con mediciones directas, carril izquierdo.....	152
Tabla 22 Comparación de métodos de medición.....	154
Tabla 23 Estimación del error absoluto y relativo comparando el PCI obtenido con el VANT con el PCI por auscultaciones directas carril Derecho	159
Tabla 24 Estimación del error absoluto y relativo comparando el PCI obtenido con el VANT con el PCI por auscultaciones directas carril izquierdo.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Equipo GNSS	7
Figura 2 Equipo GNSS	7
Figura 3 Características del GNSS	8
Figura 4 Características de la cámara	9
Figura 5 Características del ordenador	10
Figura 6 Estructura de pavimento rígido	14
Figura 7 Estructura de pavimento flexible	15
Figura 8 curva de comportamiento de pavimentos.....	19
Figura 9 Índice de condición del pavimento (PCI), escala de calificación	22
Figura 10 Panilla de campo utilizada	24
Figura 11 Piel de cocodrilo de baja severidad.....	29
Figura 12 Piel de cocodrilo de severidad media.....	30
Figura 13 Piel de cocodrilo de alta severidad.....	30
Figura 14 Exudación de baja severidad.....	31
Figura 15 Exudación de severidad media.....	32
Figura 16. Exudación de alta severidad.....	32
Figura 17 Grietas en bloque de baja severidad.....	34
Figura 18 Grietas en bloque de severidad media.....	34
Figura 19 Grietas en bloque de alta severidad.....	34
Figura 20. Abultamientos y hundimientos de baja severidad.....	36
Figura 21 Abultamientos y hundimientos de severidad medida.....	36
Figura 22 Abultamientos y hundimientos de alta severidad.....	36
Figura 23 Corrugación de baja severidad	37
Figura 24 Corrugación de severidad media.....	38
Figura 25 Corrugación de alta severidad.....	38
Figura 26 Depresión de baja severidad.....	39
Figura 27 Depresión de severidad media	40
Figura 28 Depresión de alta severidad	40

Figura 29 Grieta de borde de baja severidad	41
Figura 30 Grieta de borde de severidad media	41
Figura 31 Grieta de borde de alta severidad	42
Figura 32 Grieta de reflexión de junta de baja severidad	43
Figura 33 Grieta de reflexión de junta de severidad media	44
Figura 34 Grieta de reflexión de junta de alta severidad	44
Figura 35 Desnivel carril / berma de baja severidad	45
Figura 36 Desnivel carril / berma de severidad media	45
Figura 37 Desnivel carril / berma de alta severidad	46
Figura 38 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad	48
Figura 39 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de severidad media	48
Figura 40 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de alta severidad	48
Figura 41 Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.....	50
Figura 42 Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media	50
Figura 43 Parcheo y acometidas de servicios públicos de alta severidad	50
Figura 44 Pulimento de agregados	51
Figura 45 Hueco de baja severidad.....	53
Figura 46 Hueco de severidad media	53
Figura 47 Hueco de severidad alta	54
Figura 48 Cruce de vía férrea de baja severidad	55
Figura 49 Cruce de vía férrea de severidad media	55
Figura 50 Cruce de vía férrea de severidad alta	55
Figura 51 Ahuellamiento de baja severidad	57
Figura 52 Ahuellamiento de severidad media	57
Figura 53 Ahuellamiento de alta severidad	57
Figura 54 Desplazamiento de baja severidad	59
Figura 55 Desplazamiento de severidad media	59
Figura 56 Desplazamiento de severidad alta	59
Figura 57 Grieta parabólica (slippage) de baja severidad	61
Figura 58 Grieta parabólica (slippage) de severidad media	61
Figura 59 Grieta parabólica (slippage) de alta severidad	61

Figura 60 Ejemplo de hinchamiento. El nivel de severidad se basa en el criterio de la calidad de tránsito.....	63
Figura 61 Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad	64
Figura 62 Meteorización / desprendimiento de agregados de severidad media	65
Figura 63 Meteorización / desprendimiento de agregados de alta severidad	65
Figura 64 Blowup / Buckling de baja severidad.....	66
Figura 65 Blowup / Buckling de baja severidad.....	67
Figura 66 Blowup / Buckling de baja severidad.....	67
Figura 67 Grieta de esquina de baja severidad	69
Figura 68 Grieta de esquina de severidad media.....	69
Figura 69 Grieta de esquina de alta severidad	70
Figura 70 Losa dividida de baja severidad	71
Figura 71 Losa dividida de severidad media	71
Figura 72 Losa dividida de alta severidad	71
Figura 73 Grieta de durabilidad de baja severidad	73
Figura 74 Grieta de durabilidad de severidad media	73
Figura 75 Grieta de durabilidad de alta severidad	73
Figura 76 Escala de baja severidad.....	75
Figura 77 Escala de severidad media	75
Figura 78 Escala de alta severidad	75
Figura 79 Daño del sello de junta de baja severidad	77
Figura 80 Daño del sello de junta de severidad media	77
Figura 81 Daño del sello de junta de alta severidad	77
Figura 82 Desnivel carril / berma de baja severidad	78
Figura 83 Desnivel carril / berma de severidad media	79
Figura 84 Desnivel carril / berma de alta severidad	79
Figura 85 Grietas lineales de baja severidad en losa de concreto simple	81
Figura 86 Grietas lineales de severidad media en losa de concreto reforzado	82
Figura 87 Grietas lineales de alta severidad en losa de concreto simple.....	82
Figura 88 Parche grande y acometidas de servicios públicos de baja severidad.....	83
Figura 89 Parche y acometida de servicios públicos de severidad media	84

Figura 90 Parche grande y acometidas de servicios públicos de alta severidad.....	84
Figura 91 Parche pequeño de baja severidad.....	85
Figura 92 Parche pequeño de severidad media	85
Figura 93 Parche pequeño de alta severidad	86
Figura 94 Pulimento de agregados	87
Figura 95 Popout	88
Figura 96 Bombeo	89
Figura 97 Bombeo	89
Figura 98 Punzonamiento de baja severidad	91
Figura 99 Punzonamiento de severidad media	91
Figura 100 Punzonamiento de alta severidad	91
Figura 101 Cruce de vía férrea de baja severidad	92
Figura 102 Cruce de vía férrea de severidad media	93
Figura 103 Cruce de vía férrea de alta severidad	93
Figura 104 Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado de baja severidad.	94
Figura 105 Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado de severidad media.	95
Figura 106 Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado de alta severidad.	95
Figura 107 Grietas de contracción.....	96
Figura 108 Descascaramiento de esquina de baja severidad.	97
Figura 109 Descascaramiento de esquina de severidad media.....	98
Figura 110 Descascaramiento de esquina de alta severidad.....	98
Figura 111 Descascaramiento de junta de baja severidad.	100
Figura 112 Descascaramiento de junta de severidad media.	100
Figura 113 Descascaramiento de junta de alta severidad.	100
Figura 114 Aérea con drones.....	103
Figura 115 Ortofoto.....	105
Figura 116 Tramo de estudio.....	108
Figura 117 TRAMO 13. Punto de control terrestre.....	110
Figura 118 Datos de levantamiento. Tramo 16	110
Figura 119 Puntos de control terrestre. Tramo 16.....	111
Figura 120 Puntos de muestreo	112

Figura 121 Auscultación de manera directa	117
Figura 122 Trayectoria del sol.....	118
Figura 123 Grafico Polar	119
Figura 124 Gráfico Cartesiano	119
Figura 125 Tabla de trayectoria del sol	120
Figura 126 Dron sobre volando vegetación.....	121
Figura 127 Comparación de fallas detectadas	123
Figura 128 Comparación de fallas detectadas	123
Figura 129 Comparación de fallas detectadas	124
Figura 130 Comparación de fallas detectadas	124
Figura 131 Secciones transversales	125
Figura 132 Sección transversal 1	126
Figura 133 Sección transversal 2.....	126
Figura 134 Sección transversal 3.....	127
Figura 135 Sección transversal 4.....	127
Figura 136 Sección transversal 5.....	128
Figura 137 Restitución Fotogramétrica Agisoft Metashape.....	130
Figura 138 Tramo 5. Ubicación de puntos de foto control.....	131
Figura 139 Fotografía de punto de foto control en campo	132
Figura 140 Tramo 8 Sección transversal obtenida con resolución sub centimétrica.....	135
Figura 141 Tramo 13. Sección transversal obtenida con resolución sub centimétrica.....	135
Figura 142 Uso de herramientas de limpieza para elementos móviles.....	136
Figura 143 Ortofoto. Tramo 3	137
Figura 144 Identificación de fallas. Tramo 1 (prog. 0+188 – prog. 0+220).....	138
Figura 145 Identificación de fallas. Tramo 12 (prog. 6+074 - prog. 6+105)	139
Figura 146 Identificación de fallas. Tramo 12 (prog. 6+074 - prog. 6+105)	139
Figura 147 Comparación visual de fallas	140
Figura 148 Comparación visual de fallas	140
Figura 149 Comparación visual de fallas	141
Figura 150 Sección transversal sobre ahuellamiento	141
Figura 151 Sección transversal sobre ahuellamiento	142

Figura 152 Sección transversal sobre ahuellamiento	142
Figura 153 Fotografía de campo correspondiente al ahuellamiento.....	143
Figura 154 Modelo digital del terreno correspondiente al ahuellamiento.....	143
Figura 155 Sección transversal sobre ahuellamiento	144
Figura 156 Sección transversal sobre ahuellamiento	144
Figura 157 Sección transversal sobre ahuellamiento	145
Figura 158 Fotografía de campo correspondiente al ahuellamiento.....	145
Figura 159 Modelo digital del terreno correspondiente al ahuellamiento.....	146
Figura 160 Modelo digital de elevación de U.M 11 y 11A	146
Figura 161 Modelo digital de elevación de U.M 11 y 11A.....	147
Figura 162 Grieta de severidad baja, ubicada en el tramo inclinado.....	148