

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT) Y LA FORMA
TRADICIONAL DE EVALUACIÓN VISUAL DEL MÉTODO PCI.

PRESENTADO POR:

BR. BERRÍOS ORTÍZ, ADAN EZEQUIEL
BR. FLORES BLANCO, JOSE EDENILSON
BR. RAMOS FRANCO, CRISTIAN BALMORE
BR. REYES NIETO, MANUEL DE JESÚS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ RIVERA

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, 27 DE NOVIEMBRE DE 2020

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

RECTOR

PHD. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICE-RECTOR ACADÉMICO

MSC. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO GENERAL

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

FISCAL GENERAL

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

AUTORIDADES

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

DECANO

LIC. ÓSCAR VILLALOBOS

VICE-DECANO

LIC. ISRAEL LÓPEZ MIRANDA

SECRETARIO INTERINO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

AUTORIDADES

ING. RIGOBERTO LÓPEZ

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

COORDINADOR DE CARRERA INGENIERÍA CIVIL

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ RIVERA

DOCENTE DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
EMPLEANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT) Y LA FORMA
TRADICIONAL DE EVALUACIÓN VISUAL DEL MÉTODO PCI.

PRESENTADO POR:

BR. BERRÍOS ORTÍZ, ADAN EZEQUIEL

BR. FLORES BLANCO, JOSE EDENILSON

BR. RAMOS FRANCO, CRISTIAN BALMORE

BR. REYES NIETO, MANUEL DE JESÚS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

DOCENTE DIRECTOR:

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ RIVERA

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, 27 DE NOVIEMBRE DE 2020

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR:

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ RIVERA

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

TRIBUNAL CALIFICADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ RIVERA

DOCENTE ASESOR

ING. RIGOBERTO LÓPEZ

TRIBUNAL CALIFICADOR

ING. MAURICIO PERLA

TRIBUNAL CALIFICADOR

AGRADECIMIENTO

A **DIOS**, por ser mi fortaleza, mi guía y mi apoyo en cada momento, por demostrarme la gracia de su amor en cada etapa de mi vida. Gracias por estar conmigo todo este tiempo, por cuidar a mi familia y haberme protegido de los peligros de la vida, por ponerme en el lugar adecuado con las personas correctas, por darme las fuerzas para seguir adelante a pesar de las circunstancias y los sacrificios, para poder así, culminar mi carrera universitaria.

A **mis padres ROSA EMILIA ORTIZ (Q.E.P.D) y JOSÉ EZEQUIEL BERRIOS**, por su apoyo incondicional a lo largo de los años, por su amor y sus oraciones, por ser mis pilares y ejemplos a seguir en esta vida, por los valores y consejos que inculcaron en mi vida para de alguna manera forjar mi carácter, gracias por haber dedicado y dedicar sus vidas a mi formación profesional y espiritual, por dar siempre todo lo que han tenido y mucho más solo por mi bienestar, el fruto de todos sus sacrificios y esfuerzos es culminar mi carrera universitaria; estoy muy orgulloso de ustedes, esto es por ustedes, para ustedes, este logro también es suyo, siempre están y estarán en mi mente y corazón, los amo hoy y siempre. “Hoy necesito agradecerte por la forma que me criaste, por los valores, que como flores en mi pecho sembraste, con la rectitud con que formaste a aquel chiquito, que hacía las tareas pa’ poder ver los muñequitos...”

A **mis hermanos AMY, PATY e ISAAC**, por estar siempre ahí para mí, por ser mi alegría y orgullo para salir adelante en la vida; por darme unos sobrinos que alegraron mis días de estrés en esta carrera; por sus sonrisas, sus bromas, su amor y apoyo en cada etapa de mi vida, desde la mayor hasta el más chiquito, gracias infinitamente, los amo.

A **mi tía MARÍA ARMINDA ORTIZ**, por ser mi segunda madre, por su amor y sus oraciones, por su apoyo incondicional en toda mi vida y a lo largo de esta carrera, porque sin ella esto no hubiera sido posible, por sus palabras de ánimo en los momentos más estresantes de esta carrera, gracias por transmitirme esa fuerza y alegría para salir adelante y cumplir este sueño, este logro también es tuyo. Gracias por todo y por tanto en la vida, te amo hoy y siempre.

A **toda MI FAMILIA**, por darme su apoyo, sus consejos, ayuda, motivación y palabras de ánimo, por estar pendientes en todo lo que necesitaba y nunca dejarme solo en esta etapa de mi vida, cada granito de ayuda aportó para culminar este logro, va por ustedes también.

A **mis compañeros de tesis CRISTIAN, MANUEL Y EDENILSON**, por su amistad, diversión, enojos, alegrías, sacrificios y demás que tuvimos que pasar para completar esta aventura.

A **mis AMIGOS**, y demás personas por ser fuente de motivación y alegría, por su apoyo, por sus oraciones y por sus buenos deseos, que de una u otra manera contribuyeron a culminar esta etapa de mi vida, gracias totales.

Al **ING. CLAYTON MARTÍNEZ** e **ING. RIGOBERTO LÓPEZ**, por su ayuda en todo el proceso de tesis, dándonos sus observaciones y aportando sus conocimientos para el desarrollo del presente estudio, gracias totales.

ADAN EZEQUIEL BERRÍOS ORTÍZ

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le agradezco a **DIOS** por darme la salud, sabiduría, fortaleza y la perseverancia para poder culminar mi carrera universitaria, superando todos los obstáculos que en el transcurso de mi carrera de estudio se presentaron.

Dedico este logro a **mi familia** por todo lo expresado hacia mí, quienes han sido el motivo de mi inspiración, especialmente a **mis padres JOSÉ SALOMÓN FLORES Y MARÍA GLORIA BLANCO**, por enseñarme el buen camino, por toda la paciencia que me tuvieron y por todo el gran apoyo incondicional que me brindaron para yo poder alcanzar mi meta. A **mi abuela SOFÍA SALMERÓN**, por todo su aporte, cariño y por estar siempre en los momentos de desaliento, lo cual fue de gran ayuda para continuar con mis estudios. A todos **mis hermanos** que también me apoyaron en lo económico, material y en lo emocional. A **mis tíos, primos y sobrinos**, que de alguna u otra manera fueron parte de este gran triunfo. Por otra parte, le agradezco de gran manera a la **LIC. MARTHA ALICIA HERRERA**, por su gran gesto de solidaridad en los momentos donde más lo necesite, siendo clave para la culminación de mis estudios superiores.

Un agradecimiento especial a nuestro **asesor de tesis ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ**, por su aporte en cada etapa de nuestro trabajo de graduación, y darnos así las orientaciones necesarias para finalizar este trabajo de mejor manera posible.

También le doy las gracias a **mis compañeros de tesis**, por su gran desempeño, perseverancia para superar las adversidades que se nos presentaron en el desarrollo de esta etapa y dedicación para finalizar con éxito nuestro trabajo final.

Por último, gracias a todas las personas que de manera directa o indirecta me brindaron apoyo en mi formación académica y profesional.

JOSE EDENILSON FLORES BLANCO

AGRADECIMIENTO

A **DIOS** y a la **VIRGEN MARÍA** al interceder por mí y concederme la sabiduría, fuerza e inteligencia por haberme ayudado y permitir culminar esta carrera.

Dedico este sueño hecho realidad a **mi padre JOSÉ VALENTÍN RAMOS** y **mi madre MERCEDES LETICIA FRANCO** por su apoyo incondicional durante toda mi formación, por su confianza, educación, sacrificio, por sus consejos y sobre todo por su motivación y fe en mí, que ayudaron de gran manera a nunca darme por vencido frente a las adversidades encontradas.

A **mis abuelos** que están ya en el reino de los cielos **abuela TERESA CAMPOS** y **ANTONIO FRANCO** por su fe, motivación y esperanza en mí.

Dedico este triunfo también a **mis hermanas** y en especial a **mi hermana CLAUDIA ORQUÍDEA RAMOS, RAQUEL ESMERALDA RAMOS, YANCI LOURDES RAMOS** y **FLOR DE MARÍA RAMOS** por su valiosa ayuda y apoyo incondicional ya que sin su ayuda hubiera sido difícil y quizás imposible terminar mis estudios.

A **mis hermanos** compañeros de equipo y trabajo **CARLOS OMAR RAMOS, RAMÓN ANDRÉS RAMOS** y **mi cuñado JESÚS ALBERTO ORTEGA** por su hospedaje y recibimiento en su casa los primeros años de estudio.

A **mi esposa JESSICA ESMERALDA GALEAS** por su gran amor, cariño, motivación, amistad y apoyo incondicional en las adversidades y momentos felices, también dedico este triunfo a **mi hijo CHRISTOPHER STERLING RAMOS GALEAS**.

A **mi amigo** colega de estudios y trabajo **Marlon Josué Veliz Vásquez** por su ayuda, a **mis amigos** colegas **Remberto Enmanuel Cruz, Adan Ezequiel Berríos, Edenilson Flores** y **Manuel Reyes** por formar un gran equipo de trabajo.

Al **Ing. Rigoberto López** e **Ing. Clayton** por su ayuda durante todo el proceso de tesis.

CRISTIAN BALMORE RAMOS FRANCO

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

Esta mención en especial para **DIOS** y **mis padres INES DOLORES REYES SORTO y YENI LISETH NIETO DE REYES**. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que “El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar a otro para que este se supere”

Mi gratitud, también a la **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**, mi agradecimiento sincero al **asesor de tesis ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ**, a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de vida profesional.

Infinitas gracias a todos.

MANUEL DE JESÚS REYES NIETO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	xxvi
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4 ALCANCES	6
1.5 LIMITACIONES.....	7
1.6 METODOLOGÍA.....	8
1.6.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.6.2 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	8
1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	9
1.6.4 RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS	10
1.6.4.1 INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
1.6.4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO.....	10
1.6.4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	14
1.6.4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	17
2.1.1 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO..	17
2.1.2 PAVIMENTO FLEXIBLE	21

2.1.3 PAVIMENTO RÍGIDO	21
2.1.3.1 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	21
2.1.4 COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS	22
2.2 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	24
2.2.1 EVALUACIÓN SUPERFICIAL	25
2.3 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	25
2.3.1 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	26
2.3.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	26
2.3.3 UNIDADES DE MUESTREO	29
2.3.4 DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA EVALUACIÓN	30
2.3.5 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN	31
2.3.6 SELECCIÓN DE UNIDADES DE MUESTREO ADICIONALES	31
2.3.7 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN	32
2.3.8 CÁLCULO DEL PCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO.....	33
2.3.9 CÁLCULO DEL PCI DE UNA SECCIÓN DE PAVIMENTO.....	34
2.3.10 INTERPRETACIÓN DEL PCI	35
2.3.11 FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS	36
2.4 FOTOGRAMETRÍA DIGITAL	38
2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA.	39
2.4.2 APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA EN INGENIERÍA CIVIL.....	40
2.4.3 IMAGEN DIGITAL.	40
2.4.4 PÍXEL.	41
2.4.5 TAMAÑO EN PÍXELES DE UNA IMAGEN DIGITAL.	41

2.4.6 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN DIGITAL.	42
2.5 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT)	42
2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VANT.	43
2.5.2 APLICACIONES CIVILES.	45
CAPÍTULO III. CÁLCULO DEL PCI PAVIMENTO FLEXIBLE	46
3.1 CÁLCULO DEL PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT	47
3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE VUELO	47
3.1.1.1 UBICACIÓN.....	47
3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL APOYO TOPOGRÁFICO DEL VUELO	50
3.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL VUELO.....	53
3.1.4 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES	54
3.1.4.1 PIX4D MAPPER.....	54
3.1.4.2 CREACIÓN DEL PROYECTO EN PIX4D MAPPER	55
3.1.4.3 SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESO.....	59
3.1.4.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS DE SALIDA / GCP.....	70
3.1.4.5 PUNTOS DE CONTROL DE TIERRA (GCPS).....	72
3.1.4.6 PROCESAMIENTO INICIAL.....	76
3.1.4.7 NUBE DE PUNTOS DENSA.....	80
3.1.4.8 ORTOFOTO Y MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE.....	83
3.1.4.9 LIMPIEZA DE OBSTÁCULOS.....	84
3.1.5 APLICACIÓN DEL MÉTODO PCI	87
3.1.5.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO	87
3.1.5.2 IDENTIFICACIÓN Y METRADO DE FALLAS.....	88
3.1.5.3 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA	102

3.1.5.4 RESULTADOS PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT	108
3.2 CÁLCULO DEL PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL	109
3.2.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO	109
3.2.2 LEVANTAMIENTO DE FALLAS EN CAMPO	109
3.2.3 RENDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y PERSONAL DE CAMPO	115
3.2.4 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA	115
3.2.5 RESULTADOS PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL	115
CAPÍTULO IV. CÁLCULO DEL PCI PAVIMENTO RÍGIDO.....	115
4.1 CÁLCULO DEL PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT	116
4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE VUELO	116
4.1.1.1 UBICACIÓN.....	116
4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL VUELO.....	118
4.1.3 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES	118
4.1.3.1 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO EN PIX4D MAPPER.....	118
4.1.3.2 SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESO	119
4.1.3.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS DE SALIDA.....	119
4.1.3.4 PROCESAMIENTO INICIAL.....	120
4.1.3.5 NUBE DE PUNTOS DENSA.....	122
4.1.3.6 ORTOFOTO Y MODELO DIGITAL DE LA SUPERFICIE	124
4.1.3.7 LIMPIEZA DE OBSTÁCULOS.....	125
4.1.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO PCI	127
4.1.4.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO	127
4.1.4.2 IDENTIFICACIÓN Y METRADO DE FALLAS.....	128
4.1.4.3 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA	136

4.1.4.4 RESULTADOS PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT	145
4.2 CÁLCULO DEL PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL	146
4.2.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO	146
4.2.2 LEVANTAMIENTO DE FALLAS EN CAMPO	148
4.2.3 RENDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y PERSONAL DE CAMPO	152
4.2.4 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA	152
4.2.5 RESULTADOS PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL	152
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	158
5.1 ANÁLISIS DE COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MÉTODO PCI EMPLEANDO VANT Y FORMA TRADICIONAL	159
5.1.1 ANÁLISIS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	159
5.1.2 ANÁLISIS DE PAVIMENTO RÍGIDO	166
5.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR LA INSPECCIÓN EMPLEANDO UN VANT Y EL MÉTODO TRADICIONAL DEL PCI	173
5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO	176
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	179
6.1 CONCLUSIONES	180
6.2 RECOMENDACIONES	181
BIBLIOGRAFÍA	183
ANEXOS.....	184
ANEXO 1. REPORTE DE CALIDAD PAVIMENTO FLEXIBLE	185
ANEXO 2. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT PAVIMENTO FLEXIBLE	195
ANEXO 3. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL PAVIMENTO FLEXIBLE	216

ANEXO 4. REPORTE DE CALIDAD PAVIMENTO RÍGIDO	237
ANEXO 5. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT PAVIMENTO RÍGIDO	221
ANEXO 6. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL PAVIMENTO RÍGIDO.	235
ANEXO 7. LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	249
ANEXO 8. CATÁLOGO DE FALLAS	251
ANEXO 9. CUADROS DE TIEMPOS Y COSTOS	287
ANEXO 10. PRODUCTOS FOTOGRAMÉTRICOS.....	291

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: 2.1 Estructura de un pavimento dentro de la sección transversal de una vía	17
Figura 2: 2.2 Estructura típica de un pavimento.....	20
Figura 3: 2.3 Deterioro de los pavimentos a través del tiempo	24
Figura 4: 2.4 Rangos de Calificación del PCI	26
Figura 5: 2.5 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica..	27
Figura 6: 2.6 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie de concreto hidráulico	28
Figura 7: 2.7 Fallas en pavimentos flexibles	37
Figura 8: 2.8 Fotogrametría aérea.....	38
Figura 9: 2.9 Visión estereoscópica artificial.	39
Figura 10: 2.10 Imagen digital.	41
Figura 11: 2.11 Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT).....	43
Figura 12: 2.12 VANT alas rotatorias.	44
Figura 13: 2.13 VANT alas fijas.....	44
Figura 14: 3.1 Ubicación de la carretera con superficie de asfalto.....	47
Figura 15: 3.2 DJI Mavic 2 Pro	48
Figura 16: 3.3 Características internas de la cámara del DJI Mavic 2 Pro.....	49
Figura 17: 3.4 Arrastre de coordenadas geodésicas al tramo de carretera en estudio.	51
Figura 18: 3.5 Ubicación y señalización de los puntos de apoyo.....	51
Figura 19: 3.6 Puntos de apoyo topográfico.....	52
Figura 20: 3.7 Despegue del VANT desde el hombro de la calzada.....	53
Figura 21: 3.8 Pantalla de bienvenida de Pix4D Mapper Pro.....	55
Figura 22: 3.9 Creación de nuevo proyecto.....	56
Figura 23: 3.10 Asignar nombre y ruta de almacenamiento al nuevo proyecto	56
Figura 24: 3.11 Selección de las imágenes agregadas al proyecto	57
Figura 25: 3.12 Propiedades de imágenes del nuevo proyecto.....	58
Figura 26: 3.13 Plantilla de opciones de procesamiento de Pix4D Mapper Pro	59
Figura 27: 3.14 Configuración general de las opciones de procesamiento inicial	60
Figura 28: 3.15 Configuración general de las opciones de emparejamiento	61

Figura 29: 3.16 Configuración general de las opciones de calibración	62
Figura 30: 3.17 Configuración general del procesamiento de la nube de puntos y malla	64
Figura 31: 3.18 Configuración avanzada del procesamiento de la nube de puntos y malla....	65
Figura 32: 3.19 Complementarios de la nube de puntos y malla	66
Figura 33: 3.20 Configuración del MDS y ortomosaico	68
Figura 34: 3.21 Configuración de los resultados adicionales	69
Figura 35: 3.22 Configuración de la calculadora de índices	69
Figura 36: 3.23 Recursos máximos disponibles para el proceso	70
Figura 37: 3.24 Selección del sistema de coordenadas de salida	71
Figura 38: 3.25 Conversión de los puntos de apoyo en Lambert 3 parámetros El Salvador a WGS-84/UTM ZONA 16N.	72
Figura 39: 3.26 Opciones del menú proyecto	73
Figura 40: 3.27 Gestor de puntos de apoyo / puntos de paso	74
Figura 41: 3.28 Marca del GCP (PBI3) en las imágenes con el Editor GCP / MTP Básico ...	74
Figura 42: 3.29 Marca del GCP (PAD4) en las imágenes con el Editor GCP / MTP Básico .	75
Figura 43: 3.30 Marca del GCP (PAD6) en las imágenes con el Editor GCP / MTP Básico .	75
Figura 44: 3.31 Procesamiento inicial	76
Figura 45: 3.32 Vista parcial del reporte de calidad	78
Figura 46: 3.33 Creación de nube de puntos densificada	81
Figura 47: 3.34 Modelo digital 3D	82
Figura 48: 3.35 Ortofoto de la zona de estudio	83
Figura 49: 3.36 Modelo digital de la superficie MDS	84
Figura 50: 3.37 Ortofoto con tránsito	85
Figura 51: 3.38 Ortofoto editada	85
Figura 52: 3.39 a) Edición de ortofoto, b) Vía despejada, c) Modelo digital de la superficie	86
Figura 53: 3.40 Medición de área de falla tipo parche en Pix4D Mapper en el modelo digital 3D	88
Figura 54: 3.41 Medición de longitud de falla transversal en programa Pix4d Mapper en su modelo 3D	89
Figura 55: 3.42 Medición de volumen de falla tipo hueco en programa Pix4d Mapper	89

Figura 56: 3.43 Inspección de la vía de pavimento flexible en el modelo 3D	90
Figura 57: 3.44 Grieta piel de cocodrilo	92
Figura 58: 3.45 Agrietamiento en bloque	93
Figura 59: 3.46 Depresión	94
Figura 60: 3.47 Grieta de borde	95
Figura 61: 3.48 Desnivel carril/berma	96
Figura 62: 3.49 Grietas longitudinales y transversales	97
Figura 63: 3.50 Parcheo	98
Figura 64: 3.51 Pulimento de agregados	99
Figura 65: 3.52 Huecos	100
Figura 66: 3.53 Desprendimiento de agregados	101
Figura 67: 3.54 Hoja de Inspección Pavimento Flexible UM2 A	102
Figura 68: 3.55 Hoja de Inspección Pavimento Flexible UM2 B	103
Figura 69: 3.56 Cálculo de Condición de unidad de muestra UM2	104
Figura 70: 3.57 Curva de valor deducido para Piel de cocodrilo	105
Figura 71: 3.58 Curva de valor deducido para Agrietamiento en bloque	105
Figura 72: 3.59 Curva de valor deducido para Parcheo	106
Figura 73: 3.60 Curva de valor deducido corregido	107
Figura 74: 3.61 Delimitación de unidades de muestreo	109
Figura 75: 3.62 Piel de cocodrilo	110
Figura 76: 3.63 Agrietamiento en bloque	111
Figura 77: 3.64 Depresión	111
Figura 78: 3.65 Grieta de borde	112
Figura 79: 3.66 Grieta parabólica	112
Figura 80: 3.67 Desnivel carril/berma	113
Figura 81: 3.68 Grietas longitudinales y transversales	113
Figura 82: 3.69 Parcheo	114
Figura 83: 3.71 Desprendimiento de agregados	114
Figura 84: 3.70 Pulimento de agregados	114
Figura 85: 4.1 Ubicación carretera con superficie de concreto hidráulico	116

Figura 86: 4.2 Despegue del VANT desde el hombro de la calzada.....	118
Figura 87: 4.3 Procesamiento inicial	120
Figura 88: 4.4 Vista parcial del reporte de calidad.....	121
Figura 89: 4.5 Creación de nube de puntos densificada	122
Figura 90: 4.6 Modelo digital 3D	123
Figura 91: 4.7 Ortofoto de la zona de estudio	124
Figura 92: 4.8 Modelo digital de la superficie MDS	124
Figura 93: 4.9 Ortofoto con tránsito y rama de árbol	125
Figura 94: 4.10 Ortofoto editada	125
Figura 95: 4.11 a) Edición de ortofoto, b) Vía despejada, c) Modelo digital de la superficie	126
Figura 96: 4.12 Tramo de vía de pavimento rígido en estudio.....	127
Figura 97: 4.13 Inspección de la vía de pavimento rígido en el modelo 3D	129
Figura 98: 4.14 Grieta lineal.....	131
Figura 99: 4.15 Losa dividida.....	132
Figura 100: 4.16 Parcheo grande	133
Figura 101: 4.17 Sello de junta.....	134
Figura 102: 4.18 Parcheo pequeño	134
Figura 103: 4.19 Pulimento de agregados	135
Figura 104: 4.20 Desprendimiento de junta	135
Figura 105: 4.21 Hoja de Inspección Pavimento Rígido UM2	137
Figura 106: 4.22 Hoja de Inspección Pavimento Rígido UM2	138
Figura 107: 4.23 Cálculo de Condición de unidad de muestra UM2	138
Figura 108: 4.24 Curva de valor deducido para Losa dividida.....	140
Figura 109: 4.25 Curva de valor deducido para Losa dividida.....	140
Figura 110: 4.26 Valor deducido para daño sello de junta	141
Figura 111: 4.27 Curva de valor deducido para grieta lineal	141
Figura 112: 4.28 Curva de valor deducido para grieta lineal	142
Figura 113: 4.29 Curva de valor deducido para para parcheo grande	142
Figura 114: 4.30 Curva de valor deducido para parcheo grande	143

Figura 115: 4.31 Medición de longitud de losa	146
Figura 116: 4.32 Medición de ancho de losa	147
Figura 117: 4.33 Delimitación de unidades de muestreo	147
Figura 118: 4.34 Hojas de registro y equipo de seguridad	148
Figura 119: 4.35 Losa dividida, parcheo	149
Figura 120: 4.36 Grieta lineal	149
Figura 121: 4.37 Desprendimiento de junta, parcheo, losa dividida	150
Figura 122: 4.38 Daño de sello de junta, grieta lineal y pulimento	150
Figura 123: 4.39 Parcheo grande, grietas lineales	151
Figura 124: 4.40 Grietas lineales, parcheo, pulimento	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: 1.1 Operacionalización de variables.....	9
Tabla 2: 2.1 Unidades de muestreo según el tipo de pavimento	29
Tabla 3: 2.2 Rango del PCI y tipo de mantenimiento.....	36
Tabla 4: 3.1 Coordenadas de los puntos de apoyo	52
Tabla 5: 3.2 Unidades de muestreo pavimento flexible	87
Tabla 6: 3.3 Valores deducidos corregidos.....	107
Tabla 7: 3.4 Resultados de PCI.....	108
Tabla 8: 3.5 Resultados de PCI.....	116
Tabla 9: 4.1 Unidades de muestreo pavimento rígido	128
Tabla 10: 4.2 Valores deducidos corregidos.....	144
Tabla 11: 4.3 Resultados de PCI.....	145
Tabla 12: 4.4 Resultados de PCI.....	153
Tabla 13: 5.1 Comparación de fallas empleando VANT y forma tradicional.....	159
Tabla 14: 5.2 Resultados método PCI empleando VANT y forma tradicional	163
Tabla 15: 5.3 Comparación de fallas empleando VANT y forma tradicional.....	166
Tabla 16: 5.4 Resultados método PCI empleando VANT y forma tradicional	171
Tabla 17: 5.5 Evaluación superficial de patologías de pavimento empleando un VANT.....	173
Tabla 18: 5.6 Evaluación superficial de patologías de pavimento mediante inspección visual	174
Tabla 19: 5.7 Comparación método PCI forma tradicional vs VANT, pavimento flexible..	176
Tabla 20: 5.8 Comparación método PCI forma tradicional vs VANT, pavimento rígido.....	176

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar	30
Ecuación 2: Intervalo de muestreo	31
Ecuación 3: Número máximo admisible de valores deducidos	33
Ecuación 4: Cálculo del índice de condición del pavimento	34
Ecuación 5: PCI calculados en las unidades según su área	34
Ecuación 6: PCI de la sección del pavimento calculado de unidades de muestra adicionales	35

INTRODUCCIÓN

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.¹

El procedimiento para determinar el PCI en la forma tradicional de evaluación visual su primera etapa corresponde al trabajo de campo, en el cual se identifican los diferentes tipos de daños dependiendo del tipo de capa de rodadura teniendo en cuenta; la clase, severidad y área afectada ofreciendo una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. Esta información se registra en hojas de inspección y luego se hacen los cálculos respectivos para determinar el índice de condición del pavimento en cada unidad de muestra.

En la actualidad las vías urbanas de las grandes ciudades de los países se encuentran saturadas con una gran cantidad de vehículos como lo es el caso de la carretera San Miguel - El Delirio y carretera panamericana CA-1, para lo cual es necesario cerrar total o parcialmente la vía para proceder al relevamiento de las patologías del pavimento para posteriormente poder determinar su índice de condición y con esta información poder planificar los trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación necesarios para mejorar su serviciabilidad, pero esta forma de evaluación pone en riesgo la vida de los evaluadores y disminuye el confort causando congestionamiento, aumento de gastos de operación y descontento de los usuarios.

Debido a estas problemáticas se hace necesario el uso de técnicas modernas de relevamiento de patologías de los pavimentos para posteriormente aplicar la metodología del PCI.

¹ (VARELA, 2002, pág. 2)

En el presente trabajo de investigación se calculó el PCI ² en un tramo de prueba de carretera con superficie asfáltica y un tramo de carretera con superficie de concreto hidráulico aplicando la manera tradicional de inspección visual para el relevamiento de las diferentes fallas y su metodología PCI y el uso de un VANT ³ para toma de fotografías aéreas georreferenciadas que posteriormente fueron procesadas en un programa especializado de fotogrametría generando una ortofoto y un modelo digital que permitió una inspección total de la vía de manera segura y registrar los diferentes tipos de fallas, nivel de severidad y medición del área afectada para posteriormente aplicar la metodología PCI.

Con los resultados obtenidos con ambas formas de relevamiento de fallas y aplicación del método PCI se hizo una comparación para visualizar si hay variación en los resultados, así también se determinó las ventajas y desventajas de ambos métodos.

² PCI: Índice de Condición del Pavimento

³ VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mantener en buen estado la infraestructura vial es importante para evitar sobrecostos de operación en el transporte de personas y bienes. Un país que permita el deterioro de su infraestructura vial tendrá sobrecostos de operación vehicular.

Además, la funcionalidad que debe ofrecer la red de carreteras de un país es crucial para la seguridad y comodidad de los usuarios.

Según el plan de desarrollo territorial de la subregión de San Miguel en el apartado de sistemas infraestructurales, vial y transporte dice que el efecto negativo en el transporte se hace notorio ya que los costos de mantenimiento de los vehículos se ven seriamente aumentados debido a la necesidad de constantes reparaciones por los daños que se ocasionan a los mismos, los tiempos de recorrido son mayores, se corren mayores riesgos de accidentes y de exacciones de mercancías en carretera.

La falta de una evaluación superficial o relevamiento de las fallas en los pavimentos, impide realizar una racional planificación de trabajos correctivos, improvisando medidas correctivas que son inadecuadas. Además, la falta de políticas de inversión y de estrategias de mantenimiento de las vías, permiten el deterioro acelerado de la superficie de rodadura y la protesta de los usuarios.

El tiempo invertido en los trabajos de evaluación de las vías, en las zonas urbanas, se incrementa y dificulta por el intenso y desordenado tráfico de la ciudad, poniendo en riesgo la vida de los evaluadores o controladores.⁴

Además, para realizar un estudio óptimo se deben de cerrar parcial o totalmente las carreteras lo que genera un mayor tráfico en éstas, todo esto requiere de mucho tiempo para recopilar la información de los diferentes deterioros presentes en las carreteras ya sean de pavimento flexible o rígido.

⁴ (Cruz Toribio, 2018, pág. 14)

Según el plan de desarrollo territorial de la subregión de San Miguel en el apartado de sistemas infraestructurales, vial y transporte dice que en la carretera CA-01, ésta vía y en el tramo entre la ciudad de San Miguel y la cabecera municipal de El Carmen, circulan aproximadamente 3,659 vehículos de los cuales 616 corresponden a vehículos pesados de carga (buses y camiones) tránsito promedio diario.

Las condiciones corresponden en este caso a un tránsito semi pesado y en el punto donde la vía coincide con el casco urbano de la cabecera municipal del municipio de El Carmen, se identifican condiciones leves de congestionamiento.

Para el tramo identificado como RN-17 (calle que comunica la ciudad de San Miguel con el sitio conocido como El Delirio) se estima el paso de 5,726 vehículos de los cuales más de 970 corresponden a vehículos pesados de carga (buses y camiones) tránsito promedio diario. Las condiciones corresponden en este caso a un tránsito semi pesado.

1.1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿Se puede utilizar un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) para la evaluación superficial de pavimentos aplicando el método PCI?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las carreteras se diseñan con una vida útil determinada para que en óptimas condiciones los usuarios tengan una buena serviciabilidad y confort a la hora de utilizarlas, sin embargo, para cumplir estos años de vida útil deben de cumplir con un mantenimiento según la capacidad de dicha arteria.

Cuando a las carreteras no se les da el mantenimiento adecuado comienzan a presentar diversos deterioros los que requieren de un estudio para determinar con objetividad la condición del pavimento, es decir, el tipo de falla, su nivel de severidad, cantidades existentes del mismo deterioro, entre otros, y así darle una solución óptima.

Para ello es necesario emplear un grupo de personas para hacer el trabajo de campo, el cual requiere de cerrar total o parcialmente la carretera mientras se miden los diferentes deterioros, también se requiere de un tiempo prolongado para reconocer y medir con exactitud las áreas de cada falla o las losas afectadas según sea la capa de rodadura para realizar estas mediciones con la mejor exactitud posible.

La aplicación de un VANT en la ejecución de vuelos fotogramétricos es una técnica novedosa, así en El Salvador es una nueva tecnología que favorece a los profesionales de la ingeniería civil, con este equipo se obtiene de una manera más fácil y segura el relevamiento de las fallas que permitan analizar la superficie del pavimento por medio de fotografías aéreas que luego son procesadas en programas de fotogrametría.

De ésta manera se reduce el peligro de los trabajadores encargados de medir los deterioros de las carreteras, los cuales pueden ser lesionados por automovilistas impacientes ante el cierre parcial de las arterias o cualquier otro tipo de incidente relacionado, también al emplear un VANT no es necesario el cierre total o parcial de la carretera, también se optimiza el tiempo empleado para la recolección de los datos de campo, haciendo más segura y más rápida la obtención de datos para el mantenimiento de la carretera afectada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Comparar el deterioro superficial del pavimento empleando un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y la forma tradicional de evaluación visual del método PCI.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular el PCI con imágenes obtenidas del VANT en un tramo de prueba de carretera con superficie asfáltica y concreto hidráulico.
- Calcular el PCI mediante la evaluación visual en un tramo de prueba de carretera con superficie asfáltica y concreto hidráulico.
- Determinar las ventajas y desventajas de aplicar la inspección empleando un VANT y el método tradicional del PCI.

1.4 ALCANCES

- Se describió el plan y ejecución del proyecto de vuelo utilizando un VANT, para la obtención de fotografías aéreas.
- Las fotografías tomadas sirven como una base de datos o punto de partida para futuras investigaciones en cuanto a la evolución de los deterioros del pavimento con el paso del tiempo.
- Se establecieron puntos de apoyo terrestres para georreferenciar las fotografías aéreas y su utilización en la etapa de procesamiento de imágenes en el tramo de pavimento flexible.
- El procesamiento de imágenes obtenidas en el vuelo se realizó en gabinete mediante el uso del software especializado en fotogrametría Pix4D Mapper Pro.
- Con los productos generados, se procedió a la inspección de la vía en cada unidad de muestra, identificando el tipo y grado de severidad de los deterioros establecido mediante inspección visual de la ortofoto como del modelo digital 3D, para posteriormente aplicar el método PCI.
- Se realizó el levantamiento de fallas en campo mediante inspección visual de las unidades de muestreo y luego se aplicó el método PCI y se compararon los resultados obtenidos con la evaluación superficial del pavimento empleando imágenes obtenidas del VANT.

1.5 LIMITACIONES

- En nuestro país no se cuenta con información acerca del empleo de VANT en la evaluación superficial de pavimentos en vías urbanas.
- Debido a la emergencia nacional decretada por el Gobierno de El Salvador por el virus COVID-19, se dificultó la movilización del equipo de investigación hacia los lugares de estudio para la etapa de recolección de datos de campo.
- La presente investigación se desarrolló en un tramo de prueba con 300 m de carretera con superficie asfáltica en carretera San Miguel - El Delirio Km 144, así como también un tramo de prueba con 300 m de carretera con superficie de concreto hidráulico en carretera panamericana (CA-1) Km 152.
- La toma de fotografías aéreas se realizó con un VANT modelo DJI Mavic 2 Pro con resolución de 20 Mega Píxeles.

1.6 METODOLOGÍA

1.6.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es de enfoque mixto ya que cubre los tipos: cuantitativo y cualitativo.

Es cuantitativo, porque el PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado; dividido en 7 escalas numéricas.

Es cualitativo, porque a través de la observación se puede describir y clasificar el tipo de falla presente en el pavimento y según los rangos de clasificación del PCI obtendremos resultados de excelente, muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo y fallado.

1.6.2 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

Este documento es una guía de consulta de información en la implementación de una manera más actualizada de relevamiento de fallas y procesamiento de datos para el cálculo del PCI utilizando imágenes obtenidas de un VANT y su procesamiento en un software especializado en fotogrametría.

1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1: 1.1 Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO
Independiente: Índice de condición del Pavimento	El PCI es un índice numérico que califica la condición superficial de un pavimento.	Parámetros de evaluación	-Tipo de falla. -Clase -Severidad -Extensión	Catálogo de fallas Hojas de inspección Cinta métrica Regla Equipo de seguridad
		Índice de condición	-Cálculo del valor deducido -Determinar el número máximo admisible de valor deducido -Cálculo del máximo valor deducido corregido -Determinar el PCI	Calculadora Laptop
		Condición de pavimento	-Identificar la escala de clasificación PCI -Determinar la condición según la escala.	Manual PCI
Dependiente: Evaluación superficial de los deterioros del pavimento con imágenes	Actividad que permite conocer la condición del pavimento empleando imágenes	Plan de vuelo Apoyo topográfico Ejecución del vuelo	Parámetros de evaluación Índice de condición Condición del pavimento	GPS Estación total VANT Computadora Manual PCI

obtenidas del VANT	obtenidas del VANT	Procesamiento de imágenes		
Dependiente: Evaluación superficial de los deterioros del pavimento mediante inspección visual	Actividad que permite conocer la condición del pavimento utilizando información obtenida de manera visual	Evaluación Preliminar	Parámetros de evaluación	Formatos de registro y evaluación
		Evaluación detallada	Índice de Condición	
			Condición del pavimento	

Fuente: Grupo de tesis.

1.6.4 RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

1.6.4.1 INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se buscó información en revistas, tesis, libros, videos entre otros, referente al método del índice de condición del pavimento (PCI) aplicado a pavimentos flexibles y rígidos, fotogrametría aplicada a la topografía y el uso de programas para procesar la información de imágenes obtenidas con vehículos aéreos no tripulados.

1.6.4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

Para el cálculo del PCI con imágenes obtenidas del VANT la etapa de campo consistió en tres etapas:

Planificación del vuelo: El plan de vuelo se realizó previamente en gabinete para la adquisición de fotografías que se usaron en la identificación y metrado de fallas.

Se utilizó la aplicación DroneDeploy diseñada para planificar y ejecutar vuelos automáticos para VANT. Donde se deben establecer ciertos factores como:

- El área que se quiere sobrevolar

- El tipo de VANT a utilizar
- Altura de vuelo
- Porcentaje de traslape longitudinal y transversal entre fotografías
- Velocidad de vuelo
- Escala final de la fotografía aérea
- Líneas de vuelo y longitud de líneas de vuelo.

Apoyo topográfico del vuelo: que incluye la planificación del control terrestre y la ejecución de todos los trabajos topográficos que aseguren la precisión requerida por el proyecto.

Para que el vuelo sea directamente relacionable con el terreno (es decir pueda ser georreferenciado) se precisa la adquisición de puntos de apoyo, cuya posición deberá ser descrita completamente (x,y,z).

Al usarse GCPs se debe considerar lo siguiente:

1. Número y distribución de los GCPs: ubicación, señalización y colocación
2. La técnica de adquisición de los GCPs

La obtención de puntos topográficos fue mediante el uso de:

Instrumentos topográficos. Adquiriendo la información directamente del terreno (Utilizando procedimientos clásicos de la topografía mediante estación total o GPS).

Ejecución del vuelo: Para la realización del vuelo se estableció una zona de despegue fuera de la zona de estudio donde no existan obstáculos para que el VANT puede elevarse y aterrizar sin ningún problema.

Previamente a la ejecución del vuelo se deben verificar los siguientes aspectos:

- Correcta colocación de hélices
- Optimo porcentaje de batería tanto en el VANT como en el control

- Señal de GPS del VANT con buena recepción (al menos 10 satélites)
- Correcta conexión entre el VANT y el control
- En caso de pérdida de señal establecer punto de despegue y retorno
- Correcta colocación de la tarjeta de memoria
- Plan de vuelo cargado correctamente

Para el cálculo del PCI mediante evaluación visual la etapa de campo consistió en 2 etapas:

Muestreo y unidades de muestreo: Se dividió la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y capa de rodadura.

Levantamiento de fallas de campo: Se inspeccionó la vía a través de sus unidades de muestreo para la identificación del tipo de falla, su nivel de severidad y metrado, empleando hojas de inspección y catálogo de fallas de referencia.

1.6.4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Procesamiento de imágenes obtenidas del vuelo

El procesamiento de imágenes obtenidas del vuelo se realizó utilizando el software de fotogrametría profesional para drones Pix4D Mapper Pro, con salida en modelo digital de superficie en 3D y el ortomosaico para proceder a la inspección de la vía.

Identificación y metrado de fallas en la ortofoto y modelo 3D digital

Con los productos generados, se procedió a la inspección de la vía en cada unidad de muestra, identificando el tipo y grado de severidad de los deterioros establecido mediante inspección visual de la ortofoto como del modelo digital 3D en Pix4dMapper o en CAD se determinaron los valores de ancho, longitud o área de cada falla para poder determinar su cantidad.

Calcular el índice de condición del pavimento (PCI)

Posteriormente a las visitas y recolección de datos de campo mencionados anteriormente se procedió a aplicar la metodología del PCI tanto para pavimentos flexibles como rígido, donde

se procedió al cálculo de la severidad, valor deducido, el número máximo admisible de valores deducidos, el máximo valor deducido corregido para luego determinar el PCI e identificar la escala de clasificación en cada unidad de muestra analizada y así poder saber la condición del pavimento según la escala.

1.6.4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se hizo una comparación de la evaluación superficial del deterioro del pavimento empleando un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y la forma tradicional de inspección visual del método PCI, para verificar si existe variación de resultados con el método tradicional.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Un pavimento lo podemos definir como una estructura que se diseña y se forma mediante un conjunto de capas construidas sobre el suelo de fundación, con la finalidad de ser utilizado como una superficie apta para el libre tránsito de vehículos de tipo liviano, pesado y comercial; y donde la circulación se hace de manera rápida, confortable, segura y económica como se puede ver en la figura 1: 2.1.

El número y el espesor de las diferentes capas que integran un pavimento varía según su tipo (rígido o flexible, por ejemplo) y los resultados del diseño, pero el principio básico es el mismo.

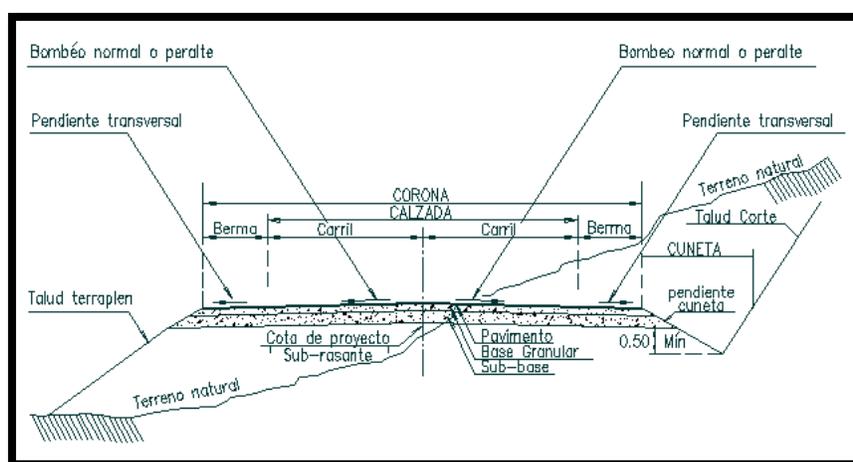


Figura 1: 2.1 Estructura de un pavimento dentro de la sección transversal de una vía

Fuente: Elementos componentes de una calzada
<http://jorgeulatea.blogspot.com/2015/10/elementos-componentes-de-una-calzada.html>

2.1.1 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes capas las cuales son: la sub-rasante, sub-base, base, capa de rodamiento y sello; sin embargo, es necesario aclarar que no siempre se encontrarán todas las capas que se detallan. En tales casos, la ausencia de una o varias de ellas dependerá de factores como la capacidad de soporte del terreno de fundación, la clase de material a utilizarse, el tipo de pavimento, intensidad de tránsito, carga de diseño, etc.

Suelo Soportante o Subrasante

Es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, se define como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura del pavimento; es decir, que es el terreno de cimentación del mismo. Puede ser también el suelo natural, pero si éste es deficiente se debe seleccionar un material de buena calidad.

Existen dos condiciones básicas que debe cumplir el suelo de soporte, y son:

- ✓ Debe mantener el mayor valor posible de soporte, ya que entre más fuerte se considere esta superficie menor será el costo de las capas superiores.
- ✓ El movimiento diferencial vertical debe ser mínimo, de esta forma las ondulaciones en la superficie serán menores y el rodamiento vehicular será más suave.

Sub-base

Es una capa de materiales pétreos de buena graduación construida sobre la sub-rasante, este elemento subyace a la capa base cuando esta es necesaria, como en el caso de los pavimentos flexibles. En el caso de los pavimentos rígidos, en ocasiones resulta conveniente colocar una sub-base cuando las especificaciones son más exigentes.

Las funciones que ésta capa debe cumplir son:

- ✓ Atenuar o suavizar aquellas deformaciones perjudiciales para la sub-rasante, como por ejemplo los cambios volumétricos producidos por cambios de humedad, evitando que se reflejen en la superficie del pavimento.
- ✓ Lograr espesores menores de la capa base para pavimentos flexibles.
- ✓ Servir de drenaje al pavimento, esto quiere decir que debe ser capaz de desalojar el agua que se infiltra en la capa de rodadura.
- ✓ Transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante en forma adecuada.
- ✓ Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que, por estar bajo la base, queda sujeta a esfuerzos menores y requiere de especificaciones menos rígidas.

Base

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la sub-base. Generalmente se usa en los pavimentos flexibles y se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica.

Entre sus funciones tenemos:

- ✓ Drenar el agua que se filtra a través de las carpetas y hombros.
- ✓ Resistir los cambios de temperatura, humedad y la desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- ✓ Reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten a las capas inferiores.
- ✓ Proveer suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella, y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub-base o una sub-rasante.
- ✓ Función económica, permite reducir el espesor de la carpeta asfáltica, que es la más costosa.

Las bases se pueden clasificar en dos tipos:

Base Granular: Los materiales empleados pueden ser grava o piedra triturada, suelo y arena; la estabilidad del material depende de su fricción interna y de su cohesión. Una base granular es un conjunto de agregados mezclados con agua, en donde una alta fricción interna se consigue con agregados bien graduados, de forma irregular, y con una pequeña cantidad de finos limo – arenosos.

Base Estabilizada: Suelo con cemento Portland, cal o asfalto, se recurre a ella por motivos de tipo económico, en los casos en que resulta más favorable recurrir al mejoramiento del suelo existente en el lugar, sin tener que transportar otros materiales desde grandes distancias. Como ejemplo de este tipo de bases podemos mencionar: Grava-Emulsión, Suelo-Emulsión, Suelo-Cemento, etc.

Capa de Rodamiento

Formada por una o varias capas que se colocan sobre la base, dichas capas consisten en materiales granulares con o sin liga, y por lo general son de concreto asfáltico o hidráulico. Este es el elemento del pavimento sobre el cual circulan directamente los vehículos y peatones como se puede ver en la figura 2: 2.2.

Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- ✓ Recibir y absorber en primera instancia el peso de los vehículos que circulan sobre la vía.
- ✓ Minimizar sensiblemente los esfuerzos que se transmiten hacia la terracería.
- ✓ Si la rodadura posee un espesor mayor o igual a cinco centímetros, se considera que trabaja junto al resto de capas para soportar las cargas y distribuir los esfuerzos, aunque esa no sea su función desde el punto de vista estructural.
- ✓ Proveer una superficie estable para el tránsito, uniforme, prácticamente impermeable, con una textura y color convenientes y que a la vez sea capaz de resistir los efectos abrasivos del tráfico.

Sello

Se coloca en algunas ocasiones sobre la capa de rodamiento y está formado por una mezcla bituminosa de asfalto o alquitrán. Sobre esta carpeta se coloca a veces, un riego de arena o chispa, y su función es la de lograr la impermeabilización de la capa de rodamiento, a fin de evitar la infiltración de las aguas de lluvia.



Figura 2: 2.2 Estructura típica de un pavimento

Fuente: Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o mantenimiento vial de la ciudad de Bogotá con la ciudad de Sao Paulo, (P. 14), por E. Barajas Reina, B. E. Buitrago Martínez, 2017, Colombia.

2.1.2 PAVIMENTO FLEXIBLE

Están compuestos por una o varias capas de mezcla asfáltica en caliente (HMA), o por tratamientos superficiales, apoyadas sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados (base, subbase, afirmado y en algunos casos subrasante mejorada) que se sustentan sobre el terreno natural o subrasante.

La carpeta asfáltica está compuesta de materiales granulares (agregado pétreo) seleccionados, ligados con un material asfáltico. Los agregados pétreos presentan granulometría y requisitos mínimos de calidad y exigencias según la capa que constituye la carpeta asfáltica cumple con las demandas, funcional y estructural, tal como se detalla a continuación:

- ✓ **Funcional:** esta capa recibe de manera directa las cargas que circulan sobre la superficie del pavimento; por lo tanto, debe estar diseñada y construida para que permita la circulación cómoda de los vehículos durante la vida útil o tiempo de servicio.
- ✓ **Estructural:** esta capa debe estar diseñada y construida de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanentes inducidas por las cargas cíclicas vehiculares que se repiten en el tiempo.

2.1.3 PAVIMENTO RÍGIDO

Es aquel que se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, su periodo de vida varía entre 20 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

2.1.3.1 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

- ✓ **Concreto hidráulico simple**

No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros o 8 a 15 pies). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).

✓ **Concreto hidráulico reforzado**

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros o 20 a 120 pies) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

✓ **Concreto hidráulico reforzado continuo**

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

2.1.4 COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

El comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida útil es regido generalmente por un ciclo, el cual ha llegado a considerarse como normal debido a la frecuencia con que se presenta, los indicadores (deterioros del pavimento) de cada una de las etapas de este ciclo son diferentes según el tipo de pavimento, sin embargo, la tendencia en la evolución de la estructura a través del tiempo es común y puede describirse de la siguiente manera:

Etapas de construcción

Un pavimento puede haber tenido una buena construcción o haber presentado algunos defectos durante esta etapa, o bien haber sido claramente deficientes tanto la etapa de diseño como la de ejecución. De cualquier forma, cuando la estructura entra en servicio, esta suele encontrarse en excelentes condiciones, satisfaciendo plenamente las necesidades de los usuarios.

Etapas de deterioro lento y poco visible

Durante algunos años, el pavimento experimenta un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodamiento y en menor medida en el resto de su estructura. Este desgaste es producido por los diversos tipos de vehículos que circulan sobre él, también por la influencia que ejercen otros factores como el clima, la radiación solar, el agua de lluvias,

cambios de temperatura, etc. La calidad de la construcción inicial también incide en la evolución del deterioro.

A través de toda esta etapa el pavimento se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado.

Etapa de deterioro acelerado y de quiebre

Luego de varios años de uso, el pavimento entra en una etapa de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito. Al inicio de esta etapa, la estructura básica del pavimento se conserva intacta y las fallas en la superficie son menores, por eso el usuario común tiene la impresión que este se mantiene aún bastante sólido. Sin embargo, no es así, ya que cada vez se pueden observar más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, la cual no es visible.

Entonces, podemos asegurar que cuando en la superficie de un pavimento se detectan graves fallas a simple vista, la estructura básica del pavimento está seriamente dañada. Los daños al inicio son puntuales, pero luego se van extendiendo en la mayor parte del pavimento, cuando esto ocurre la destrucción es acelerada; si no se interviene en algún momento durante esta etapa el pavimento llega al punto de quiebre en el cual se produce una falla generalizada, tanto en la superficie como en la estructura básica.

A medida que se desarrolla esta etapa, los vehículos circulan experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie, tales como: grietas, baches, depresiones y deformaciones.

Etapa de descomposición total

Constituye la última etapa de la existencia de un pavimento, y puede durar varios años, lo primero que se observa es la pérdida de la capa de rodadura, ya que cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de ésta, por lo que al final la vía termina siendo un

camino de grava, y a la larga, de tierra. El paso de vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida en un gran porcentaje. Los vehículos comienzan a presentar daños en neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis; los costos de operación vehicular suben de manera considerable y se incrementa la cantidad de accidentes graves. En esta última etapa llega un momento en que ya no pueden transitar los automóviles normales, sólo algunos camiones y vehículos todoterreno.

Como ya se dijo anteriormente, los detalles del ciclo de vida de los pavimentos varían dependiendo de su tipo, pero en general, el mensaje que debe atenderse es el mismo y consiste en que las acciones de conservación de cualquier pavimento deben planificarse debidamente de modo que nunca se permita el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.

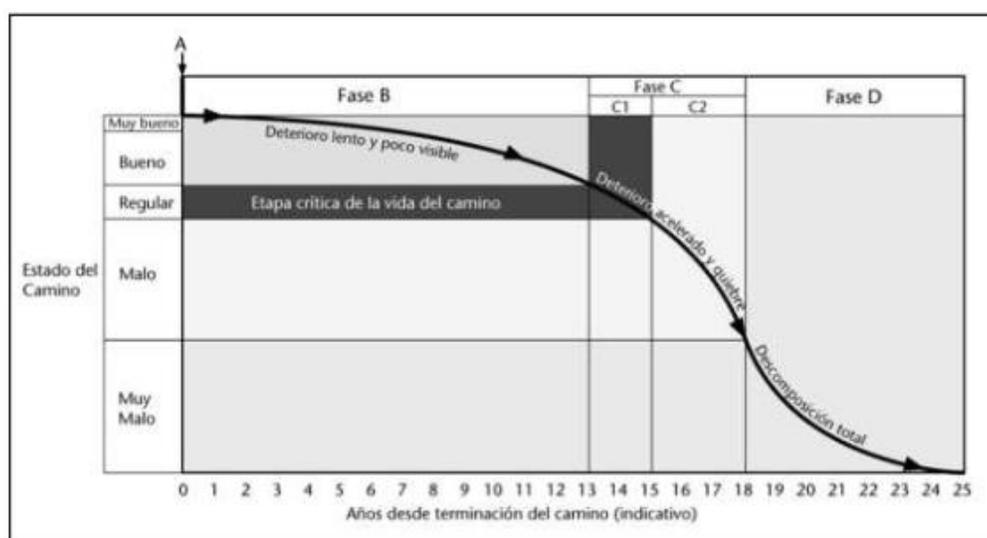


Figura 3: 2.3 Deterioro de los pavimentos a través del tiempo

Fuente: Evaluación georreferenciada de la superficie del pavimento de la vía Loja - Zamora, tramo 0+000 - 29+000, (P. 16), por D. H. González González, 2016, Ecuador.

2.2 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Los recursos para el mantenimiento y reparación de carreteras pueden ser administrados eficientemente. El dinero debe ser invertido en el momento y lugar correcto, mejor aún si se conoce las condiciones actuales de la estructura y su velocidad de deterioro calculado a partir

de las inspecciones efectuadas al pavimento y de las evaluaciones de su condición y comportamiento.

La evaluación tiene como objetivo el análisis del estado situacional de la superficie y de la estructura del pavimento; de esta manera se logran las acciones adecuadas de conservación y mantenimiento, que permiten prolongar la vida útil.

2.2.1 EVALUACIÓN SUPERFICIAL

La evaluación superficial o funcional del pavimento, tiene por objetivo, reconocer las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie y al estado general de las condiciones del pavimento. Se consideran todos aquellos factores que afectan negativamente la serviciabilidad, seguridad y el costo del usuario.

La objetividad en la evaluación de pavimentos juega un papel primordial, pues se necesita personas verdaderamente capacitadas para que realicen las evaluaciones, de no ser así, dichas pruebas pueden perder credibilidad con el tiempo y no podrán ser comparadas, además, es importante que se escoja un modelo de evaluación que se encuentre estandarizado para poder decir que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva.

Existen varios métodos de evaluación superficial del pavimento que se indican a continuación:

- Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte (DNIT)
- Índice de Condición del Pavimento (PCI)⁵
- Evaluación Superficial y Rango de Pavimento (PASER)
- Inspección Visual de Daños en Carreteras (VIZIR)
- Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAl)

2.3 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

Un Sistema de Gestión de pavimentos para vías y estacionamientos requiere un subsistema de evaluación de la condición de dichas estructuras.

⁵ A este método de evaluación se refiere la presente investigación

El subsistema de evaluación debe ser objetivo y repetible. El deterioro de una estructura de pavimento es función de: Los tipos de daños presentes, la severidad de dichos daños, y la densidad o proporción de pavimento afectado por los mismos.

2.3.1 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado como se observa en la figura 4:

2.4.

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Figura 4: 2.4 Rangos de Calificación del PCI

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.3.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. Las Figuras 5: 2.5 y 6: 2.6 ilustran los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos y de concreto, respectivamente. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA					
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del:	Al:		
Fecha: 17/05/2020		Codigo:			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2			
Metodo: VANT					
TIPO DE FALLAS					
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2		
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2		
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un		
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2		
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2		
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2		
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2		
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2		
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2		
10. Grietas lon y transversal	m				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE				
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO				
41-55	REGULAR				
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)					
MEDIA(M)					
ALTA (H)					

Figura 5: 2.5 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica

Fuente: ASTM D6433-16

2.3.3 UNIDADES DE MUESTREO

Se divide la vía en secciones o unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían como se muestra a continuación:

- ✓ Superficies de rodadura asfáltica, de ancho menor que 8 m, requiere que la unidad de muestreo esté en el rango de 225 ± 90 m². La tabla 2: 2.1 muestra un cuadro resumen de las unidades de muestreo de acuerdo al tipo de pavimento.

Tabla 2: 2.1 Unidades de muestreo según el tipo de pavimento

Tipo de Pavimento	Tamaño de la Muestra		
	Mínimo	Ideal	Máximo
Flexible	135 m ²	225 m ²	315 m ²
Compuesto (Pavimento rígido con refuerzo de pavimento flexible)			

Fuente: ASTM D6433-16

- ✓ Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

2.3.4 DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA EVALUACIÓN

En la “Evaluación De Una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

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

Ecuación 1: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse.

2.3.5 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2: Intervalo de muestreo

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

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar. i : Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

- b. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i .

Así, si $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

2.3.6 SELECCIÓN DE UNIDADES DE MUESTREO ADICIONALES

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

2.3.7 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

- a) Equipo.
 - ✓ Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
 - ✓ Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
 - ✓ Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.
- b) Procedimiento. Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.
- c) El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

2.3.8 CÁLCULO DEL PCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Etapa 1. Cálculo de los Valores Deducidos (VD)

- a) Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas en el formato. El deterioro puede medirse en longitud, área o según su tipo.
- b) Se divide la cantidad de cada clase de daño y su nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y se expresa el resultado en porcentaje. Este será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- c) Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y nivel de severidad mediante las curvas denominadas “valor deducido de daño” que se adjuntan en el anexo x, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapa 2. Cálculo del Número Máximo admisible de valores deducidos (m)

- a) Si ninguno o tan solo uno de los valores deducidos es mayor que 2, se usa el valor deducido total en lugar del mayor valor deducido corregido (VDC), caso contrario se siguen los siguientes pasos.
- b) Ordenar los valores deducidos individuales de mayor a menor
- c) Determine el número máximo de valores deducidos (m), utilizando la Ecuación 3:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} (100 - \text{MaxVD}_i)$$

Ecuación 3: Número máximo admisible de valores deducidos

Donde:

m_i : Número máximo admisible de valores deducidos, incluyendo fracción para la unidad de muestreo i .

MaxVD_i : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .

Etapa 3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (VDC)

Para determinar el máximo VDC se debe seguir un proceso de iteración:

- a) Determinar el número de valores deducidos (q) mayores que 2
- b) Determinar el valor deducido total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales.
- c) Determinar VDC en función del valor q y el VDT, empleando la curva de corrección de acuerdo al tipo de pavimento.
- d) Reducir el menor de los valores deducidos individuales a 2, para luego sumar y hallar el nuevo VDT. Se repite el procedimiento hasta que q=1
- e) El máximo VDC será el mayor de los VDC obtenidos en este proceso.

Etapa 4. Cálculo del PCI restando de 100 el máximo VDC.

Se calcula el PCI de la unidad mediante la siguiente Ecuación 4:

$$PCI = 100 - \max VDC$$

Ecuación 4: Cálculo del índice de condición del pavimento

Donde:

PCI: Índice de condición del pavimento

maxVDC: Máximo valor corregido deducido

2.3.9 CÁLCULO DEL PCI DE UNA SECCIÓN DE PAVIMENTO

Si todas las unidades de muestreo son inventariadas o si todas las unidades de muestra evaluadas son escogidas de manera aleatoria, el PCI de la sección será el ponderado de los PCI calculados en las unidades según su área, como indica la Ecuación 5:

$$PCI_S = \frac{\sum_1^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_1^n A_{ri}}$$

Ecuación 5: PCI calculados en las unidades según su área

Si hay unidades de muestra adicionales que han sido inspeccionadas, entonces el PCI de la sección del pavimento es calculado con la Ecuación 6:

Ecuación 6: PCI de la sección del pavimento calculado de unidades de muestra adicionales

$$PCI_S = \frac{PCI_r(A - \sum_1^n A_{ai}) + PCI_a(\sum_1^m A_{ai})}{A}$$

Donde:

PCI_S : PCI de la sección del pavimento

PCI_{ai} : PCI de la unidad de muestra adicional “i”

PCI_{ri} : PCI promedio de las unidades de muestra aleatoria “i”

A_{ri} : Área de la unidad de muestra aleatoria “i”

A_{ai} : Área de la unidad de muestra adicional “i”

n= número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas

m= número de unidades de muestra adicionales inspeccionadas

2.3.10 INTERPRETACIÓN DEL PCI

El Índice de condición de pavimento no sólo nos indica el estado actual de la vía, también nos proporciona los metrados para definir las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación también nos brinda información importante para la determinación del presupuesto de mantenimiento de obra. La tabla 3: 2.2 relaciona los rangos del PCI de un pavimento flexible con el tipo de acción a realizar.

Tabla 3: 2.2 Rango del PCI y tipo de mantenimiento

RANGO DEL PCI	COLOR	TIPO DE MANTENIMIENTO
86 - 100 EXCELENTE		MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PREVENTIVO
71-85 MUY BUENO		(Sello de fisuras, parches, lechadas asfálticas)
56 - 70 BUENO		MANTENIMIENTO CORRECTIVO
41 - 55 REGULAR		(Recapado)
26 - 40 POBRE		REHABILITACIÓN MAYOR (Reemplazo de carpeta asfáltica)
11 - 25 MUY POBRE		RECONSTRUCCIÓN (Reemplazo base granular y carpeta asfáltica)
0 - 10 FALLADO		

Fuente: ASTM D6433-16

2.3.11 FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

Existen dos tipos de fallas: estructurales y funcionales. Las primeras, son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas. Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario.

Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías:

- 1) Fisuras y grietas
- 2) Deformaciones superficiales
- 3) Desintegración de pavimentos o desprendimientos
- 4) Afloramientos y otras fallas.

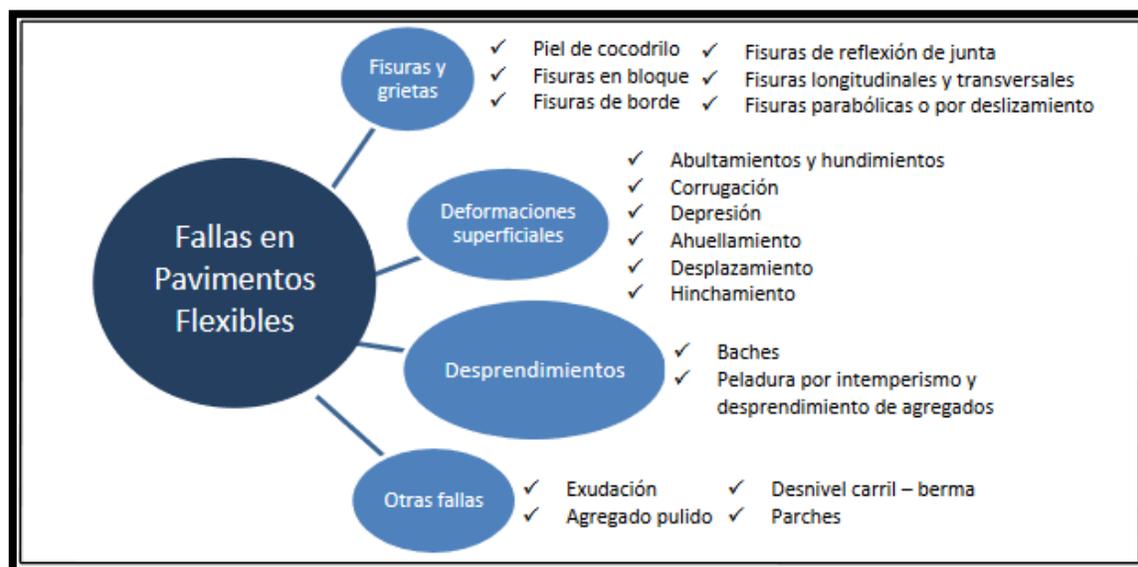


Figura 7: 2.7 Fallas en pavimentos flexibles

Fuente: Análisis de las fallas del pavimento flexible de la avenida Arízaga entre Nueve de Mayo y Ayacucho, (P. 5), por M. M. Niola Valencia, 2015.

El manual PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras establece 19 diferentes tipos de fallas para pavimentos de concreto hidráulico y 19 para pavimentos de superficie asfáltica, es importante que el evaluador del pavimento este familiarizado con los tipos de fallas, sus niveles de severidad y las formas de medición establecidas en el método.

2.4 FOTOGRAMETRÍA DIGITAL

La fotogrametría, es la técnica que tiene como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías. (Bonneval, como se citó en Quirós, 2014). Etimológicamente, la palabra fotogrametría significa la métrica de lo escrito con luz. Es, en esencia, la ciencia que utiliza la fotografía para hacer medidas, y su aplicación es extensiva a numerosas áreas de conocimiento.

Existe otra técnica que utiliza también fotografías aéreas denominada fotointerpretación y que se dedica al estudio pormenorizado de las fotografías con el objetivo de analizar fenómenos de muy variada tipología. Sin embargo, la fotogrametría no interpreta fenómenos si no que, mediante mediciones en las fotografías, genera planos y mapas de gran exactitud.

Finalmente, podríamos definir la fotogrametría como la ciencia para elaborar mapas o planos partiendo de fotografías realizadas bajo unos condicionantes específicos.

La más extendida de sus posibles ramas es la fotogrametría aérea figura 8: 2.8, en la que, a partir de fotografías aéreas tomadas bajo unos condicionantes geométricos, permite elaborar planos y mapas de áreas extensas con exactitud y agilidad.

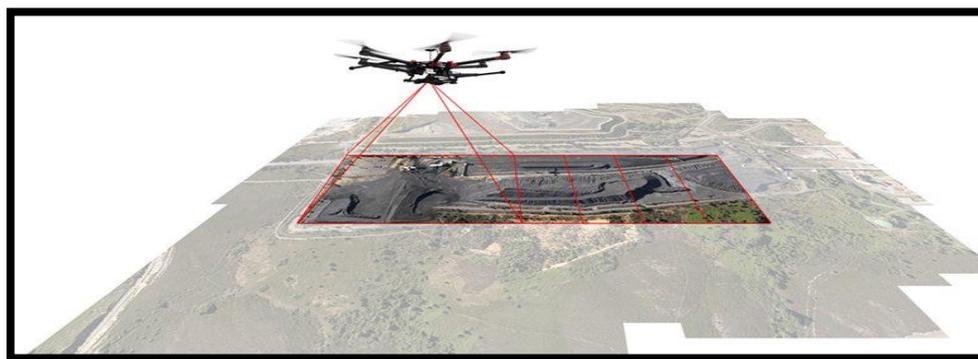


Figura 8: 2.8 Fotogrametría aérea.

Fuente: Pinterest, topografía topógrafo fotogrametría aérea

<https://www.pinterest.com/pin/850898923329686256/>

La visión estereoscópica natural se basa en la capacidad que tenemos los seres humanos en apreciar el relieve de las cosas. Para ello, cada ojo captura una imagen del mismo objeto y en el cerebro, se unen por un proceso mental produciéndose una única imagen en relieve. La visión estereoscópica artificial consiste en una imitación de la natural, en la que el observador no se encuentra frente al objeto y en su lugar, se observan dos imágenes tomadas desde puntos de vista diferentes, provocando la visión del relieve figura 9: 2.9.

La técnica de la fotogrametría se basa en el principio de la estereoscopía para conseguir que, mediante imágenes del terreno, tomadas desde dos puntos de vista, se pueda reproducir el relieve del mismo.

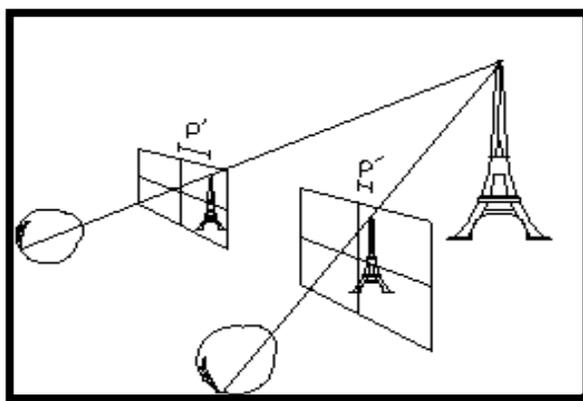


Figura 9: 2.9 Visión estereoscópica artificial.

Fuente: Paralaje estereoscópica

<http://www.gisiberica.com/estereoscopos/PARALAJE%20ESTEREOOSC%D3PICA.htm>

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGAMETRÍA.

La fotogrametría se puede clasificar según los siguientes aspectos:

- ✓ En función del instrumental utilizado:
 - a) **Fotogrametría Analógica:** Se miden fotogramas analógicos en un equipo también analógico.
 - b) **Fotogrametría Analítica:** Se miden fotogramas analógicos con sistemas computacionales.

c) **Fotogrametría Digital:** Medición de fotogramas digitales en sistemas fotogramétricos digitales.

✓ En función de la distancia al objeto:

a) **Fotogrametría Espacial:** Medición en imágenes de satélite.

b) **Fotogrametría Aérea:** Medición en fotogramas aéreos.

c) **Fotogrametría Terrestre:** Medición en fotogramas obtenidos desde la superficie terrestre.

2.4.2 APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA EN INGENIERÍA CIVIL.

En el marco general de la ingeniería existen cuatro grandes grupos de actuaciones donde se utilizan la fotogrametría:

- ✓ **Vías de comunicación.** Para el estudio de establecimiento de trazados.
- ✓ **Planificación territorial.** En el planeamiento urbanístico y ordenación del territorio.
- ✓ **Hidrografía.** Estudio de cuencas, deformaciones de presas, etc.
- ✓ **Ejecución de movimiento de tierras.** Medición de volúmenes removidos.

2.4.3 IMAGEN DIGITAL.

Una imagen digital es una matriz bidimensional en la que cada unidad mínima de información es un píxel con coordenadas fila, columna (i,j).

Cada píxel, tendrá un valor denominado Nivel Digital (Nd) que estará representado por un nivel de gris en pantalla, figura 10: 2.10.

Esta composición de la imagen digital es la que corresponde con una imagen monobanda, o lo que es lo mismo: compuesta por sólo una matriz, y que se visualizaría en niveles de gris. Sin embargo, las imágenes a color (RGB), están compuestas por tres matrices, una para el color rojo (Red), otra para el verde (Green) y otra para el azul (Blue).

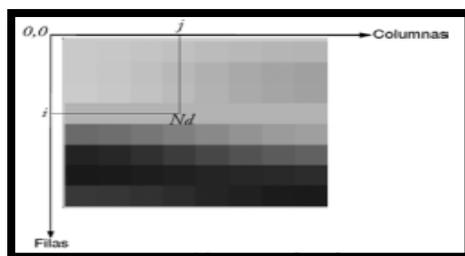


Figura 10: 2.10 Imagen digital.

Fuente: Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil, (P. 59), por E. Quirós Rosado, 2014, España: Universidad de Extremadura.

2.4.4 PÍXEL.

Un píxel es el elemento de color uniforme más pequeño que forma una imagen digital. Contiene información de color, saturación y brillo y no tiene un tamaño determinado (cada dispositivo de captura emplea píxeles de distinto tamaño). Por cierto, el término procede de picture element (pix + el).

2.4.5 TAMAÑO EN PÍXELES DE UNA IMAGEN DIGITAL.

Una imagen digital es el resultado de una matriz de píxeles que se reparten en filas y columnas, la suma de todos los píxeles repartidos en las filas y columnas es su tamaño en píxeles.

Por ejemplo, si tomamos una fotografía digital y nuestro ordenador nos indica que su tamaño es de 1024 x 683, significa que está compuesta por 1024 columnas y 683 filas de píxeles. O lo que es lo mismo, que su tamaño es de $1024 \times 683 = 699.392$ píxeles.

2.4.6 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN DIGITAL.

a) **Resolución.** La calidad de una imagen digital depende del tamaño del píxel, y es la denominada resolución. Si ese tamaño es demasiado grande, la imagen pierde información, pero, si, por el contrario, es demasiado pequeño, la imagen tendría mucha calidad, con el inconveniente de que también necesitaría mucho espacio de almacenamiento.

En el caso de imágenes aéreas, la resolución se denomina espacial y tiene correspondencia directa con el tamaño del píxel en el terreno.

b) **Dimensión.** La dimensión de la imagen indica el ancho y el alto de la imagen. Se suele expresar en cm, pulgadas o píxeles.

c) **Profundidad de color.** La profundidad de color corresponde con el número de bits utilizados para describir el color de cada píxel.

d) **Tamaño del archivo.**

El tamaño del archivo es la cantidad de memoria necesaria para almacenar la información de la imagen. El número de bits que se necesitan para almacenarla está en función de la resolución de su largo y ancho y la profundidad de color.

2.5 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT)

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o por sus siglas en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle), es un sistema de vuelo que no requiere de un piloto a bordo, ya que, a través de una serie de unidades de procesamiento, sensores incorporados y un enlace de comunicación, es guiado autónomamente basado en misiones pre programadas, o bien controlado de forma remota por un operador en tierra, figura 11: 2.11.

Los vehículos aéreos no tripulados (drones), tienen sus orígenes en el ámbito militar, ya que fueron diseñados para el combate como potentes armas de guerra. En la última década los vehículos aéreos no tripulados (VANT) se han convertido en un tema de interés en muchas organizaciones de investigación.



Figura 11: 2.11 Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)

Fuente: Tipos de drones, <https://www.prometec.net/03-tipos-de-drones/>

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) comúnmente conocidos como drones, son en esencia pequeñas plataformas aéreas que se operan a distancia o en forma programada. Los mismos ganaron popularidad en el mundo por sus aplicaciones militares, sin embargo, esta tecnología tiene un amplio espectro de usos pacíficos a partir de la obtención de fotografías los cuales después de un tratamiento digital, pueden ser convertidas en ortofotos y modelos 3D. (Martínez, como se citó en Cruz, 2019).

2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VANT.

Existen diferentes clasificaciones de los VANT, sin embargo, podemos dividirlos en dos grandes grupos, según su empleo:

- ✓ Industria militar, conformado por alas fijas.
- ✓ Empresas civiles, pioneras en la actividad de drones, referido al ala rotaria, y que incorpora nuevos conceptos de multirrotores.

VANT Alas fijas.

Son aeronaves parecidas a la forma de un avión; se basan en el aprovechamiento de la interacción de un perfil alar con el aire, para que el efecto de sustentación provoque el vuelo de las mismas, figura 13: 2.13. El equipo presenta ventajas y desventajas, como:

- ✓ Como ventaja, presenta una mayor autonomía y la posibilidad de una mayor velocidad de desplazamiento comparada con los otros tipos, por lo que son ideales para mapear grandes superficies de terreno.
- ✓ Como desventaja presenta incapacidad para el vuelo estacionario, es decir, no posee la capacidad de mantenerse en el aire, teniendo limitado su desplazamiento en un solo sentido, por lo que requiere un área grande sin obstáculos para el despegue y aterrizaje del mismo.

VANT Alas rotatoria o multirroto.

Está basado en las alas giratorias estructuradas en el giro de palas normalmente acompasadas dos a dos, para compensar los efectos contrarrotatorios aprovechan el empuje generado con este giro de pala para mantenerse en el aire, figura 12: 2.12. En cuanto a sus ventajas y desventajas, se puede mencionar lo siguiente:

- ✓ Ventaja es su capacidad para mantenerse en vuelo estacionario y desplazarse a lo largo de los tres ejes, teniendo así total libertad de movimientos.
- ✓ Admite instalar diferentes tipos de sensores (cámaras RGB, multiespectrales, termográficas) que permiten realizar diferentes tipos de trabajos.
- ✓ Como desventajas, ofrece menor autonomía, en la actualidad los multirrotores no suelen superar los 40 minutos de vuelo.



Figura 13: 2.13 VANT alas fijas



Figura 12: 2.12 VANT alas rotatorias.

Fuente figura 13:2.13: Adaptado de <https://zcopters.com/product/ala-fija-zcopters/>

Fuente figura 12:2.12: Adaptado de <https://todocondrones.com/usos-de-drones/los-drones-y-sus-diferentes-nombres/>

2.5.2 APLICACIONES CIVILES.

En los últimos años, el uso de los vehículos aéreos no tripulados con fines civiles se ha incrementado de manera notable.

Desde que se utilizaron los primeros globos para transportar sensores fotogramétricos hasta la actualidad, el desarrollo de las plataformas aéreas y la tecnología asociada para este uso ha sido considerable, esto se debe al desarrollo de los componentes electrónicos que los forman, los cuales han evolucionado reduciendo su tamaño y precio, y aumentando sus prestaciones técnicas.

En la actualidad existen un amplio rango de aplicaciones, entre las principales tenemos:

- ✓ Producción audiovisual para medios de comunicación.
- ✓ Búsqueda y rescate de personas.
- ✓ Seguridad en el control de fronteras.
- ✓ Control de incendios forestales.
- ✓ Inspección de infraestructuras.
- ✓ Agricultura de precisión para el monitoreo de cultivos.
- ✓ Topografía área mediante técnicas de fotogrametría.
- ✓ Cartografía digital.
- ✓ Monitoreo de la calidad del aire.
- ✓ Arqueología y gestión del patrimonio.

En este sentido, la utilización de drones será un factor relevante y tendrá impacto positivo en la calidad de vida de los ciudadanos. En lo que respecta a servicios de seguridad estos equipos ayudarán a optimizar la capacidad y el tiempo de respuesta de dichos servicios. Asimismo, transformarán de manera sustancial la forma de inspeccionar los activos de las ciudades, aumentando la seguridad, rapidez y facilidad de la inspección y mantenimiento de infraestructuras esenciales como puentes, túneles y carreteras, ahorrando costos y recursos.

CAPÍTULO III. CÁLCULO DEL PCI

PAVIMENTO FLEXIBLE

3.1 CÁLCULO DEL PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE VUELO

3.1.1.1 UBICACIÓN

Carretera San Miguel - El Delirio Km 144. (RN-17), figura 14: 3.1.

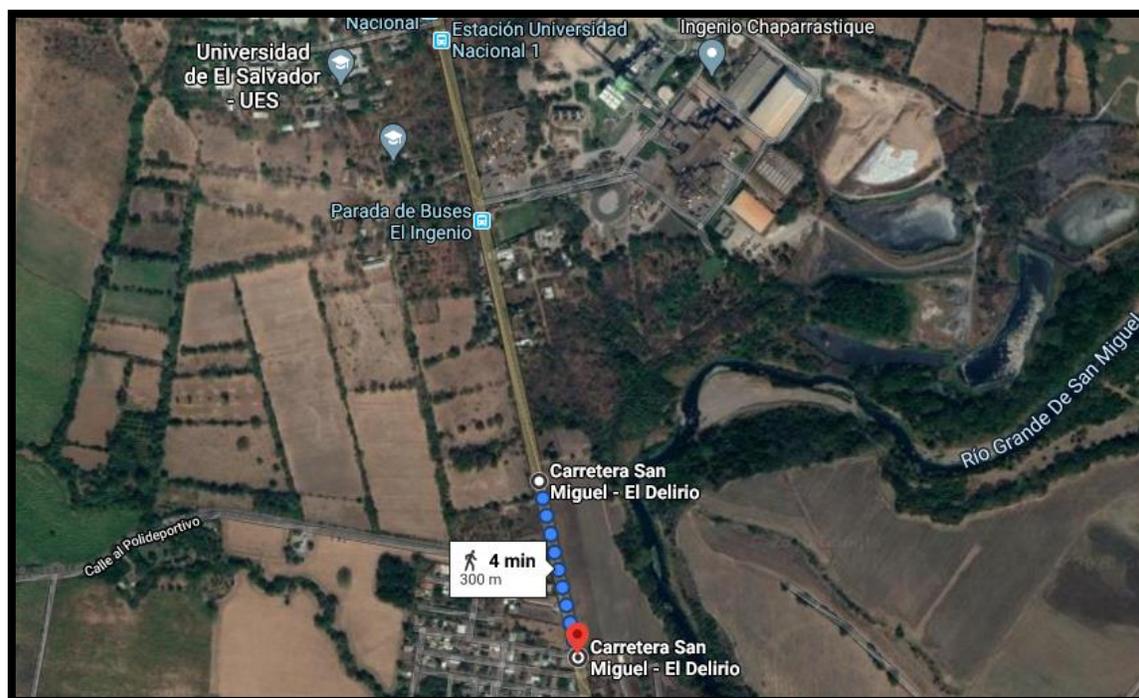


Figura 14: 3.1 Ubicación de la carretera con superficie de asfalto

Fuente: Google Maps

Se utilizó la aplicación DroneDeploy diseñada para planificar y ejecutar vuelos automáticos para VANT, para la adquisición de fotografías que se usaran en la identificación y metrado de fallas.

El plan de vuelo queda definido de la siguiente manera:

- **Equipo utilizado:** Para la presente tesis, se ha empleado un Multirrotor de la marca DJI, modelo Mavic 2 Pro, el cual se muestra en la figura 15: 3.2.



Figura 15: 3.2 DJI Mavic 2 Pro

Fuente: Adaptado de <https://www.amazon.es/DJI-Mavic-Pro-Hasselblad-Versi%C3%B3n/dp/B07GJJYRXX>

➤ **Características de la Cámara**

Sensor: 1" CMOS

Resolución: 20 megapíxeles

Lente FOV: 77°

Apertura: f/2.8 to f/11

Velocidad del disparador: 8 – 1/8000s

Resolución máxima: 5472 × 3648

Capacidad de almacenamiento interno: 32 GB

Los parámetros internos o características de la cámara del drone utilizado, se visualizan al importar las fotografías tomadas del vuelo al programa de fotogrametría profesional Pix4D Mapper Pro, donde al abrir la pestaña (modelo de cámara seleccionado, opción editar) automáticamente el programa muestra las características de la cámara que tomo las fotografías, tal como se muestra en la figura 16: 3.3.

Figura 16: 3.3 Características internas de la cámara del DJI Mavic 2 Pro

Fuente: Base de datos de Pix4D Mapper

- **GSD y altura de vuelo:** Con una altura de vuelo de 30 m se obtuvo una resolución en el terreno de 7.4 mm/pix, ver Anexo 1 Reporte de calidad Pavimento Flexible.
- **Tipo de plan de adquisición:** Este fue de tipo rejilla ejecutando múltiples misiones para cubrir el tramo de carretera en estudio.

- **Traslape:** Se consideró un traslape frontal y lateral de 75% y 70% respectivamente con el objetivo de obtener gran cantidad de coincidencias entre fotografías.
- **Velocidad del vuelo:** Esta depende de varios factores y ya que el vuelo no se ejecutó de forma manual, esta variable se configura en la aplicación DroneDeploy con una velocidad de 3 m/s.
- **Tiempo de vuelo:** Este depende del Tiempo máximo que la aeronave se puede mantener en el aire sin necesidad de reabastecerse. En el caso del DJI Mavic 2 Pro: En este caso el tiempo de vuelo fue de 9.50 min.

El tiempo máximo de vuelo para este tipo de VANT es 28 minutos.

Tiempo efectivo de vuelo por misión es 16 minutos

- **Dimensión de la misión:** El dimensionamiento del área a sobrevolar depende del área de interés en sí, puesto que en los bordes del área se carece de pares estereoscópicos lo cual generara distorsión en el producto final, se consideró programar el vuelo con al menos una línea fuera de la zona de interés para evitar la tan indeseada distorsión.

3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL APOYO TOPOGRÁFICO DEL VUELO

Para la obtención de los puntos de apoyo topográfico (GCP) se partió de una base de datos conocida⁶ partiendo de los monumentos ya construidos dentro de la facultad, las dos estaciones geodésicas que se utilizaron para arrastrar esas coordenadas al tramo de carretera en estudio fue; la Estación Facultad Multidisciplinaria de Oriente FMO3 ubicada al costado Nor-Oeste de cancha de futbol de agronomía y la Estación Facultad Multidisciplinaria de Oriente FMO4 ubicada en potrero que se encuentra al Norte de cancha de futbol de facultad de Agronomía, al poniente de dicha facultad. A través de procedimientos clásicos de medición utilizando para ello la Estación total Nikon Nivo 5C, figura 17: 3.4.

⁶ Los datos se tomaron de la Red Geodésica Departamento de San Miguel a través del Centro Nacional de Registros, Instituto Geográfico y del Catastro Nacional, Gerencia de Geodesia.

Estos puntos de apoyo son necesarios para el ajuste del modelo estereoscópico en la etapa de procesamiento de datos.



Figura 17: 3.4 Arrastre de coordenadas geodésicas al tramo de carretera en estudio.

Fuente: Grupo de tesis.

Se colocaron 6 puntos de apoyo ubicados y distribuidos estratégicamente en los hombros de la calzada tal como se ilustra en la siguiente figura.

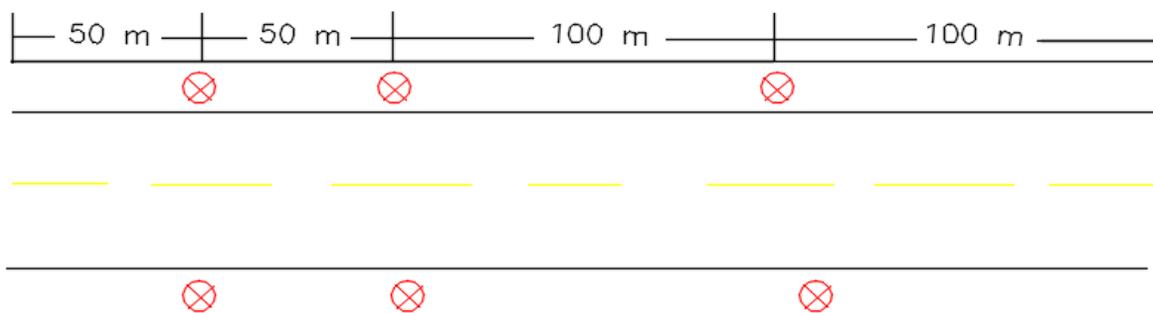


Figura 18: 3.5 Ubicación y señalización de los puntos de apoyo

Fuente: Grupo de tesis.

Se colocaron marcas en forma de X al nivel del pavimento utilizando spray reflejante para señalar los puntos para su identificación en las fotografías y posteriormente se obtuvieron las coordenadas respectivas, figura 19: 3.6.



Figura 19: 3.6 Puntos de apoyo topográfico

Fuente: Grupo de tesis.

Las coordenadas tomadas de los puntos de apoyo en proyección Lambert y su correspondiente en WGS-84/UTM zona 16N se detallan a continuación.

Tabla 4: 3.1 Coordenadas de los puntos de apoyo

PROYECCION	LAMBERT 3 PARAMETROS EL SALVADOR			WGS-84/UTM ZONA 16 N		
	NORTE	ESTE	ALTURA	NORTE	ESTE	ALTURA
PBI1	257.185.664	591.550.140	87.220	1485393.80	375009.31	87.220
PAD2	257.183.369	591.541.268	87.232	1485391.58	375000.43	87.232
PBI3	257.136.955	591.561.297	87.009	1485345.01	375020.07	87.009
PAD4	257.134.974	591.552.081	87.021	1485343.10	375010.84	87.021
PBI5	257.039.400	591.583.240	87.038	1485247.30	375041.21	87.038
PAD6	257.037.441	591.573.511	87.059	1485245.42	375031.46	87.059

Fuente: Grupo de tesis.

3.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL VUELO

El vuelo se desarrolló por la mañana a las 9.30 am ya que por lo general se prefieren fotos con poca sombra, se intenta volar en horas cercanas al mediodía. Las sombras producen errores en el proceso de restitución. Las misiones de vuelo se realizaron con el tránsito vehicular usual, despegando desde un lado de la vía como se aprecia en la figura 20: 3.7. Obteniendo en total 210 imágenes georreferenciadas.



Figura 20: 3.7 Despegue del VANT desde el hombro de la calzada

Fuente: Grupo de tesis

Terminado el vuelo, el equipo está programado para retornar automáticamente al punto de despegue a la altura indicada. Todas las imágenes quedan registradas en la memoria externa colocada en el equipo anteriormente, para luego ser descargadas en gabinete y proceder con el procesamiento.

3.1.4 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

3.1.4.1 PIX4D MAPPER

Pix4D Mapper es un software especializado en fotogrametría que permite convertir imágenes en modelos 3D y ortomosaicos 2D georreferenciados.

La creación de proyectos en Pix4D se realiza a partir de conjuntos de imágenes tomadas de forma terrestre o aérea según el tipo de proyecto, haciendo posible el tratamiento de fotografías adquiridas diversas formas.

El software ofrece varias plantillas configuradas para el tratamiento de imágenes en casos particulares, permitiendo la creación de modelos 3D de objetos, mapas de reflectancia para agricultura de precisión y mapas 3D de superficies, entre otras opciones, siendo posible también crear plantillas personalizadas que se adapten mejor a las características particulares de cada proyecto.

Para la creación de mapas 3D el programa utiliza como imágenes de entrada cualquier fotografía aérea adquirida usando un plan de vuelo, sobre todo orientadas hacia el suelo.

El software permite salidas en diferentes formatos digitales de los productos generados en las diferentes etapas, para poder darles un tratamiento en otros programas.

3.4.1.1.1 VERSIONES DEL SOFTWARE

Pix4DMapper ofrece dos versiones para los usuarios: Pix4DMapper Discovery y Pix4DMapper Pro. La primera opción es una versión gratuita del programa, que permite realizar las primeras dos etapas del procesamiento, con algunas restricciones como la imposibilidad de clasificar automáticamente los puntos de la nube entre como parte del terreno o como objetos.

En la versión Pro del programa están disponibles todas las opciones de procesamiento ofrecidas por el programa, no disponibles en la versión Discovery.

La licencia de la versión Pro puede adquirirse con pagos para su uso durante un mes, un año o por tiempo ilimitado. También está disponible la opción de activar la versión Pro por un corto período de prueba para usuarios de Pix4DMapper Discovery.

3.4.1.1.2 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL SISTEMA

- ✓ Sistema Operativo Windows 7, 8, 10, 64 bits o Mac OS
- ✓ CPU Intel i5
- ✓ Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 3.2.
- ✓ 8GB de memoria RAM

3.1.4.2 CREACIÓN DEL PROYECTO EN PIX4D MAPPER

Para crear un Nuevo proyecto:

1. Inicie Pix4Dmapper, figura 21: 3.8



Figura 21: 3.8 Pantalla de bienvenida de Pix4D Mapper Pro

La **fente** de las imágenes del programa Pix4D Mapper Pro presentadas a continuación es propia del Grupo de tesis.

2. En la barra de menú, clic Proyecto > Nuevo Proyecto, figura 22: 3.9.

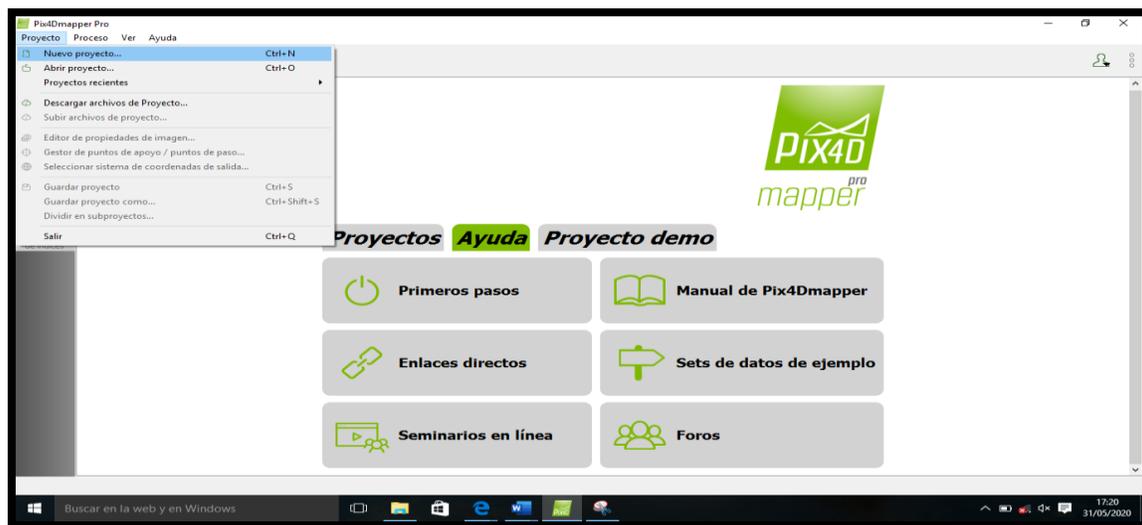


Figura 22: 3.9 Creación de nuevo proyecto

3. Luego se asigna un nombre y ruta al nuevo proyecto tal como se muestra en la figura 23: 3.10.

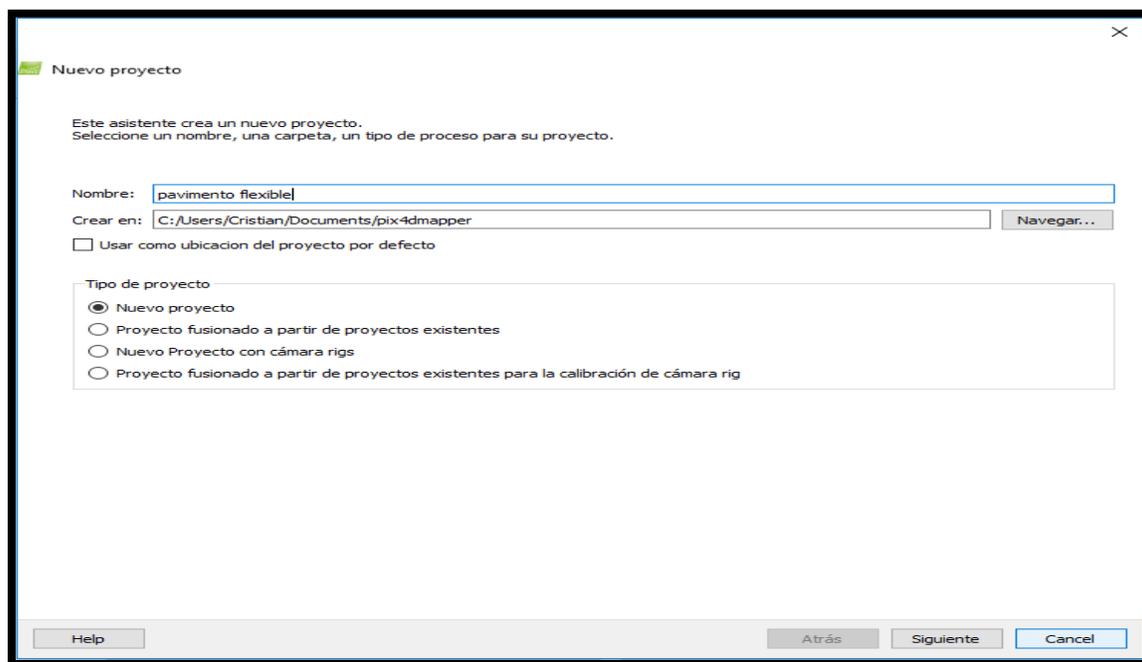


Figura 23: 3.10 Asignar nombre y ruta de almacenamiento al nuevo proyecto

3.1.4.2.1 IMPORTANDO IMÁGENES

1. Después se procede a seleccionar las imágenes que serán procesadas tal como se muestra en la figura 24: 3.11

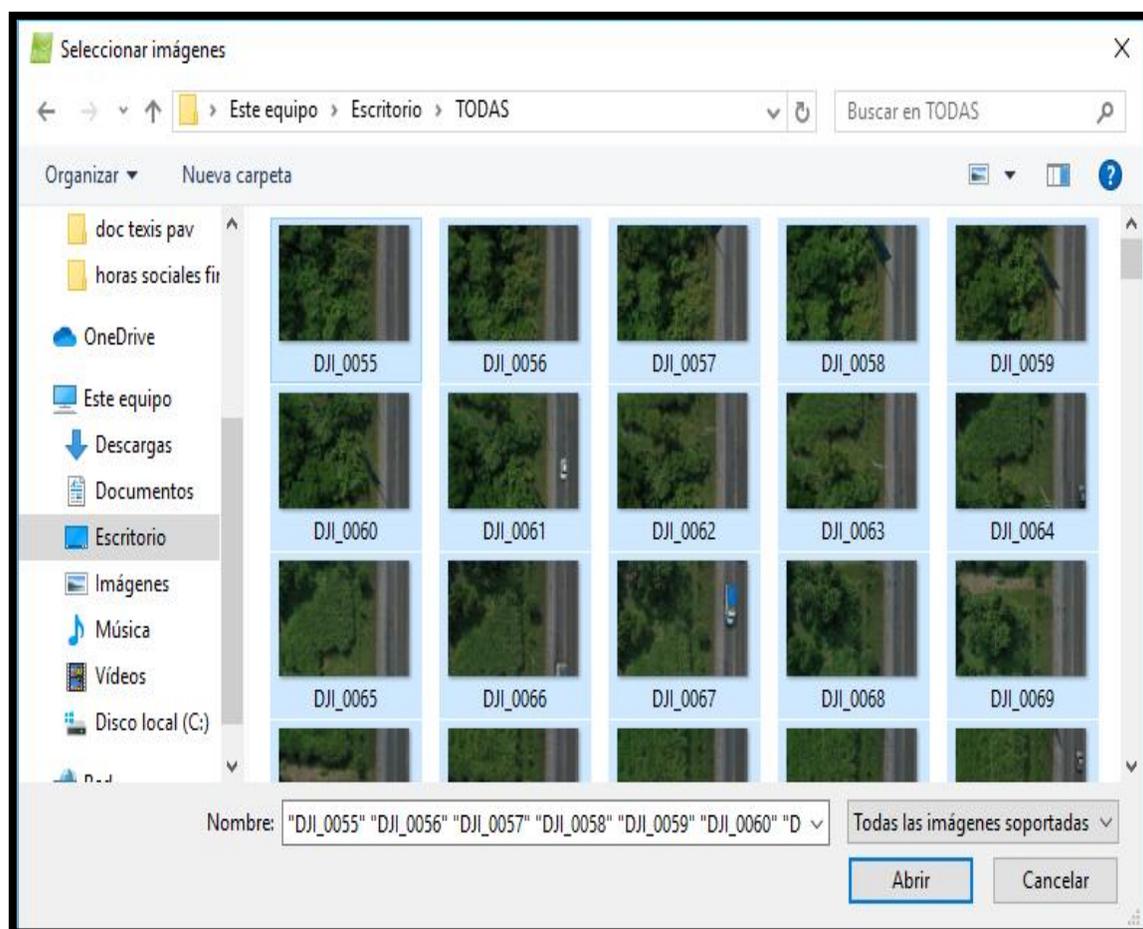


Figura 24: 3.11 Selección de las imágenes agregadas al proyecto

3.1.4.2.2 CONFIGURACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS IMÁGENES

1. Al finalizar la selección de las fotografías que serán procesadas, el software reconoce las propiedades de cada imagen tales como; sistema de coordenadas de las imágenes, geolocalización y orientación y modelo de la cámara seleccionado tal como se muestra en la figura 25: 3.12.

Propiedades de imagen

Geolocalización de imágenes

Sistema de coordenadas de las imágenes

Datum: World Geodetic System 1984; Sistema de coordenadas: WGS 84 (egm96) [Editar...]

Geolocalización y orientación

Imágenes geolocalizadas: 210 de 210 [Limpiar] [De EXIF] [De fichero...] [A fichero...]

Precisión de geolocalización: Estándar Baja Personalizada

Modelo de cámara seleccionado

L1D-20c_10.3_5472x3648(OK8TF9J0021214) (RGB) [Editar...]

Activada	Imagen	Grupo	Latitud [degree]	Longitud [degree]	Altitud [m]	Precisión Horz [m]	Precisión Vert [m]
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0055.JPG	group1	13.4342803	-88.1545875	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0056.JPG	group1	13.4342254	-88.1545754	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0057.JPG	group1	13.4341709	-88.1545626	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0058.JPG	group1	13.4341184	-88.1545504	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0059.JPG	group1	13.4340611	-88.1545378	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0060.JPG	group1	13.4340070	-88.1545247	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0061.JPG	group1	13.4339545	-88.1545132	130.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0062.JPG	group1	13.4339004	-88.1545011	130.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0063.JPG	group1	13.4338462	-88.1544881	131.000	5.000	10.000
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0064.JPG	group1	13.4337913	-88.1544757	131.000	5.000	10.000

Help [Atrás] [Siguiente] [Cancel]

Figura 25: 3.12 Propiedades de imágenes del nuevo proyecto

3.1.4.3 SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESO

1. Luego es necesario seleccionar una plantilla para procesar las fotografías. Pix4DMapper ofrece diferentes plantillas que se adaptan a las características de los proyectos, además de la opción de crear plantillas personalizadas según las necesidades del usuario. Tal como se muestra en la figura 26: 3.13.
 2. Para el presente proyecto se creó una copia de la plantilla Mapas 3D y se personalizó con las opciones de procesamiento mostradas en las figuras 27: 3.14 a 39: 3.26.
- ✓ Procesamiento inicial: figura 27: 3.14 a 29: 3.16
 - ✓ Nube de puntos y malla: figura 30: 3.17 a 32: 3.19
 - ✓ MDS, Ortomosaico e índices: figura 33: 3.20 a 39: 3.26



Figura 26: 3.13 Plantilla de opciones de procesamiento de Pix4D Mapper Pro

3.1.4.3.1 PROCESAMIENTO INICIAL

En la primera etapa del procesamiento del proyecto el software busca coincidencias entre fotografías para la creación de puntos de paso (también llamados puntos de amarre o Tie Points) que permitan generar una nube de puntos, utilizada para el modelado 3D de la superficie. El software integra la información de la geolocalización interna en las fotografías (si la poseen) y de los puntos de apoyo terrestre añadidos por el usuario, para hacer la triangulación aérea que definirá la posición de estos puntos de amarre.

Las opciones de procesamiento para la etapa inicial del proyecto son configuradas en tres pestañas como se muestra en las siguientes figuras.

Configuración general: se estableció el uso de la escala de imagen de los keypoints de 1 (tamaño original de la imagen), pues procesar a escala completa produce más precisión al proyecto, la escala de $\frac{1}{2}$ es ideal para grandes proyectos con alto grado de traslape, se puede utilizar para acelerar el procesamiento ya que, por lo general da como resultado una precisión ligeramente reducida.

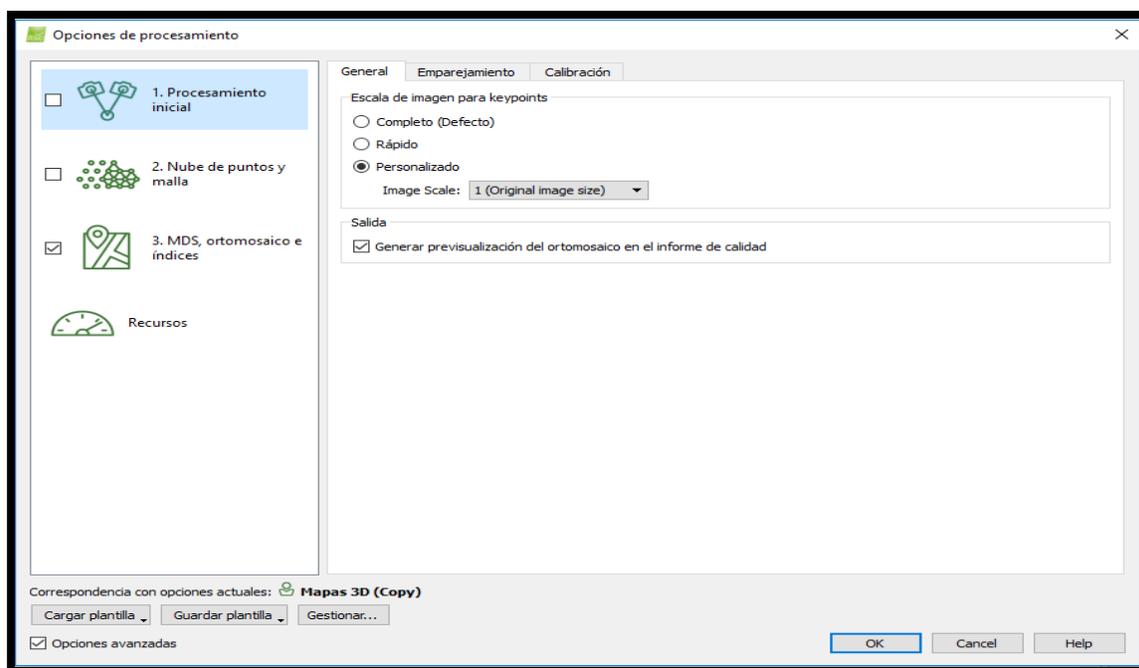


Figura 27: 3.14 Configuración general de las opciones de procesamiento inicial

Emparejamiento: En esta segunda pestaña se selecciona la opción de rejilla o corredor para la búsqueda de coincidencias entre pares de imágenes que optimiza el pareo de imágenes en este tipo de proyectos. Se activa la opción de pareo geoméricamente verificado, una opción que hace que el procesamiento sea más lento, pero con mejores resultados, ya que se tienen en cuenta las posiciones relativas de la cámara para descartar coincidencias poco realistas geoméricamente. Si no se selecciona, las coincidencias se establecen utilizando sólo el contenido de la imagen.

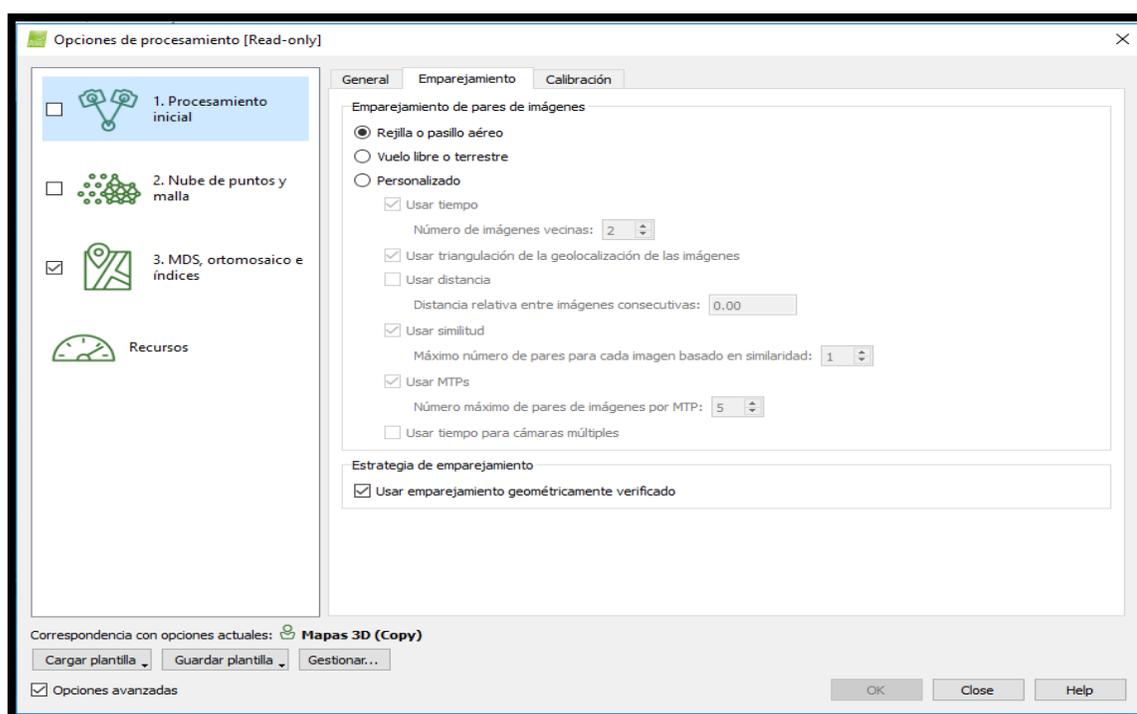


Figura 28: 3.15 Configuración general de las opciones de emparejamiento

Calibración: En la tercera pestaña se configuran las opciones para la calibración de las cámaras. Una imagen calibrada es aquella que tiene suficientes puntos clave (keypoints) que son emparejados de forma precisa con otras imágenes del proyecto. Cada coincidencia de puntos entre al menos dos imágenes permite la generación de un punto 3D.

Se configura el número previsto de keypoints en automático, esto permite que el programa seleccione de manera automática el número de keypoints que serán extraídos. Una configuración personalizada limitará el número de keypoints a la cantidad que el usuario

defina. El método de calibración seleccionado para éste proyecto es el alternativo, una opción optimizada para imágenes aéreas nadir con geolocalización exacta, bajo contenido de textura y de terreno relativamente plano, como campos.

El proyecto es configurado para optimizar todos los parámetros internos de la cámara, pues las cámaras pequeñas, como las que se utilizan con vehículos aéreos no tripulados, son mucho más sensibles a la temperatura o vibraciones, que afecta a la calibración de la cámara. También se configura para la optimización de todos los parámetros externos de la cámara, para optimizar la rotación y la posición de ésta.

Activar la opción de volver a emparejar permite al usuario añadir más coincidencias al finalizar la primera parte de la etapa de procesamiento inicial, que por lo general mejora la calidad de la reconstrucción.

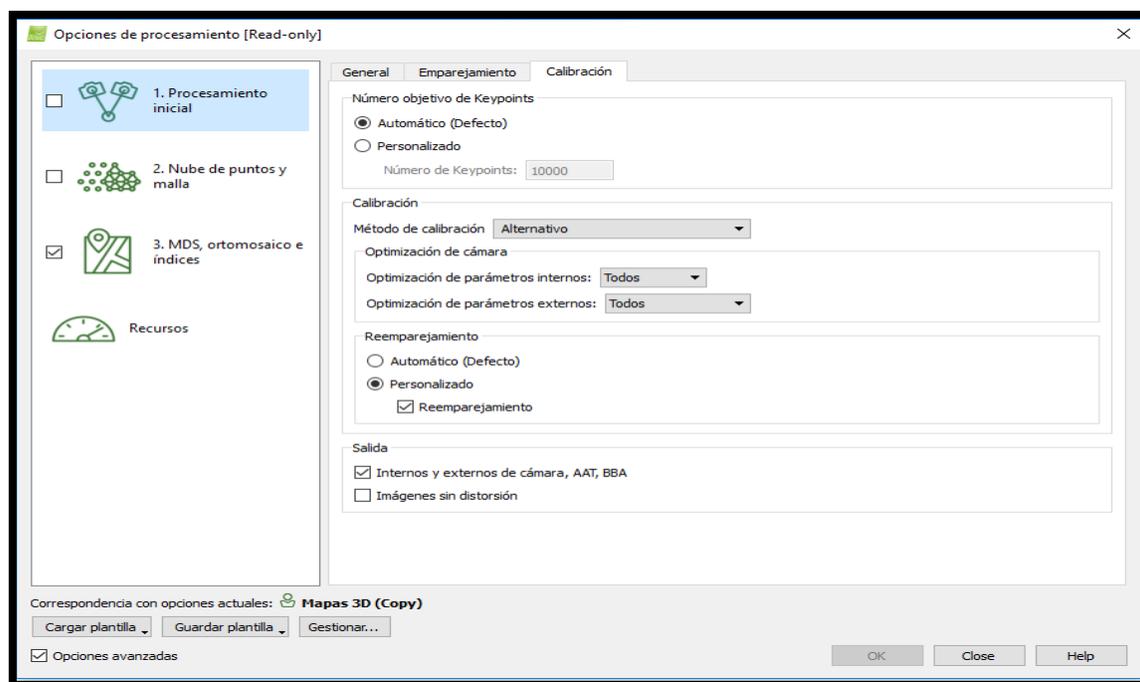


Figura 29: 3.16 Configuración general de las opciones de calibración

3.1.4.3.2 NUBE DE PUNTOS Y MALLA

La segunda etapa del procesamiento consiste en la densificación de la nube de puntos y la malla 3D texturizada. Para el proceso de densificación de la nube de puntos es considerada la escala de la imagen, la densidad de puntos deseada y la cantidad mínima de coincidencias entre fotografías para que un punto sea agregado a la nube.

La escala utilizada para el proyecto es $1/2$ del tamaño de la imagen, la escala recomendada por los desarrolladores. En este caso la mitad del tamaño de las imágenes es utilizada para calcular puntos 3D adicionales. También se configuró la plantilla del proyecto para utilizar una escala múltiple, cuando se activa esta opción, los puntos 3D adicionales se calculan en múltiples escalas de imagen, empezando con la escala de imagen elegida ($1/2$) hasta llegar a escala de $1/8$ (un octavo del tamaño de la imagen). Al estar seleccionada la escala a un medio, los puntos 3D adicionales de este proyecto se calculan en imágenes con la mitad, un cuarto y un octavo del tamaño de la imagen. Esto es útil para el cálculo de puntos 3D adicionales en las áreas de vegetación, así como mantener los detalles en áreas sin vegetación.

La densidad de la nube de puntos fue configurada para el nivel óptimo. En este nivel un punto 3D se calcula para cada $(4 / \text{Escala de la imagen})$ píxeles. Para este proyecto, con escala de un medio del tamaño de la imagen, un punto 3D se calcula para cada $4 / (0.5) = 8$ píxeles de la imagen original.

El número mínimo de coincidencias entre fotos representa la cantidad mínima de reproyecciones válidas por cada punto 3D a las imágenes. Para este proyecto fue definido 3 como valor mínimo.

Los formatos de salida elegidos para exportar la nube de puntos densificada son el formato LAS y el XYZ delimitado por comas.

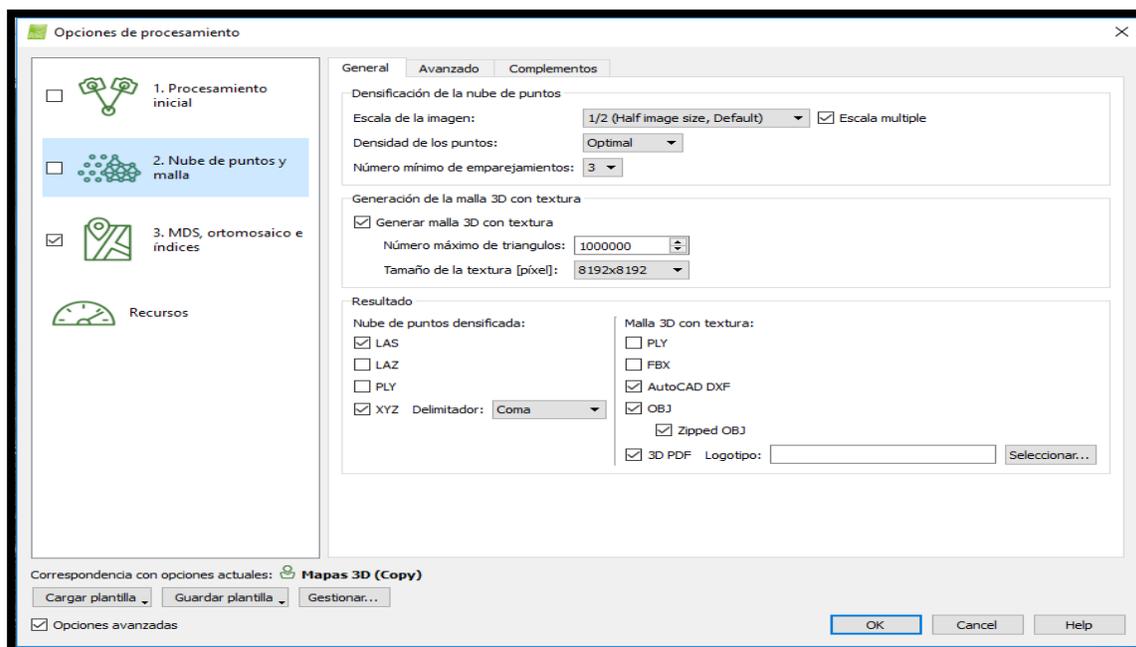


Figura 30: 3.17 Configuración general del procesamiento de la nube de puntos y malla

Creación de la malla 3D texturizada, los formatos de salida seleccionados para exportar la malla 3D texturizada son FBX, DXF, OBJ y PDF 3D.

Opciones avanzadas: Permiten elegir el tamaño de la ventana de emparejamiento, en este caso de 7x7 píxeles, opción de procesamiento rápido recomendada para imágenes aéreas nadir; también permite elegir qué grupos de imágenes serán considerados para la densificación de la nube de puntos, además de la geometría y textura de la malla. En este proyecto se cuenta con un único grupo de imágenes (group1) que será incluido en todo el procesamiento.

Una posibilidad que ofrecen las opciones avanzadas es activar el uso de filtros para la densificación de la nube de puntos, como el uso de un área de procesamiento preestablecida, que limita el área a considerar en el procesamiento, permitiendo acortar el tiempo de la densificación y creación de la malla, además de omitir contenido no deseado. Otro filtro es el uso de anotaciones, para imágenes que tienen contenido que no desea ser incluido en la nube de puntos.

Una parte importante en esta etapa es la clasificación de la nube de puntos entre terreno y objetos, una opción que se encuentra en etapa de desarrollo (fase beta) para la etapa de

procesamiento de este proyecto. Esto permite identificar en la nube de puntos todo lo que no sea parte del terreno (edificios, árboles, vehículos, etc.) para posteriormente separarlo del modelo.

La clasificación de la nube de puntos entre terreno y objetos fue configurada para que todo punto con una longitud entre 0.1m y 400m con elevación de 0.1m en adelante sea considerado como un objeto.

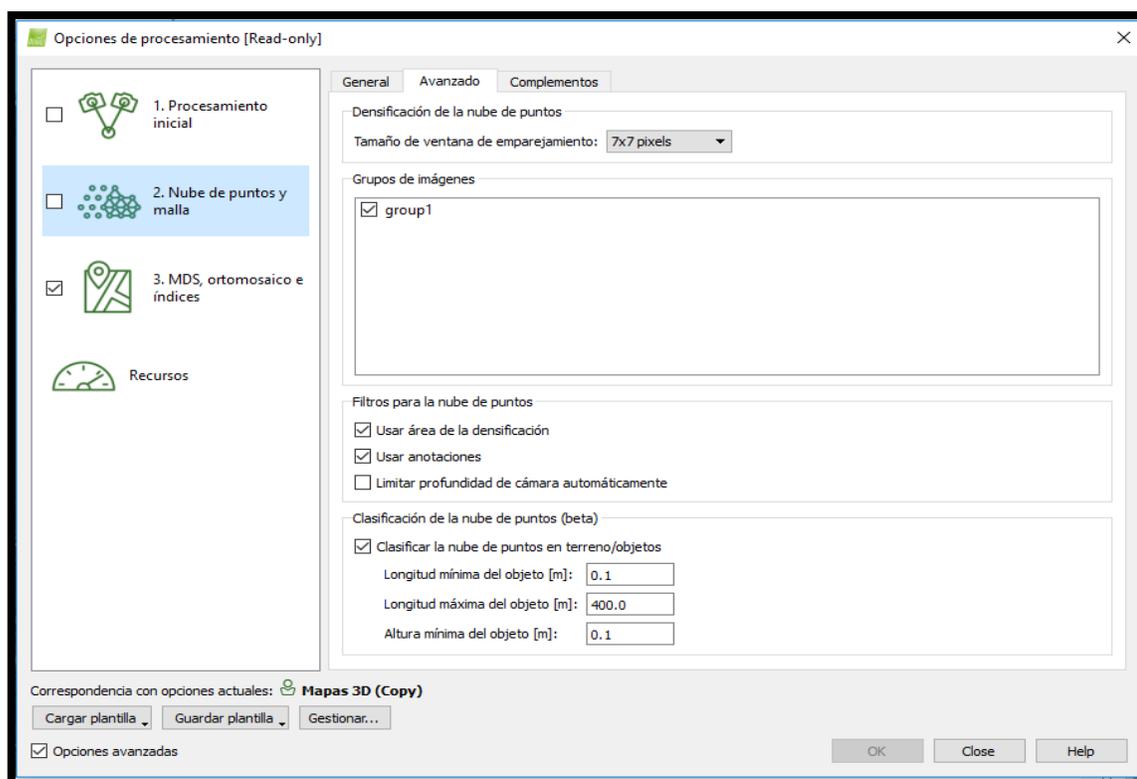


Figura 31: 3.18 Configuración avanzada del procesamiento de la nube de puntos y malla

Complementarios: Esta tercera pestaña permite al usuario la activación de un add-on para la densificación de la nube de puntos, un complemento de pago que optimiza el procesamiento de imágenes con resolución mayor a 40MP, utilizando un algoritmo de coincidencia semiGlobal para la densificación de nubes de puntos desarrollado por Pix4D.

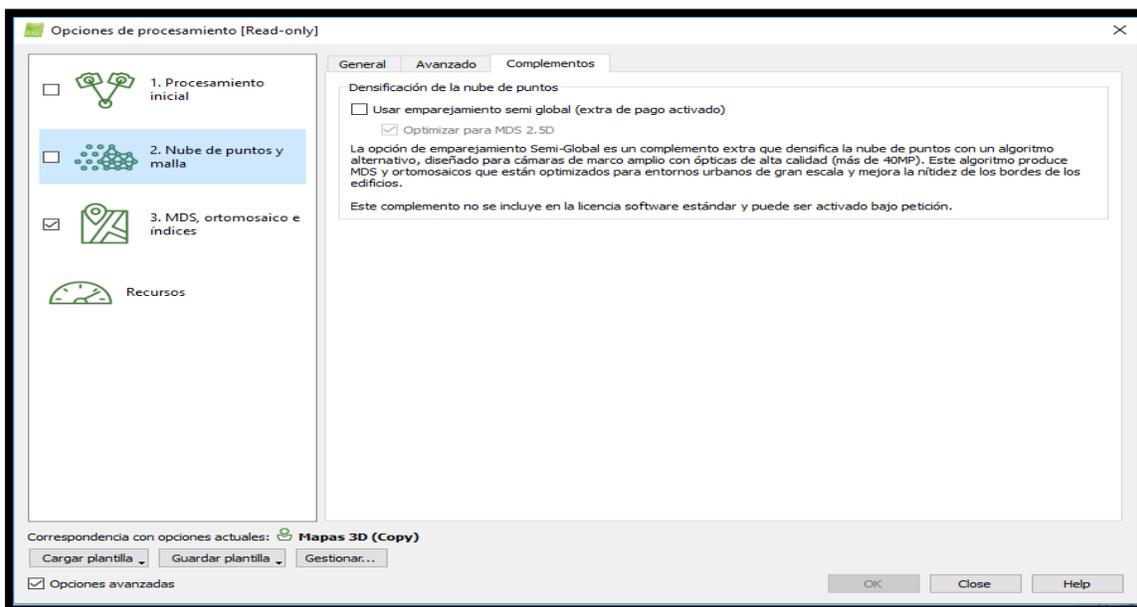


Figura 32: 3.19 Complementarios de la nube de puntos y malla

3.1.4.3.3 MDS, ORTOMOSAICO E ÍNDICES

En esta etapa del procesamiento son creados el modelo digital de superficie (DSM) en diferentes formatos de salida, el ortomosaico y el mapa de reflectancia y mapas de índice.

La pestaña MDS y ortomosaico de la configuración de la tercera etapa permite al usuario configurar las opciones de procesamiento y salidas deseadas para el modelo digital de superficie y el ortomosaico.

La resolución asignada automáticamente al ortomosaico y MDS es el GSD, pudiendo usarse múltiplos de éste. Para el proyecto pavimento flexible el valor de la resolución será el GSD.

El uso de filtros para el MDS permite mejorar la calidad visual del modelo. La generación de la nube de puntos puede conducir a puntos ruidosos y erróneos, el filtrado de ruido corrige la altitud de estos puntos con la altitud media de los puntos vecinos.

Una vez que se ha aplicado el filtro de ruido, se genera una superficie usando los puntos. Esta superficie puede contener áreas con pequeñas protuberancias erróneas. El suavizado de

superficie corrige estas áreas mediante el aplanamiento de ellos. Esta sección permite al usuario configurar los siguientes parámetros:

Sharp (por defecto): Trata de mantener la orientación de la superficie y mantener rasgos afilados, tales como esquinas y bordes de los edificios. Sólo áreas cuasi planas son aplanadas.

Smooth: Intenta suavizar áreas, asumiendo que existen rasgos afilados debido al ruido y que deben ser eliminados. Las áreas que no son muy planas se suavizan y se convierten planas.

Medium (Seleccionado en proyecto pavimento flexible): Este es un compromiso entre las otras dos opciones. Se trata de preservar rasgos afilados, mientras que suaviza las superficies en áreas más o menos planas.

En la sección Ráster MDS el software permite al usuario seleccionar si se generará el ráster MDS y el método con el que se generará.

GeoTIFF (activado por defecto): Guarda el MDS como un archivo GeoTIFF. Para la mayoría de los proyectos el MDS se divide en varias teselas y se genera un archivo GeoTIFF por tesela.

El método que se utiliza para la generación del ráster DSM afectará el tiempo de procesamiento y la calidad de los resultados.

Ponderación de distancia inversa: El algoritmo de ponderación de la distancia inversa se utiliza para interpolar entre puntos. Este método se recomienda para edificios.

Triangulación: Es utilizado el algoritmo de triangulación basado en triangulación de Delauney. Este método se recomienda para las zonas planas (campos de la agricultura) y las pilas de materiales. Este método es seleccionado para la creación del ortomosaico de éste proyecto, pues el área con edificios es muy poca y el relieve del área cubierta es bastante plano.

La opción fusionar teselas (activada por defecto) genera un solo archivo MDS GeoTIFF mediante la fusión de las teselas individuales. Cuando esta opción no está seleccionada, no se genera el archivo MDS fusionado.

Activar la opción GeoTIFF sin transparencia permite generar adicionalmente un ortomosaico sin transparencias, donde la transparencia es sustituida por el color negro.

La opción teselas de Google Maps y KML permite generar los archivos de salida para visualización del ortomosaico en Google Maps o Google Earh, así como en Mapbox si es seleccionada.

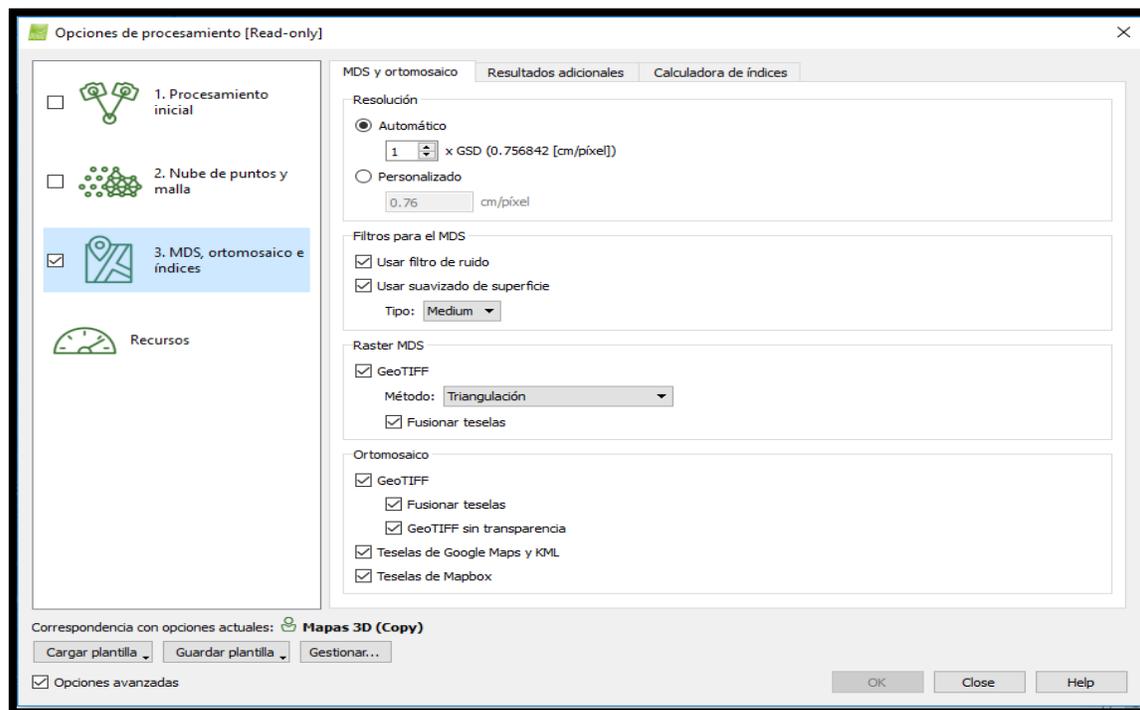


Figura 33: 3.20 Configuración del MDS y ortomosaico

En la pestaña resultados adicionales se selecciona si se desea obtener una grid del MDS y los formatos en que se generará ésta. También es posible generar curvas de nivel en diferentes formatos, y definir los parámetros para su creación, como se muestra en la figura.

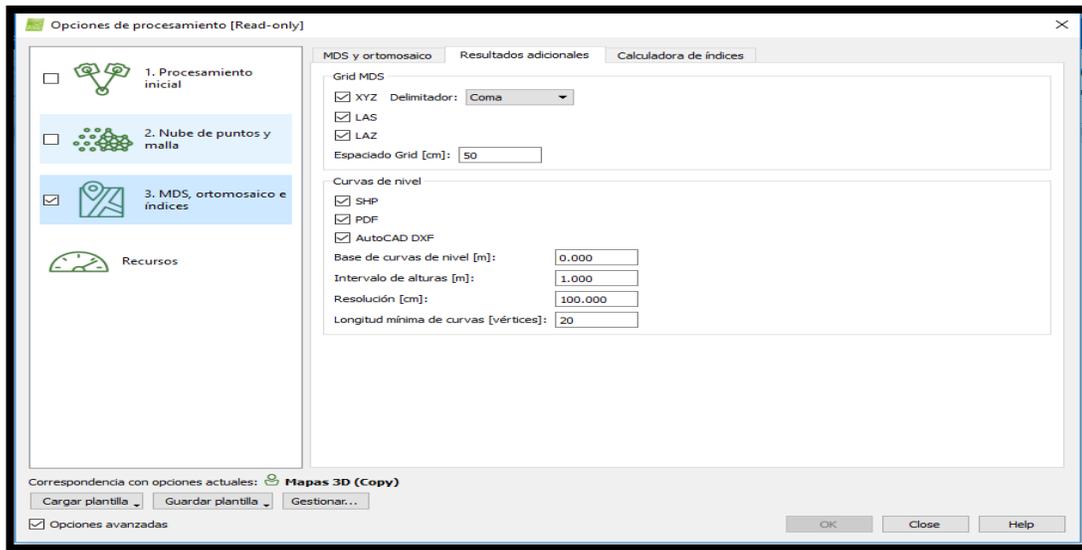


Figura 34: 3.21 Configuración de los resultados adicionales

La calculadora de índices no fue utilizada en este proyecto, por tanto, no fueron cambiadas las opciones de configuración predeterminadas.

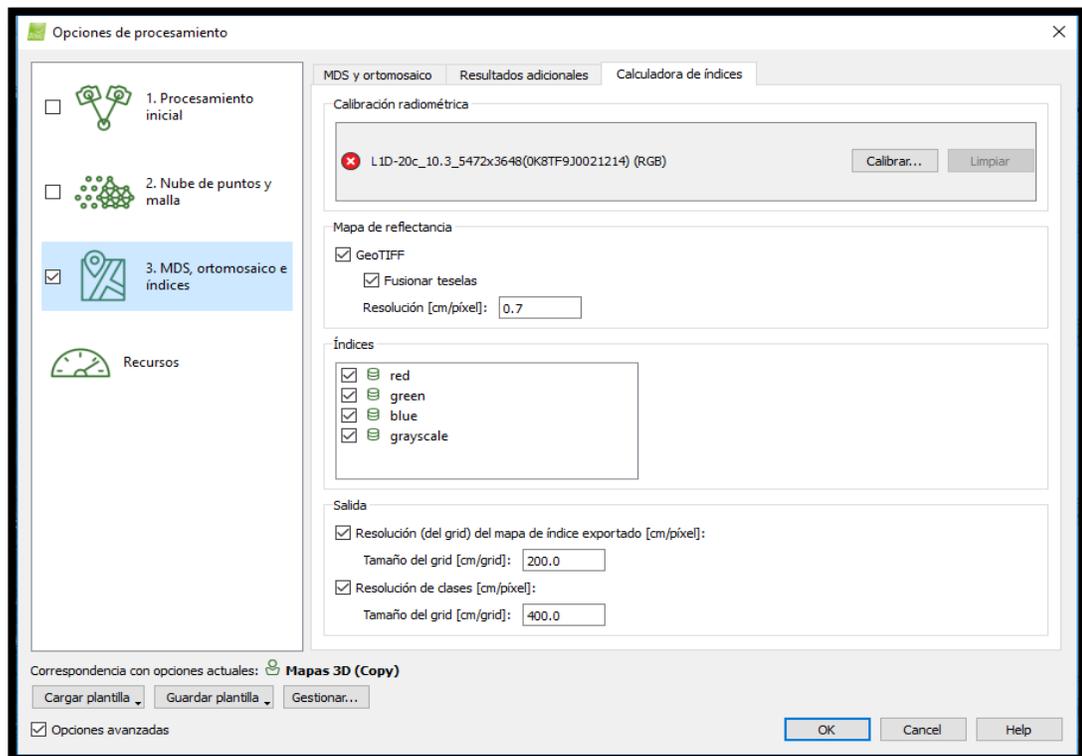


Figura 35: 3.22 Configuración de la calculadora de índices

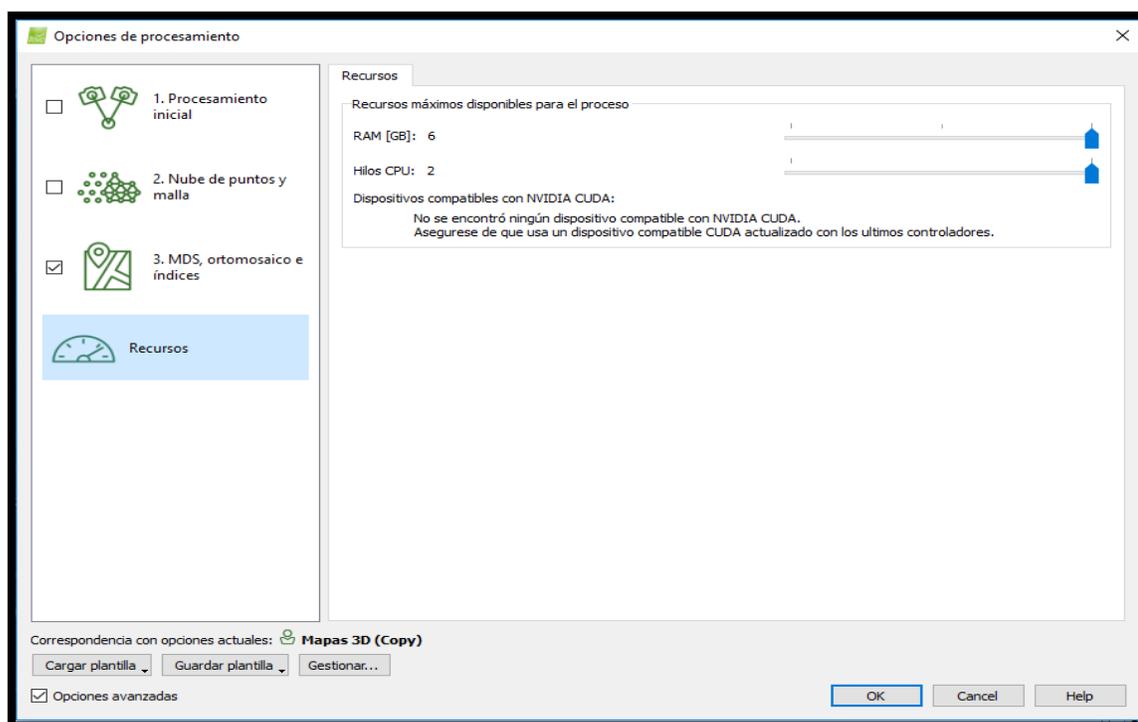


Figura 36: 3.23 Recursos máximos disponibles para el proceso

3.1.4.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS DE SALIDA / GCP

1. Al crear un proyecto en Pix4D Mapper debe elegirse el sistema de coordenadas de salida de los productos del procesamiento de las imágenes, además del sistema en que serán añadidos GCPs o check points.
2. El sistema de coordenadas para la proyección Lambert en El Salvador existente en la base de datos de Pix4DMapper utiliza como datum Ocotepeque 1935, por lo que no es compatible con el sistema utilizado actualmente en El Salvador, que utiliza como datum NAD 27.
3. Para el procesamiento de nuestro proyecto se seleccionó como sistema de coordenadas de salida y de los puntos de apoyo terrestre WGS84 / UTM zona 16N, proyección UTM para la zona 16 norte, que usa el elipsoide WGS84 como modelo base, tal como se muestra en la figura 3.24.

4. Debido a lo anterior fue necesario convertir los puntos de apoyo de la tabla 3.1, utilizando el programa Geographic Calculator, a manera de ejemplo se muestra en la figura 3.25 la conversión del punto 6 llamado PAD6 de Lambert 3 parametros el salvador a WGS-84/UTM ZONA 16N.

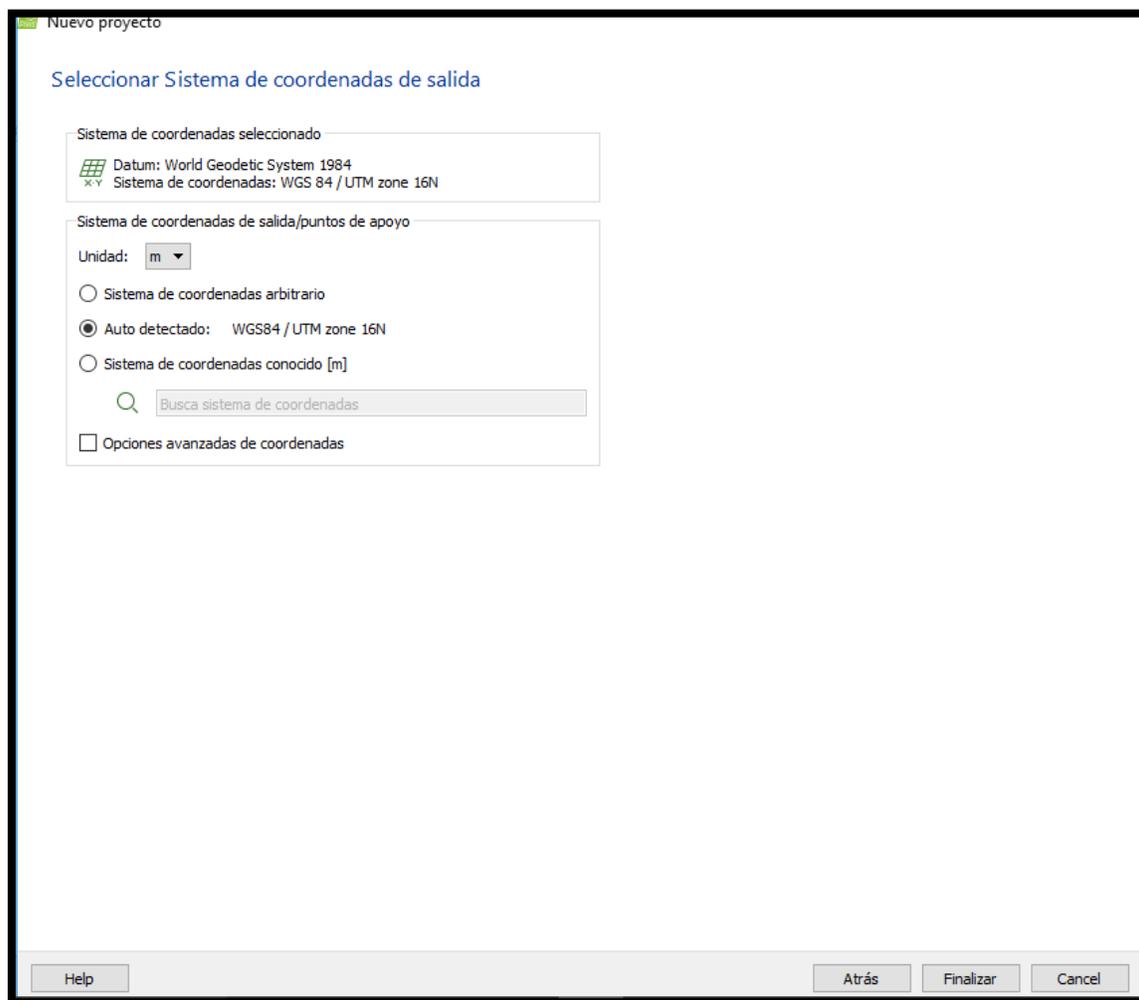


Figura 37: 3.24 Selección del sistema de coordenadas de salida

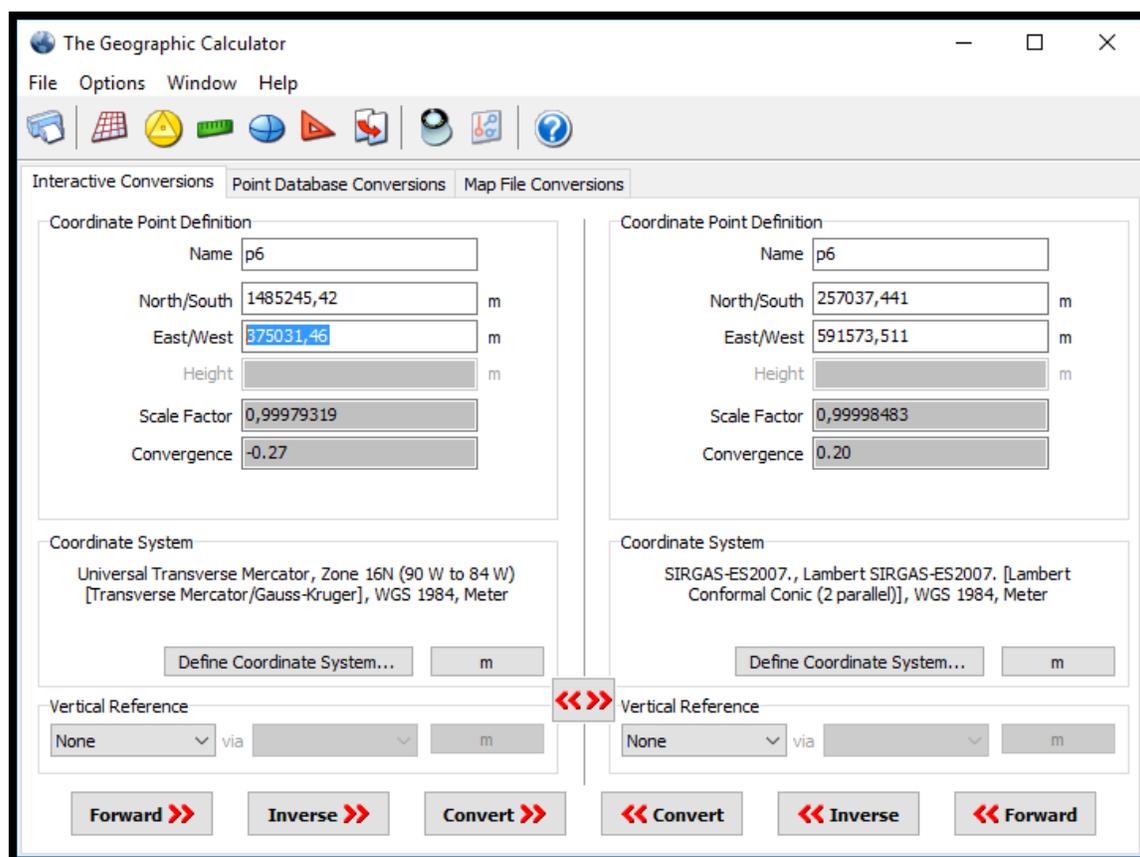


Figura 38: 3.25 Conversión de los puntos de apoyo en Lambert 3 parámetros El Salvador a WGS-84/UTM ZONA 16N.

3.1.4.5 PUNTOS DE CONTROL DE TIERRA (GCPS)

Este método funciona para cualquier caso, no importa el sistema de coordenadas de las imágenes o GCP coordinar, pero requiere más tiempo para marcar el GCP en las imágenes. La ventaja de este método es que después de importar las imágenes y los GCP, el tratamiento se puede realizar sin ninguna intervención por parte del usuario.

Es la mejor opción cuando se desea hacer el procesamiento sin ningún tipo de supervisión durante gran parte del tiempo. Sin embargo, se requiere más intervención manual para marcar el GCP en las imágenes.

INSTRUCCIONES

1. Obtener GCPs mediante mediciones en el campo o a través de otras fuentes.

2. Añadir (importar) todos los GCP con el Gestor GCP / MTP, figuras 39: 3.26 y 40: 3.27.
3. Marcar el GCP en las imágenes con el Editor GCP / MTP, figuras 41: 3.28 a 43: 3.30.
4. Procesar las tres etapas de procesamiento

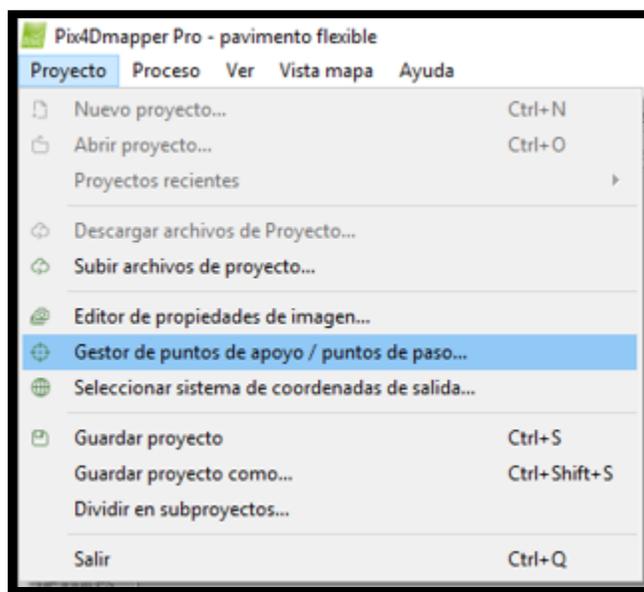


Figura 39: 3.26 Opciones del menú proyecto

Se adquirieron 6 puntos de apoyo topográfico en el terreno, pero solo se utilizaron 3 puntos de la tabla 4: 3.1 en el procesamiento de las imágenes: el punto PAD4, PAD6 y PBI3, esto debido a que poseían mayor precisión, ya que al utilizar las 6 GCP nos daba error en el reporte de calidad del programa en la opción de georreferenciación⁷ y de esta manera se pudo solucionar utilizando los GCP más precisos.

El punto de apoyo PAD4 Fue marcado en 12 imágenes distintas, el PAD6 en 13 y el PBI3 en 14 tal como se muestra en la figura 41: 3.28 a 43: 3.30.

⁷ Revisar 3.4.6 literal a) Análisis del reporte de calidad y b) Solución de problemas detectados en el reporte de calidad.

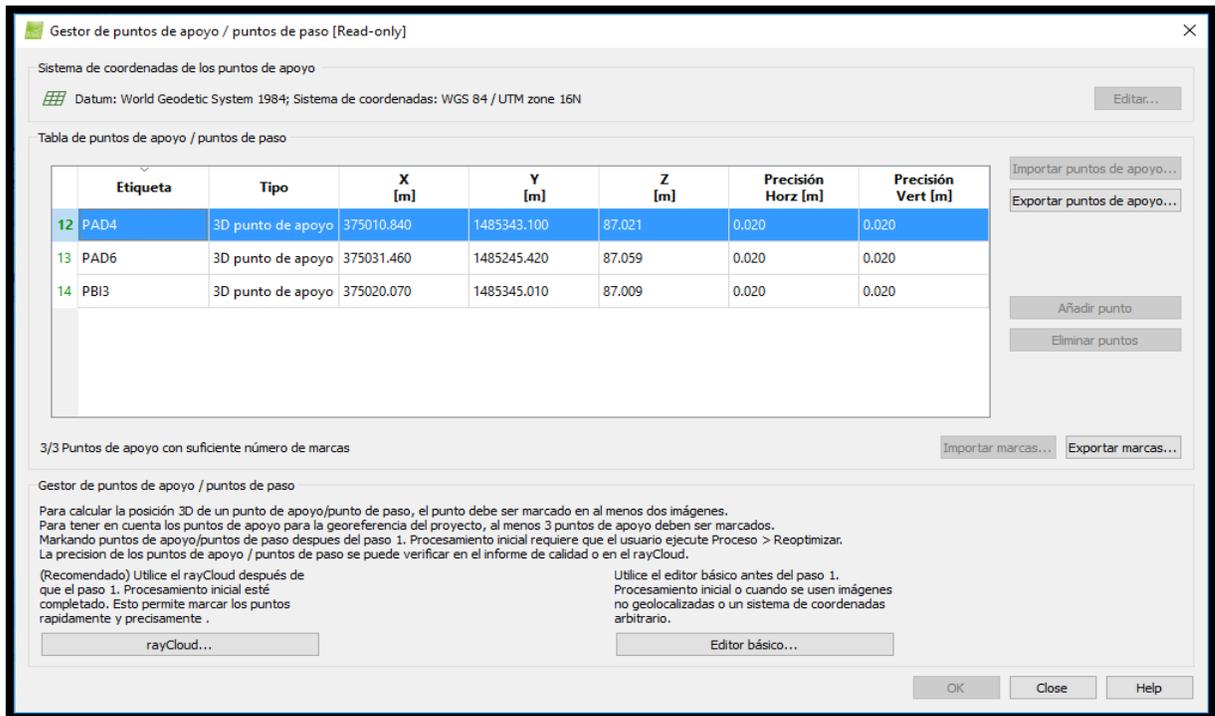


Figura 40: 3.27 Gestor de puntos de apoyo / puntos de paso

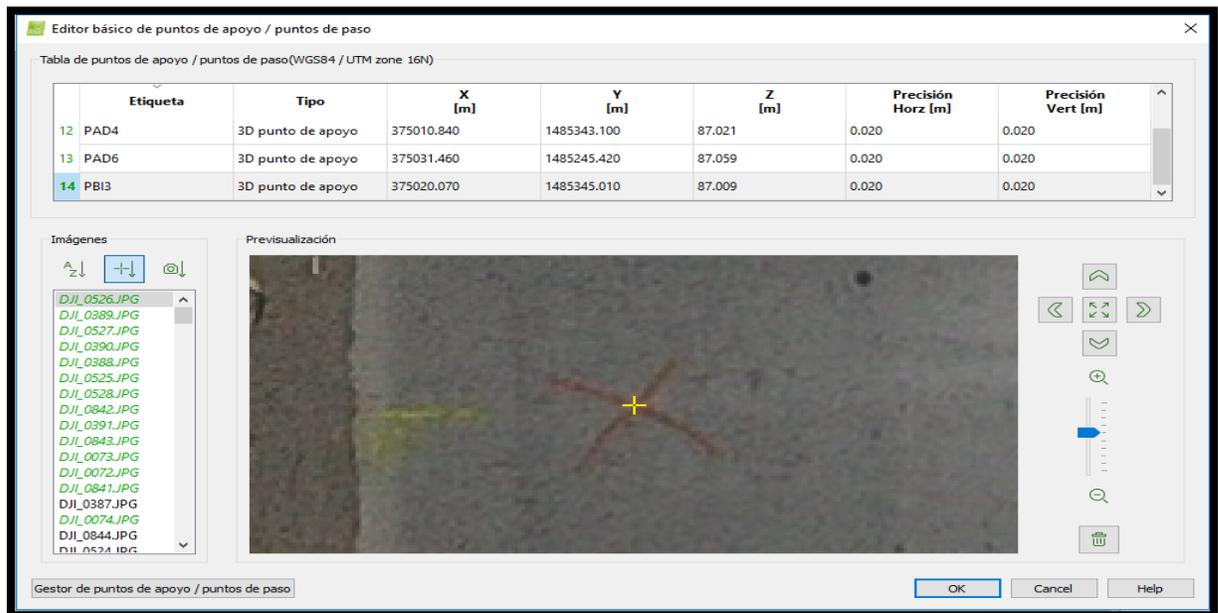


Figura 41: 3.28 Marca del GCP (PBI3) en las imágenes con el Editor GCP / MTP Básico

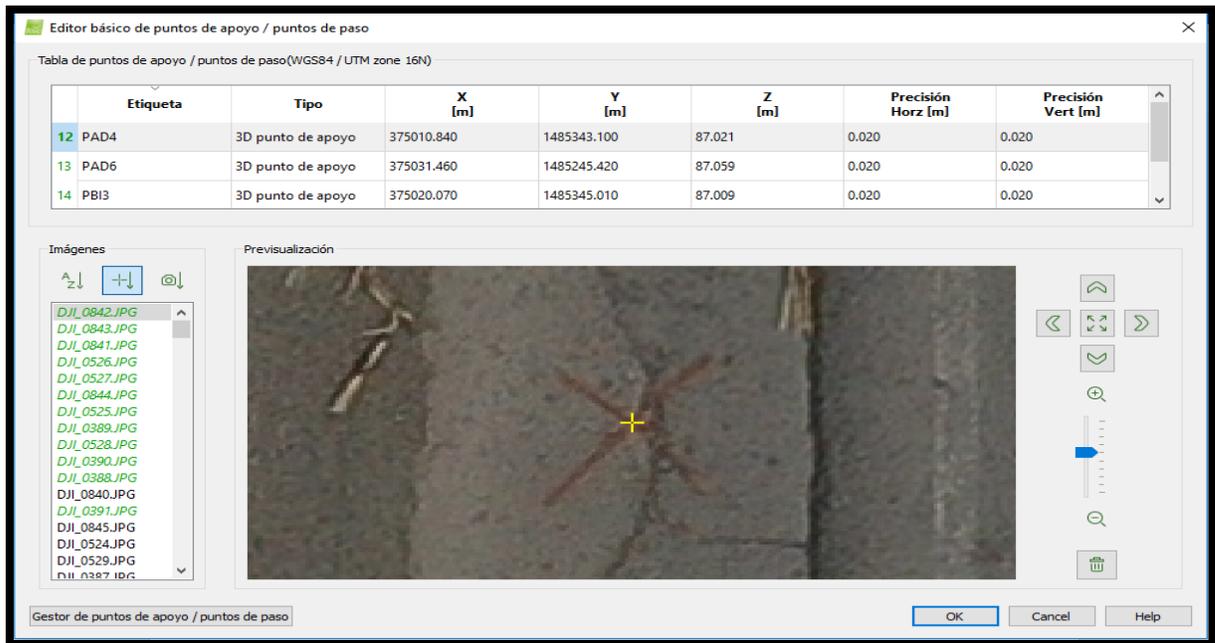


Figura 42: 3.29 Marca del GCP (PAD4) en las imágenes con el Editor GCP / MTP Básico

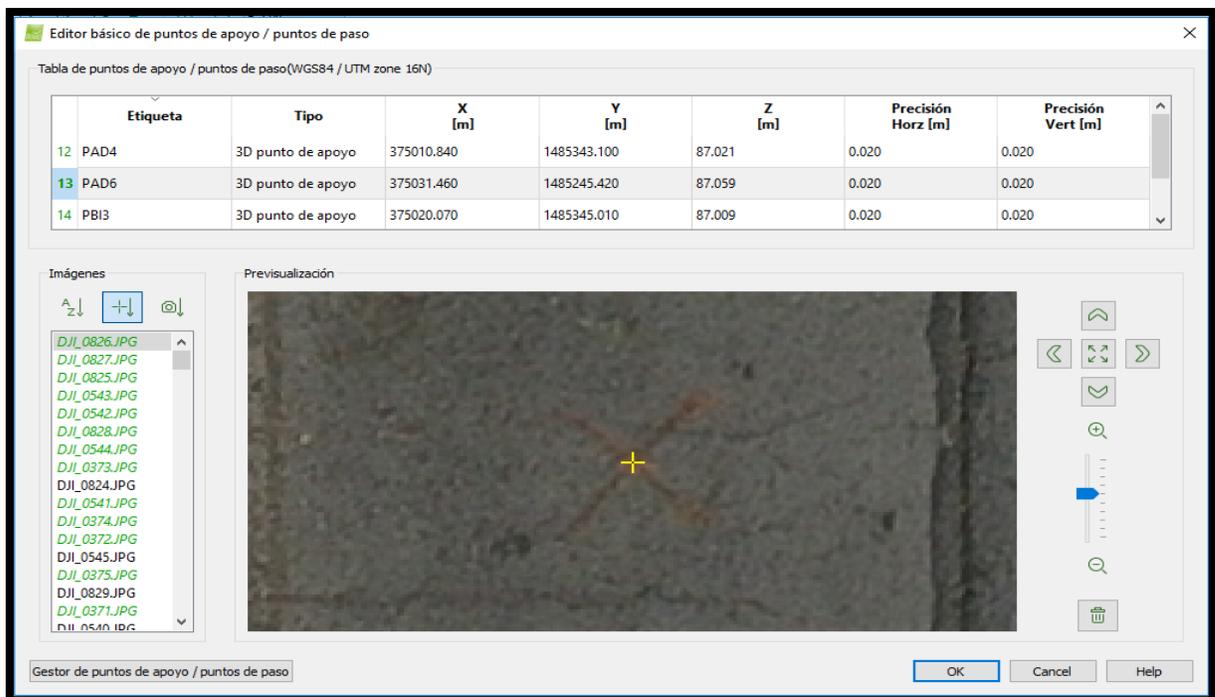


Figura 43: 3.30 Marca del GCP (PAD6) en las imágenes con el Editor GCP / MTP Básico

3.1.4.6 PROCESAMIENTO INICIAL

La etapa inicial del procesamiento en Pix4D consiste en la aerotriangulación de las imágenes digitales, usando la información de georreferencia de éstas, obtenida del GPS interno del vehículo aéreo no tripulado y/o de puntos de apoyo terrestre.

Una vez que ha sido configurada la plantilla que se utilizara en el proyecto e ingresado los puntos de apoyo terrestre se procedió a realizar el procesamiento inicial, obteniendo una pequeña nube de puntos como se aprecia en la figura 44: 3.31.

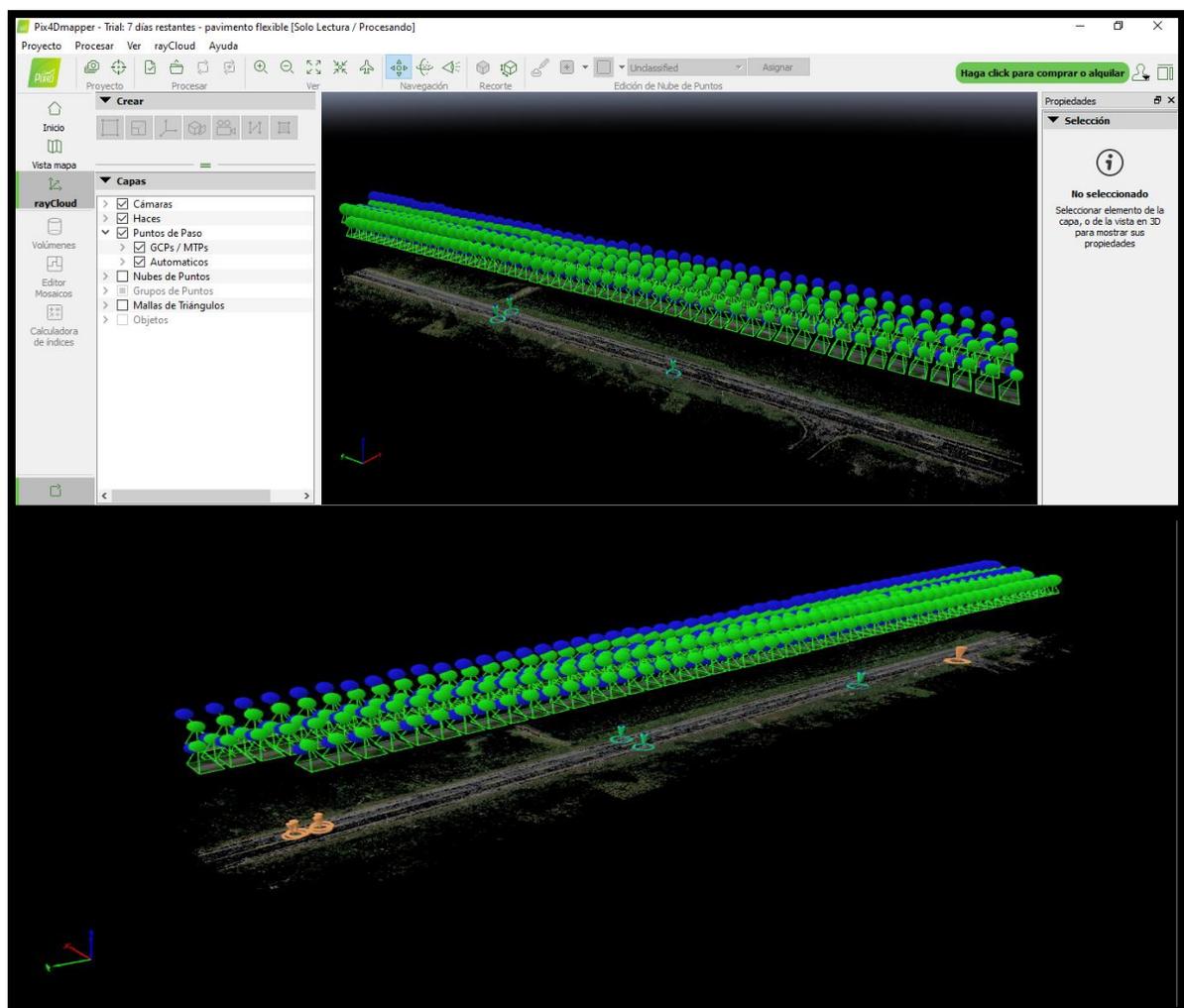


Figura 44: 3.31 Procesamiento inicial

Fuente: Grupo de tesis

A) Análisis del reporte de calidad

El reporte de calidad del proyecto muestra un resumen de las características del proyecto, vistas preliminares del ortomosaico y el DSM, y detalles de la calibración y geolocalización de las imágenes, entre otros.

Es importante revisar los resultados mostrados en este reporte, prestando atención a los parámetros del apartado Control de Calidad, que son los siguientes:

- **Imágenes:** Una marca de verificación verde indica que las imágenes tienen suficiente contenido visual para ser procesadas. Una advertencia amarilla o roja indica que no hay mucho contenido visual que podría ser extraído de las imágenes. Esto puede conducir a un bajo número de coincidencias en las imágenes y una reconstrucción incompleta o resultados de baja calidad.
- **Conjunto de datos:** Una marca de verificación verde indica que más del 95% de las imágenes habilitadas fueron calibradas en un bloque. Una advertencia amarilla indica que entre el 60% y el 95% de las imágenes habilitadas fueron calibradas o que más del 95% de las imágenes habilitadas fueron calibradas en varios bloques. Una advertencia roja indica que menos del 60% de las imágenes habilitadas fueron calibradas.
- **Optimización de la cámara:** Una marca de verificación verde indica en lentes con control de perspectiva que el porcentaje de la diferencia entre la longitud focal inicial y la optimizada es menor que 5%, mientras que en lentes de ojo de pez indica que el porcentaje de diferencia entre los parámetros iniciales y optimizados de transformación afines a C y F es menor que 5%. Una advertencia en color amarillo indica que el porcentaje de diferencia entre los parámetros mencionados anteriormente se encuentra entre 5% y 20%, mientras que una advertencia en color rojo indica que este valor es mayor que el 20%, lo que produce un error en el procesamiento.
- **Pareo:** Una marca de verificación en color verde indica que los resultados son susceptibles a ser de alta calidad en las áreas calibradas. Una señal de advertencia en color amarillo o rojo indica un bajo número de pareos entre las imágenes calibradas, lo que indica que los resultados podrían no ser muy fiables.

- **Georreferenciación:** Una marca de verificación en color verde indica que han sido usados GCPs y el error de estos es menor que el GSD promedio. Una advertencia en color amarillo indica que se han usado GCPs con un error menor a dos veces el GSD promedio o que no han sido usados GCPs en el proyecto. Una advertencia en color rojo indica que han sido usados GCPs, pero su error es mayor que dos veces el GSD promedio

Quality Report

Generated with Pix4Dmapper Pro version 2.0.104 

Important: Click on the different icons for:

-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary 

Project	pavimento flexible
Processed	2020-06-05 09:57:54
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.74 cm / 0.29 in
Area Covered	0.0201 km ² / 2.0074 ha / 0.0078 sq. mi. / 4.963 acres

Quality Check 

 Images	median of 56840 keypoints per image	
 Dataset	210 out of 210 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	2.04% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 10314.8 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMS error = 0.008 m	

Figura 45: 3.32 Vista parcial del reporte de calidad.

(Reporte completo en Anexo 1)

B) Solución de problemas detectados en el reporte de calidad

- Para corregir errores cuando el parámetro Imágenes no da resultados óptimos se recomienda repetir la etapa de adquisición de imágenes y cambiar la altura de vuelo, incrementar el traslape o mejorar la calidad de la imagen.
- Si en la sección Conjunto de datos el porcentaje de imágenes no calibradas es menor al 95% se recomienda revisar si el traslape entre imágenes es bajo e incrementarlo, aumentar la altitud en caso de conjuntos de datos con muchos árboles o en campos, eliminar imágenes que hayan sido tomadas desde la misma posición o durante el despegue o aterrizaje y ajustar los parámetros de la cámara para mejorar su calidad. Si se han calibrado las imágenes en más de un bloque se recomienda reoptimizar, añadir MTPs entre bloques y reemparejar, o incrementar el traslape entre imágenes.
- Si se presenta una advertencia amarilla o roja en la sección Optimización de la cámara es necesario revisar si en la sección Conjunto de datos el porcentaje de imágenes calibradas es mayor al 50%, si es así será necesario repetir el procesamiento inicial con los parámetros optimizados de la cámara cargados; si el valor es menor al 50% puede haber un problema en el proyecto: el modelo inicial de la cámara no se ha introducido correctamente, el traslape entre fotografías es muy bajo o las fotografías tienen mala geolocalización.

Para cargar los parámetros optimizados de la cámara:

1. Haga clic en Proyecto > Editor de Propiedades de la imagen
2. En la sección Modelo de cámara seleccionado haga clic en Editar
3. En la sección Modelo de la cámara, haga clic en Nuevo.
4. En la sección Modelo de la cámara, cambie el nombre del modelo, añadiendo un sufijo que indique que los parámetros son optimizados para ese proyecto.
5. En los parámetros del modelo de cámara, haga clic en Cargar parámetros optimizados

6. Haga clic en Aceptar y en NO cuando se muestren dos ventanas emergentes luego de eso. Se recomienda seleccionar la opción NO ante esas dos ventanas pues los parámetros cargados son optimizados para un proyecto en particular y no deberían ser utilizados en proyectos diferentes.

7. Haga clic en aceptar y repita la etapa inicial del procesamiento

- Cuando los resultados del pareo de puntos entre imágenes no sean los deseados puede ser necesario repetir la etapa inicial un par de veces con diferentes configuraciones (modelo de cámara, MTPs) para obtener más coincidencias. Para evitar esta situación, se recomienda para adquirir imágenes con un traslape más sistemático.
- Si hay una señal de advertencia amarilla en la sección Georreferenciación y han sido usados GCPs se recomienda verificar que las marcas han sido bien colocadas en al menos tres imágenes. Si no fueron usados GCPs hay que estar conscientes de que el modelo será menos preciso y podría estar desplazado varios metros debido a la imprecisión de algunos GPS.
- Si la señal de advertencia en la sección Geolocalización es de color rojo, el conjunto de puntos de apoyo terrestre podría tener un grave error, aunque es más probable que se hayan marcado los GCPs de forma errónea.

3.1.4.7 NUBE DE PUNTOS DENSA

Luego del análisis del reporte de calidad del proyecto y de la corrección de errores (si se presentan) se procede a la ejecución de la segunda etapa del procesamiento del software, donde se realiza la densificación de la nube de puntos y la creación de la malla 3D texturizada. En la barra de procesamiento se inicia el trabajo seleccionando únicamente la opción 2. Nube de puntos y malla, figura 46: 3.33.

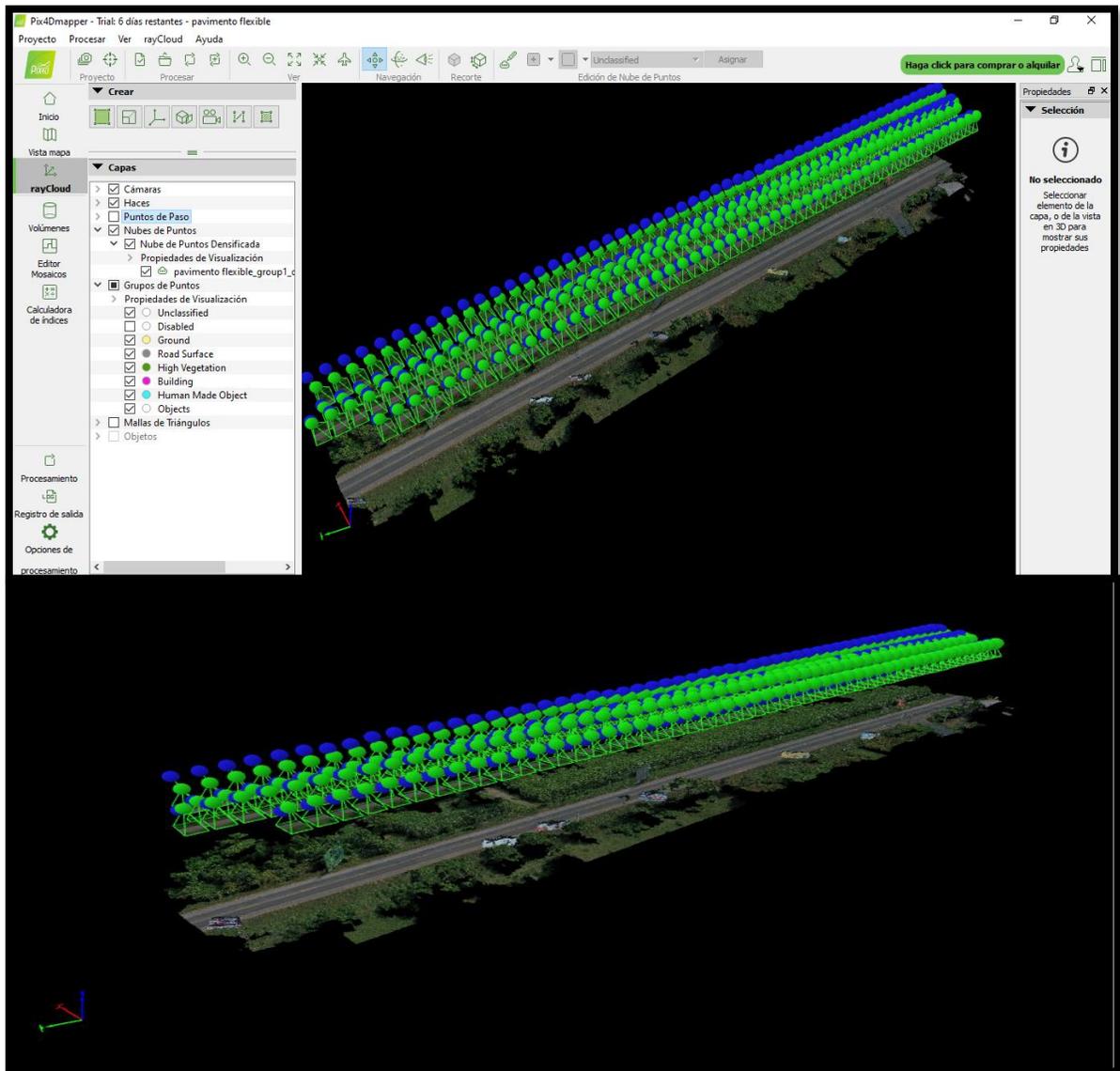


Figura 46: 3.33 Creación de nube de puntos densificada

Fuente: Grupo de tesis

Luego, realiza la triangulación entre puntos para generar la malla que da como resultado un modelo 3D digital de la zona de estudio como se aprecia en la figura 47: 3.34. En este modelo se pueden realizar mediciones de longitud y área, así como también medir profundidades de las diferentes fallas del pavimento.

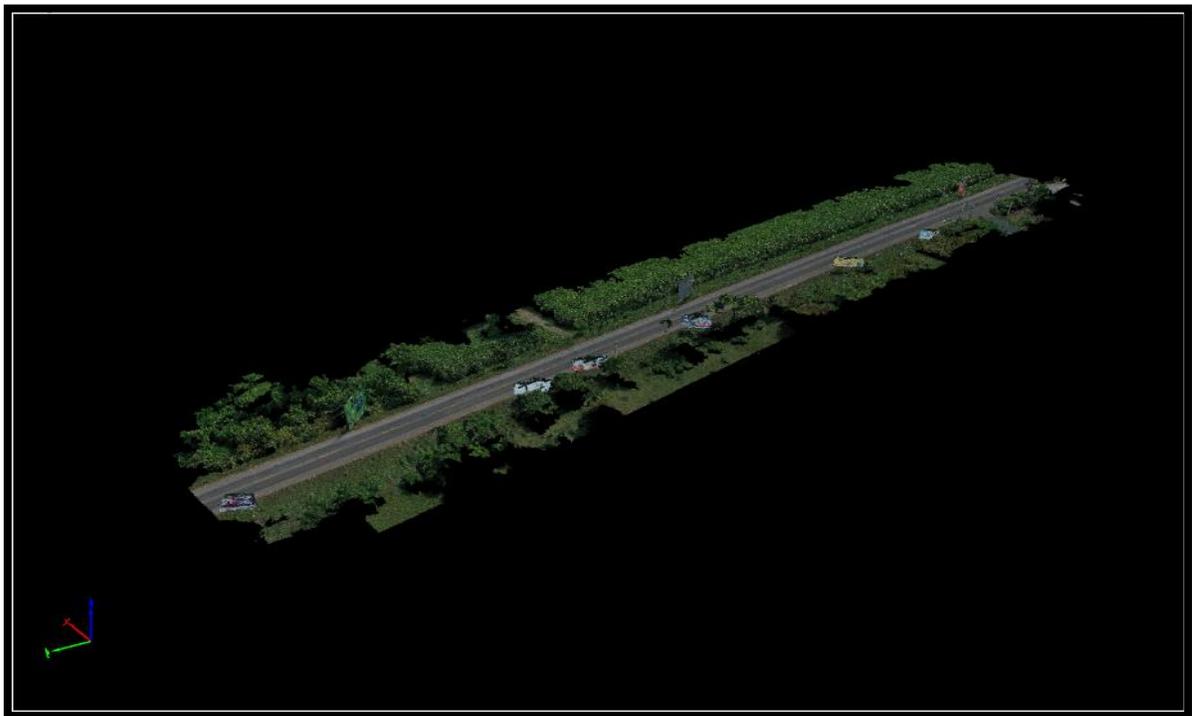
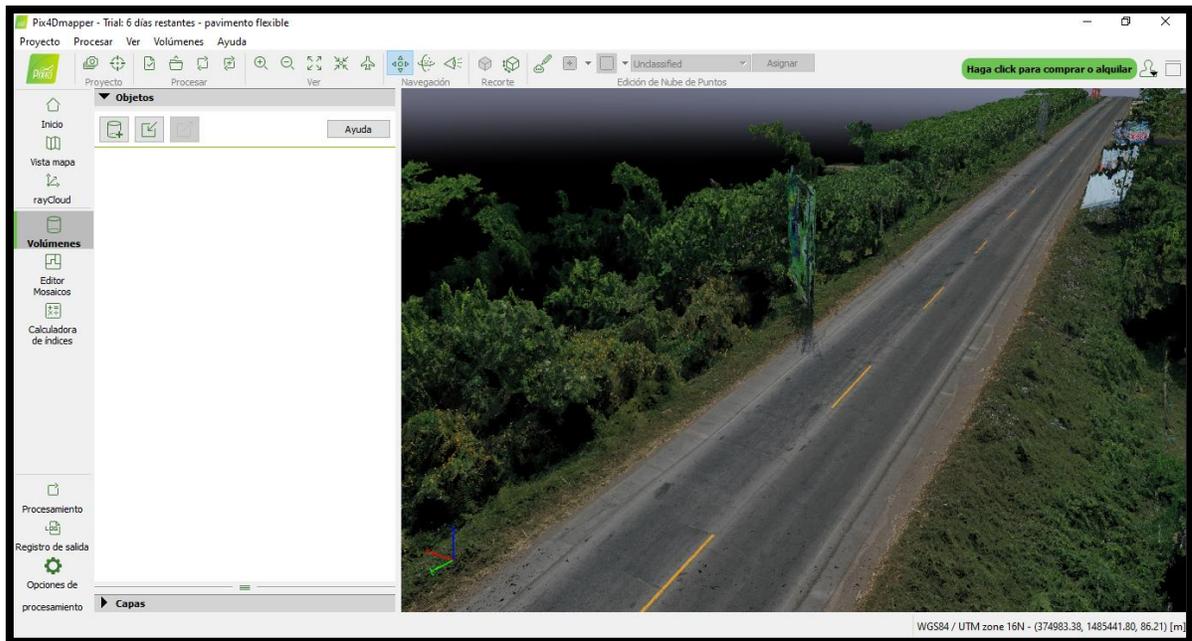


Figura 47: 3.34 Modelo digital 3D

Fuente: Grupo de tesis

3.1.4.8 ORTOFOTO Y MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE

Se obtiene la ortofoto georreferenciada de toda la zona de estudio con una gran resolución como se aprecia en la figura 48: 3.35.

Archivos de Salida: Geotiff (ráster dsm, ortomosaico)

GeoTIFF es un estándar de metadatos de dominio público que permite que información georreferenciada sea encajada en un archivo de imagen de formato TIFF (Tagged Image File Format «formato de archivo de imágenes con etiquetas»). La información adicional incluye el tipo de proyección, sistema de coordenadas, elipsoide, datum y todo lo necesario para que la imagen pueda ser automáticamente posicionada en un sistema de referencia espacial.

Este tipo de archivos puede ser abierto en Global Mapper, ArcGIS, Quantum GIS y AutoCAD (solamente el ortomosaico), siendo posible medir sobre ellos, generar curvas de nivel y digitalizar en 3D.

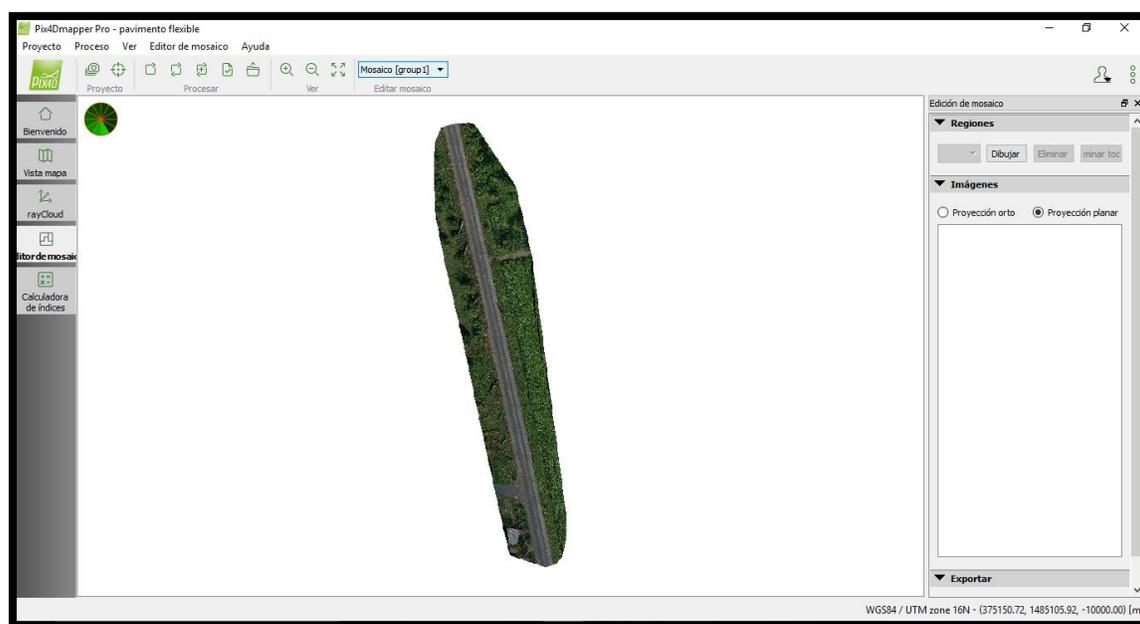


Figura 48: 3.35 Ortofoto de la zona de estudio

Fuente: Grupo de tesis

Por último, se genera el modelo digital de superficie, el cual representa las elevaciones del terreno asignando un color diferente en función a su posición espacial como se aprecia en la figura 49: 3.36.

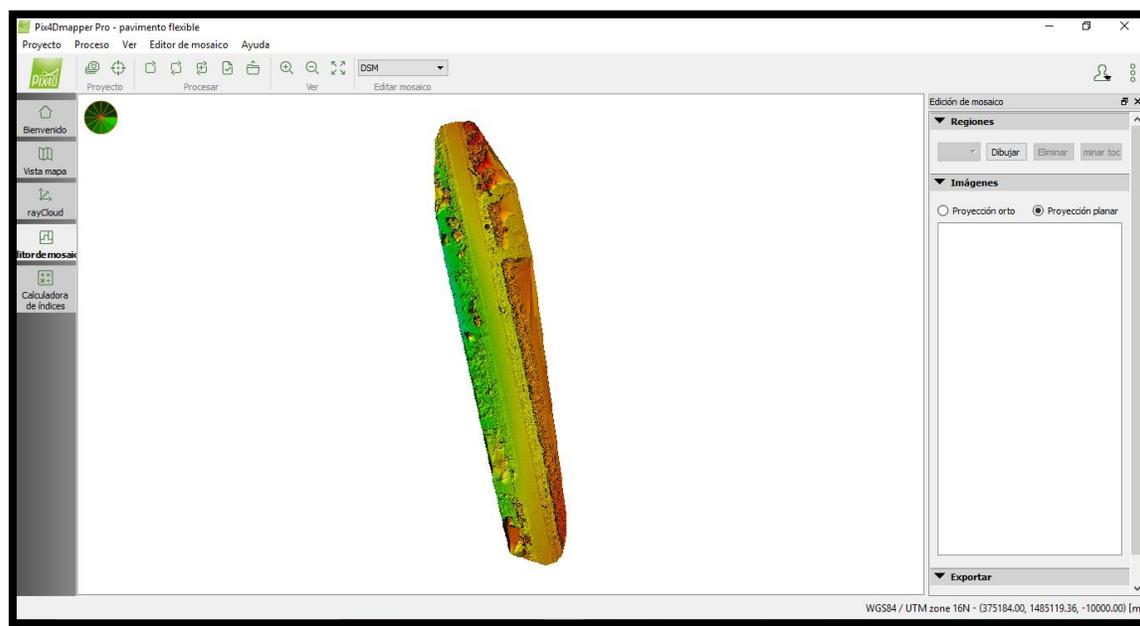


Figura 49: 3.36 Modelo digital de la superficie MDS

Fuente: Grupo de tesis

3.1.4.9 LIMPIEZA DE OBSTÁCULOS

Se obtuvo como producto la ortofoto de toda la vía, con una resolución de 7.4 mm por pixel, donde se encontraron varios vehículos que impedían ver el estado del pavimento, esto se debe a que no se cerró la vía para ejecutar el vuelo, como se aprecia en la figura 50: 3.37.

Sin embargo, el software permite editar la ortofoto, obteniendo como resultado una vía despejada de vehículos para poder realizar la inspección completa de la misma, esto es posible ya que al tener imágenes traslapadas con 75% frontal y 70% lateral, cada región del pavimento está capturada en más de una fotografía, por lo cual la ortofoto es modificable, como se aprecia en la figura 51: 3.38.

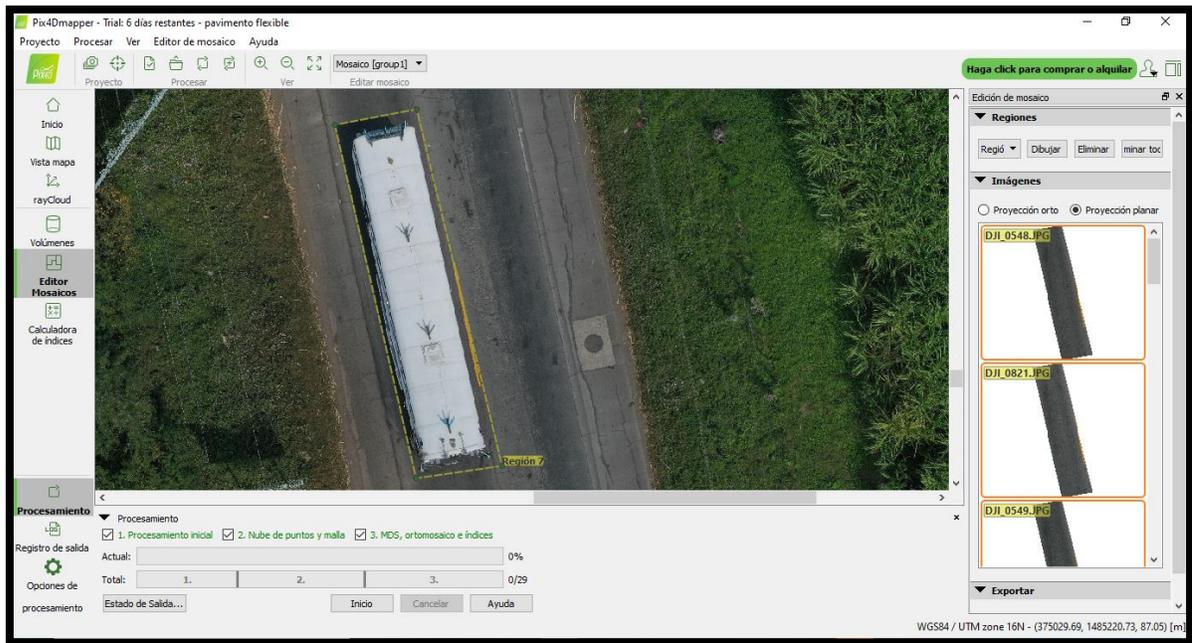


Figura 50: 3.37 Ortofoto con tránsito

Fuente: Grupo de tesis

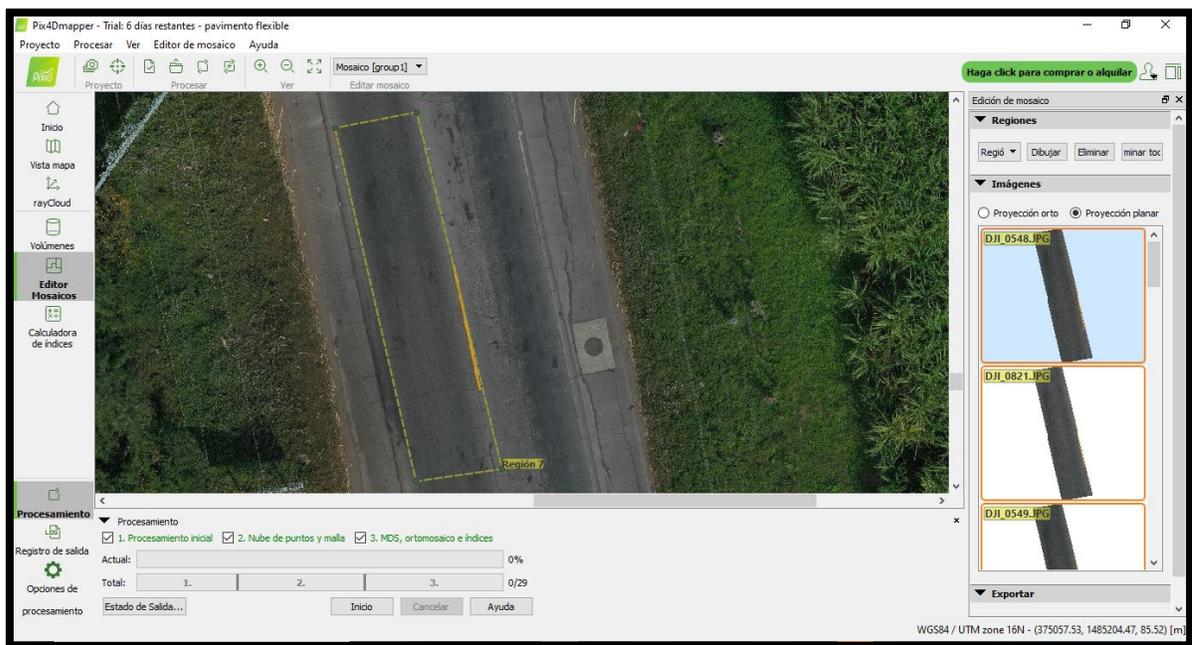


Figura 51: 3.38 Ortofoto editada

Fuente: Grupo de tesis

Se editaron 18 regiones de la vía en estudio, logrando obtener una ortofoto de la vía totalmente despejada como se aprecia en la figura 52: 3.39 b.

Asimismo, se genera el modelo digital de superficie (MDS), en la cual podemos observar la variación de cotas en toda la longitud de la vía, como se muestra en la figura 52: 3.39 c.

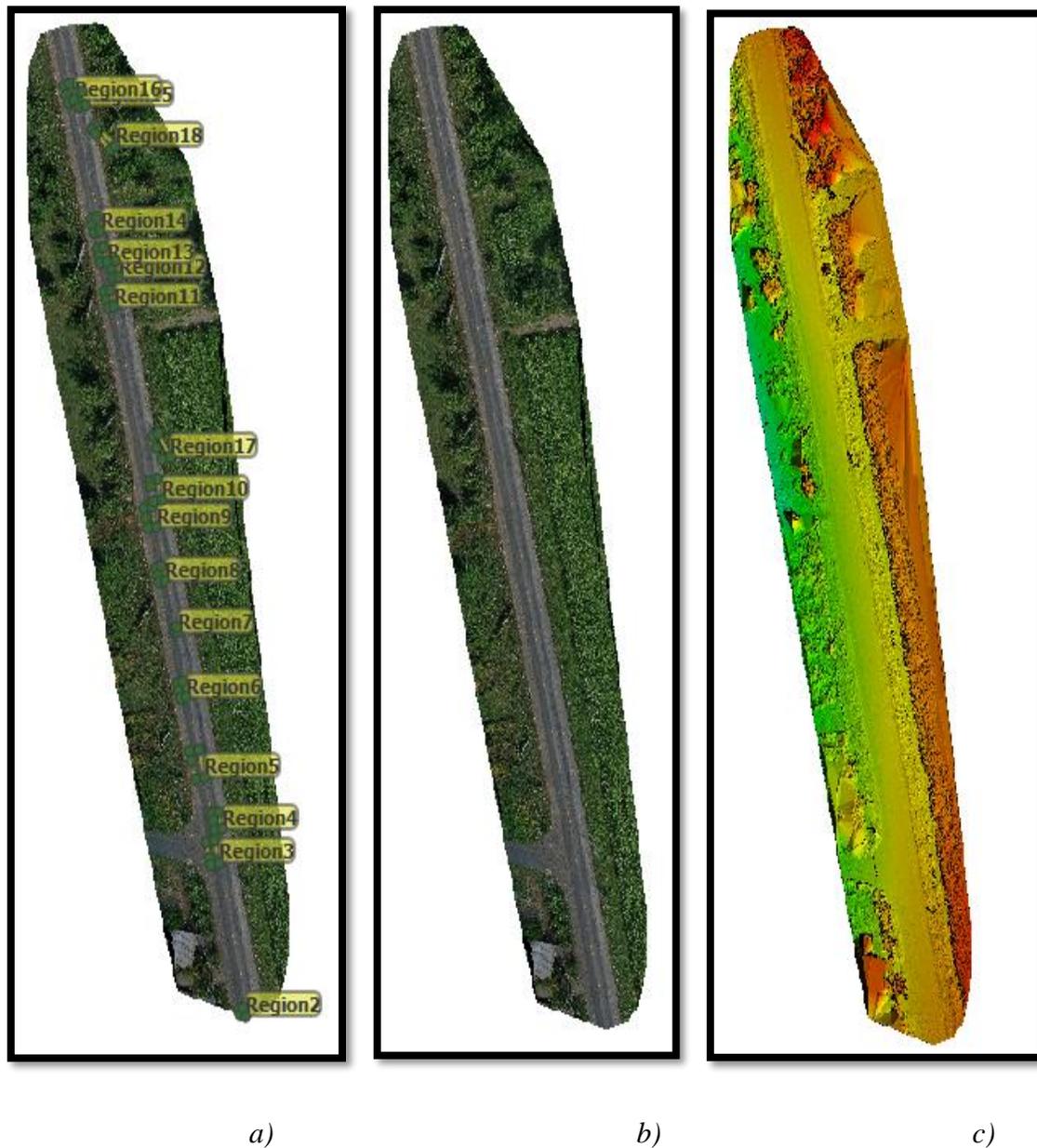


Figura 52: 3.39 a) Edición de ortofoto, b) Vía despejada, c) Modelo digital de la superficie

Fuente: Grupo de tesis

3.1.5 APLICACIÓN DEL MÉTODO PCI

3.1.5.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO

La vía de estudio cuenta con una longitud de 300 m en cada carril, ancho de calzada 8 m, haciendo un área de 2400 m², esta se dividió en unidades de muestreo de 30 m de longitud obteniendo la siguiente cantidad de unidades de muestreo.

$$N = \frac{300 \text{ m}}{30 \text{ m}} = 10 \text{ Unidades de muestreo}$$

Se dividió la vía en 10 unidades de muestreo, con 10 tramos de 30 m en cada carril A y B.

Tabla 5: 3.2 Unidades de muestreo pavimento flexible

Carril	Unidades de muestreo	Longitud (m)	Progresiva
A/B	UM 01	30	0+000-0+030
A/B	UM 02	30	0+030-0+060
A/B	UM 03	30	0+060-0+090
A/B	UM 04	30	0+090-0+120
A/B	UM 05	30	0+120-0+150
A/B	UM 06	30	0+150-0+180
A/B	UM 07	30	0+180-0+210
AB	UM 08	30	0+210-0+240
A/B	UM 09	30	0+240-0+270
A/B	UM 10	30	0+270-0+300

Fuente: Grupo de tesis.

3.1.5.2 IDENTIFICACIÓN Y METRADO DE FALLAS

Con la ortofoto de gran resolución y el modelo en 3D obtenidas del procesamiento fotogramétrico se procedió a realizar la inspección de la vía, identificando del tipo de falla en cada unidad de muestreo, su medición y nivel de severidad.

En el programa Pix4dMapper se puede determinar los valores de ancho, longitud, área o volumen de cada falla, para poder determinar su cantidad y posteriormente su densidad, tal como se muestra en las figuras 53: 3.40 a 55: 3.42.

La ortofoto fue generada como una imagen TIFF y esta fue exportada a escala real al programa AutoCAD donde se dividió la vía en unidades de muestreo y se procedió a medir e identificar los diferentes tipos de fallas y nivel de severidad.

Los datos obtenidos de la inspección de la vía fueron introducidos en hojas de registro para finalmente aplicar el Método PCI y determinar la condición de cada unidad de muestra.



Figura 53: 3.40 Medición de área de falla tipo parche en Pix4D Mapper en el modelo digital 3D



Figura 54: 3.41 Medición de longitud de falla transversal en programa Pix4d Mapper en su modelo 3D

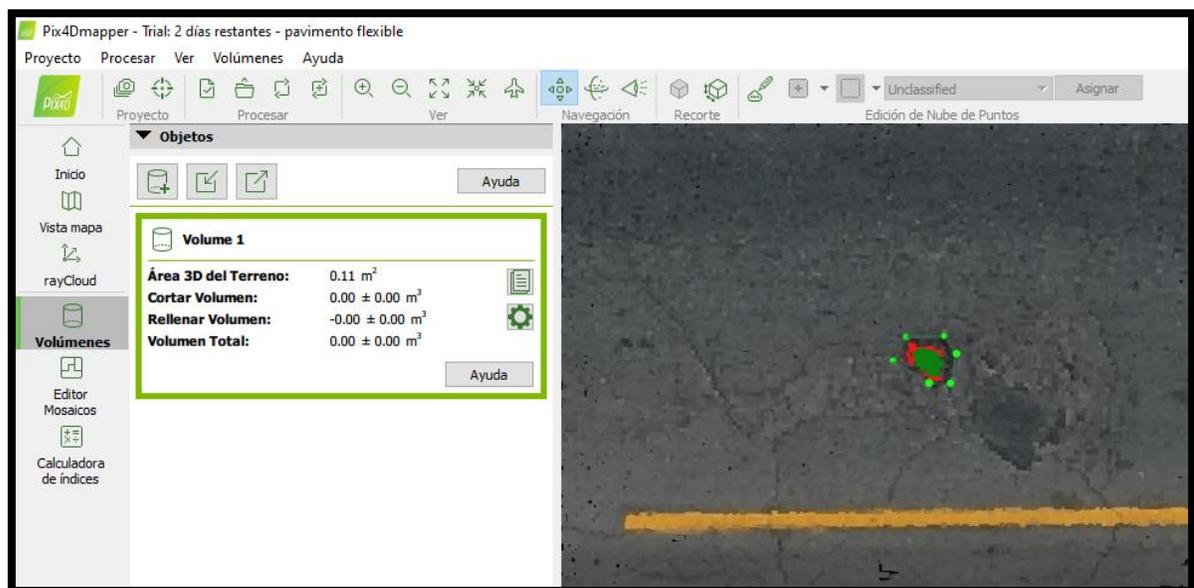


Figura 55: 3.42 Medición de volumen de falla tipo hueco en programa Pix4d Mapper

Dentro del modelo digital se recorre la vía observando el estado de la superficie del pavimento como se aprecia en la figura 56: 3.43.



Figura 56: 3.43 Inspección de la vía de pavimento flexible en el modelo 3D

Fuente: Grupo de tesis

En la inspección de la vía del tramo de pavimento flexible en las 10 unidades de muestreo ambos carriles encontramos 10 diferentes tipos de fallas de las 19 que existen para este tipo de pavimento las cuales mencionamos a continuación:

- Grieta piel de cocodrilo
- Agrietamiento en bloque
- Depresión
- Grieta de borde
- Desnivel carril/berma
- Grietas longitudinales y transversales
- Parcheo
- Pulimento de agregados
- Huecos
- Desprendimiento de agregados

A manera de ilustración presentamos una imagen de cada tipo de falla donde la imagen superior es como se ve en la ortofoto y la imagen inferior como se ve en el modelo digital esa misma falla.

La **fuentes** de las imágenes presentadas a continuación son propias del Grupo de tesis.



Figura 57: 3.44 Grieta piel de cocodrilo

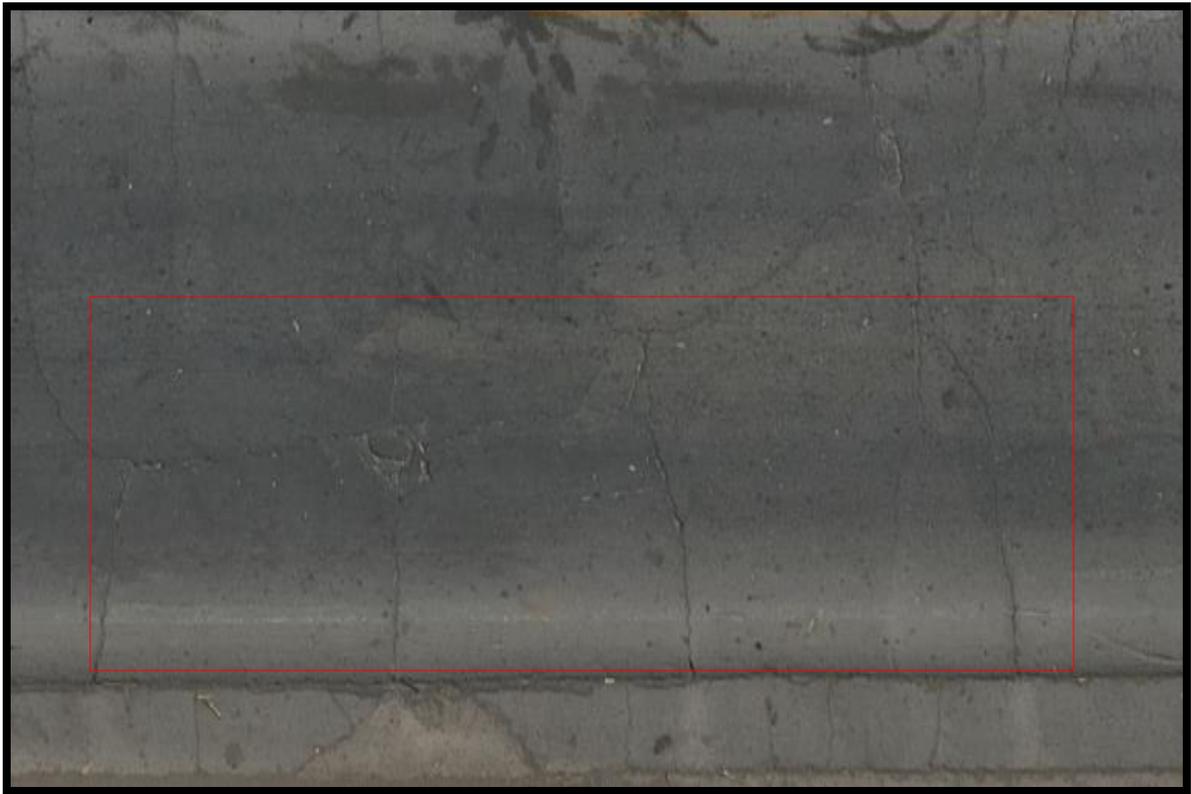


Figura 58: 3.45 Agrietamiento en bloque

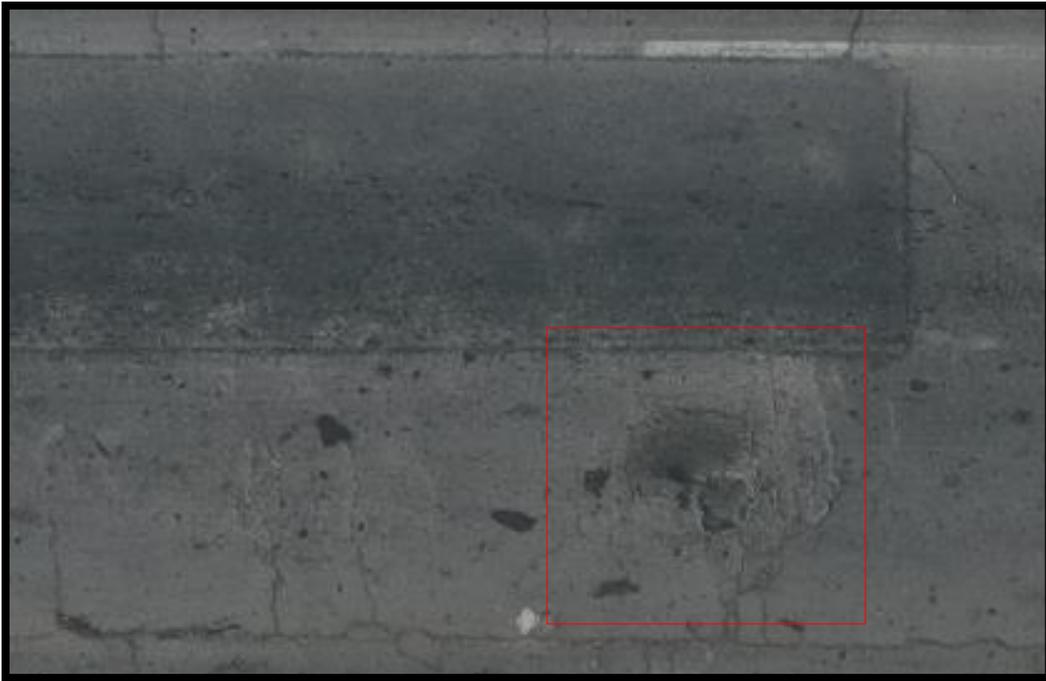


Figura 59: 3.46 Depresión

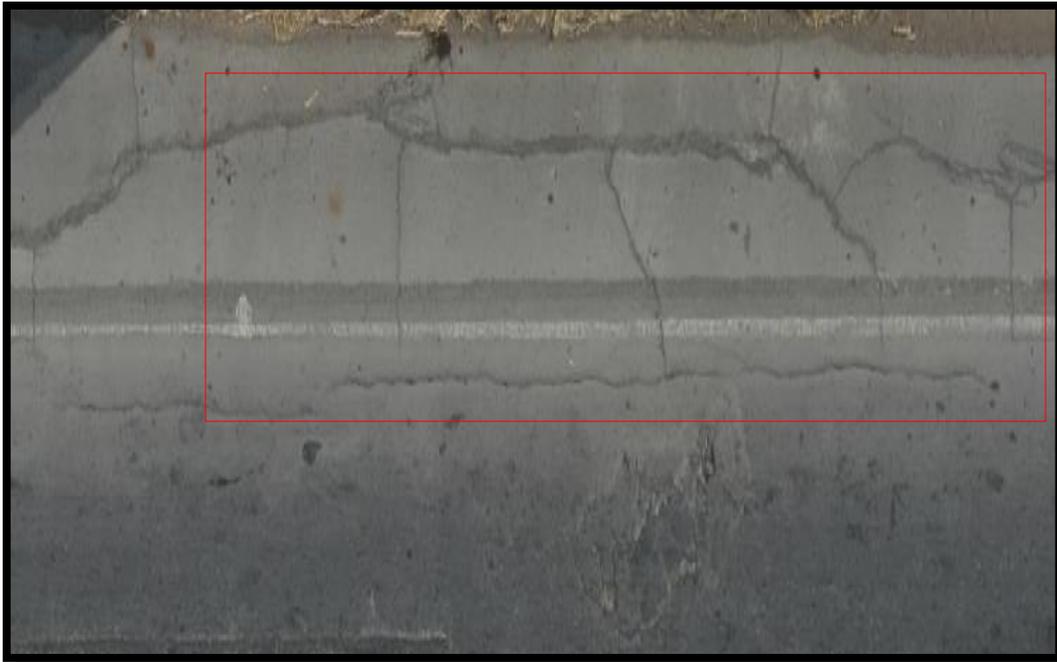


Figura 60: 3.47 Grieta de borde



Figura 61: 3.48 Desnivel carril/berma

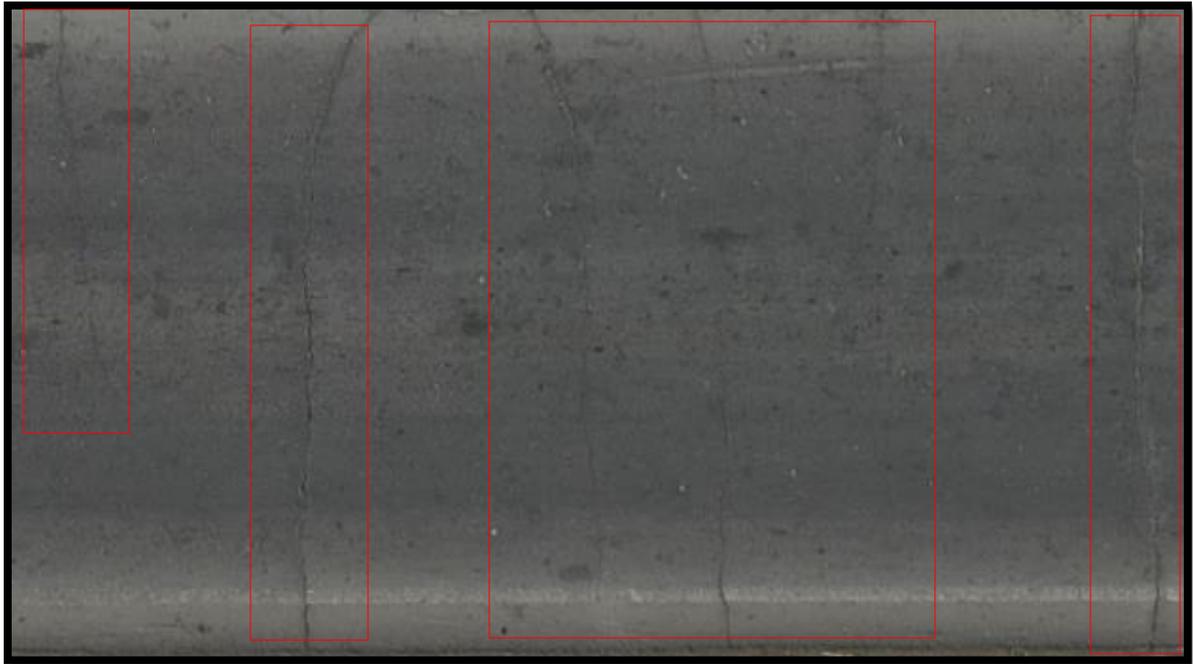


Figura 62: 3.49 Grietas longitudinales y transversales

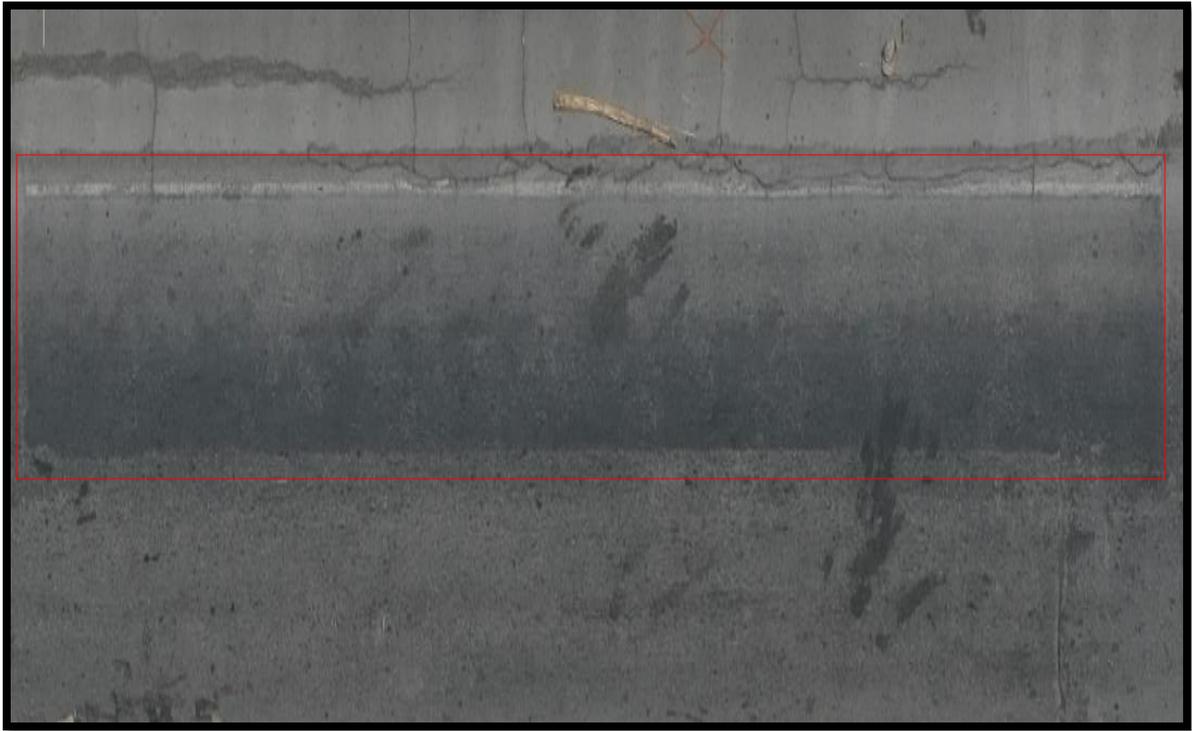


Figura 63: 3.50 Parcheo



Figura 64: 3.51 Pulimento de agregados

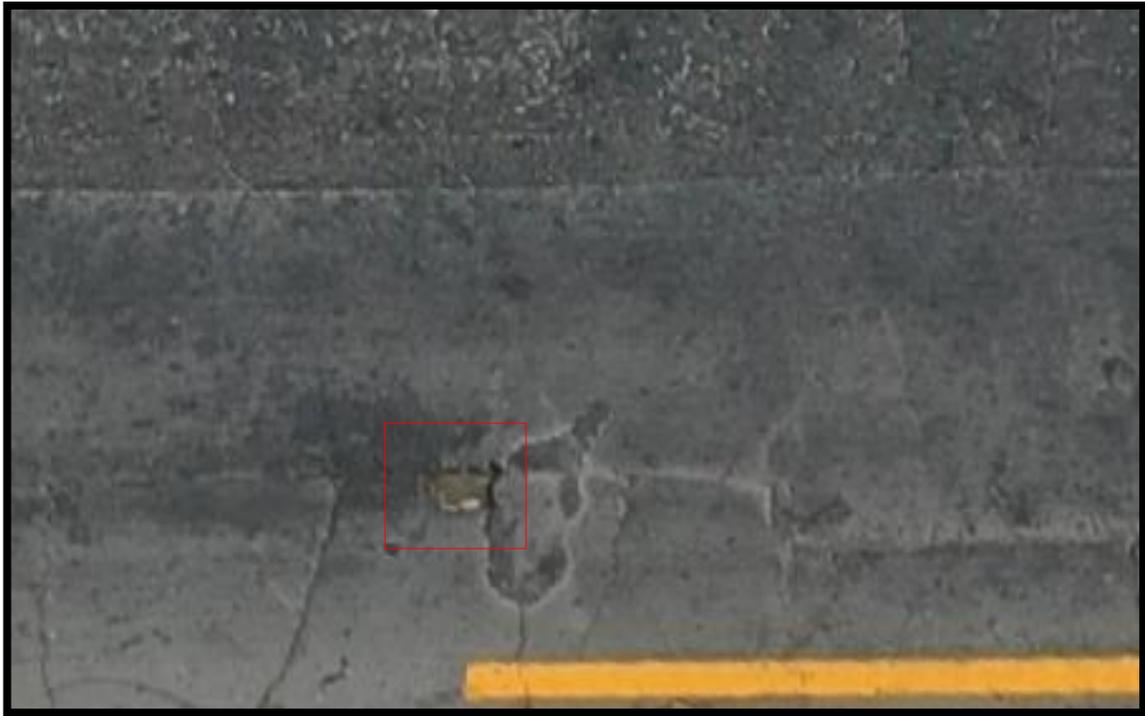


Figura 65: 3.52 Huecos

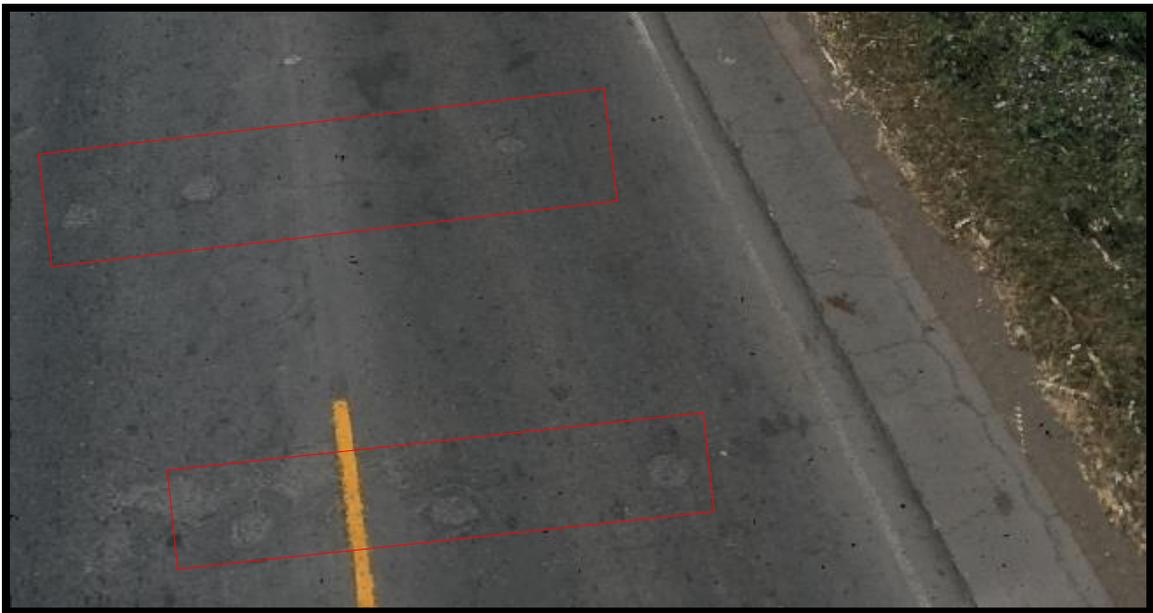
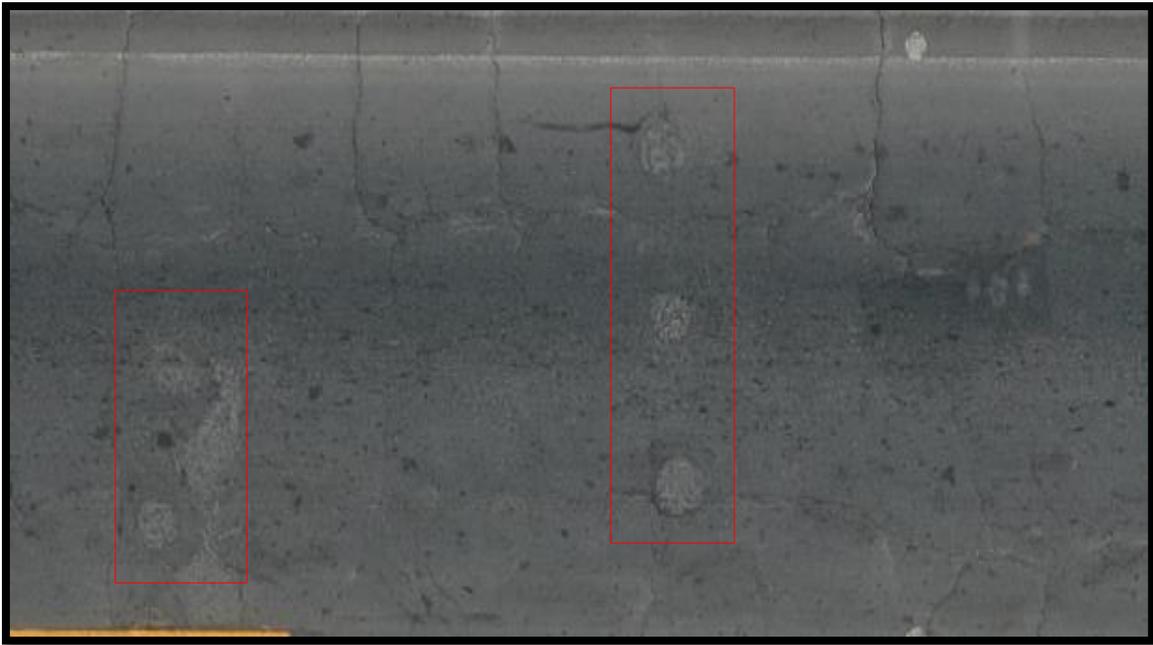


Figura 66: 3.53 Desprendimiento de agregados

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+30		Al: 0+60			
Fecha: 19/05/2020			Codigo: UM2 B				
Responsable: Grupo de tesis UES FMO			Seccion: 240 m2				
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parqueo		m2	
2. Exudacion		m2		12. Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15. Ahuellamiento		m2	
6. Depresion		m2		16. Desplazamiento		m2	
7. Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica (slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19. Desprendimiento de agregados		m2	
10. Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100 EXCELENTE		11		1			
71-85 MUY BUENO		CANTIDAD		CANTIDAD		CANTIDAD	
56-70 BUENO		SEVERIDAD		SEVERIDAD		SEVERIDAD	
41-55 REGULAR		17.95 L		2.45 M			
26-40 POBRE		26.25 L					
11-25 MUY POBRE							
0-10 FALLADO							
TOTAL							
BAJA (L)		44.2					
MEDIA (M)				2.45			
ALTA (H)							

Figura 68: 3.55 Hoja de Inspección Pavimento Flexible UM2 B

Fuente: Grupo de tesis

CALCULO DEL PCI			
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCI
3	48.51	M	32
1	2.51	M	30
11	18.42	L	20
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			82
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			53
CONDICION DEL		47	
PAVIMENTO		Regular	

Figura 69: 3.56 Cálculo de Condición de unidad de muestra UM2

Fuente: Grupo de tesis

Se totalizan cada falla según el tipo y nivel de severidad, luego se determina su densidad dividiendo la cantidad de cada daño entre el área total de muestra, expresando el resultado en porcentaje. Por ejemplo, para falla 1 en el carril A y B tenemos en total $3.58 + 2.45 = 6.03$ m² de piel de cocodrilo de severidad media, la densidad será:

$$\text{Densidad} = \frac{6.03 \text{ m}^2}{240 \text{ m}^2} * 100 = 2.51 \%$$

Luego, se emplea la gráfica de curva valor deducido para asfalto correspondiente a “Piel de cocodrilo”, “Agrietamiento en bloque” y “Parcheo” de la ASTM D6433. Para este ejemplo, ingresamos con la densidad hallada en el eje de las abscisas y prolongamos la línea hasta la curva M, la cual corresponde a una severidad Media, luego se proyecta la intersección al eje de las ordenadas para determinar el valor deducido como se aprecia en las figuras 70: 3.57, 71: 3.58 y 72: 3.59.

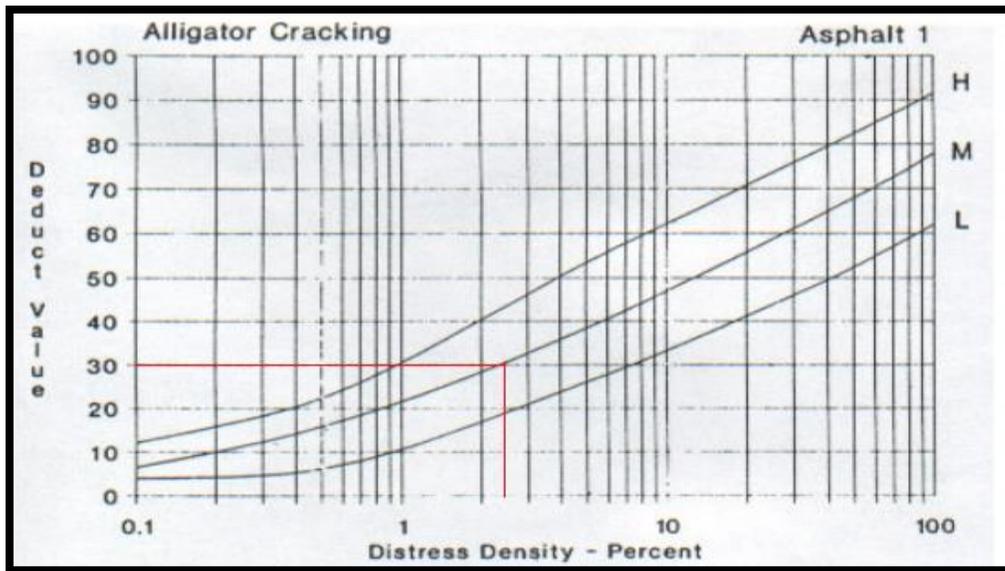


Figura 70: 3.57 Curva de valor deducido para Piel de cocodrilo

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

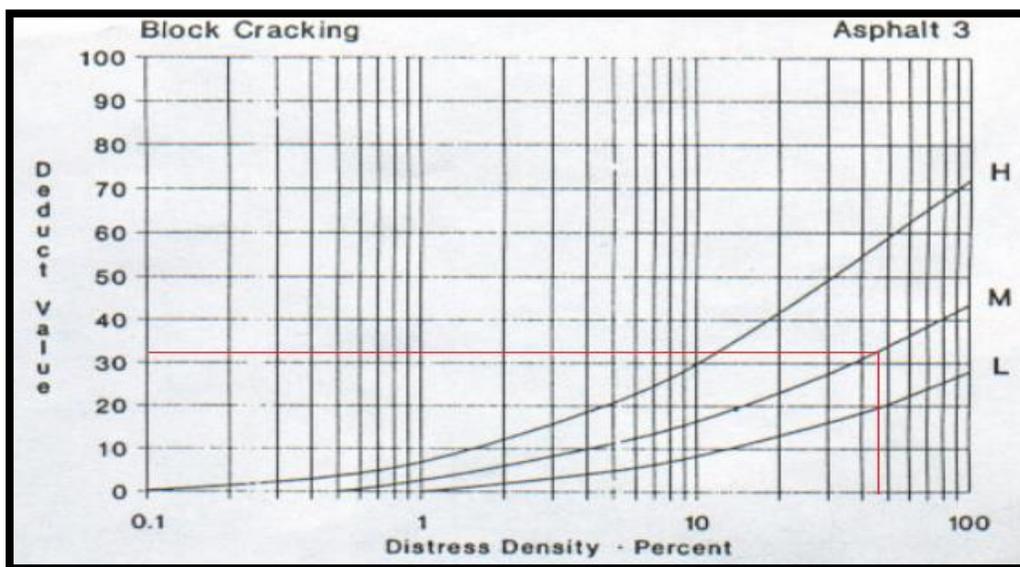


Figura 71: 3.58 Curva de valor deducido para Agrietamiento en bloque

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

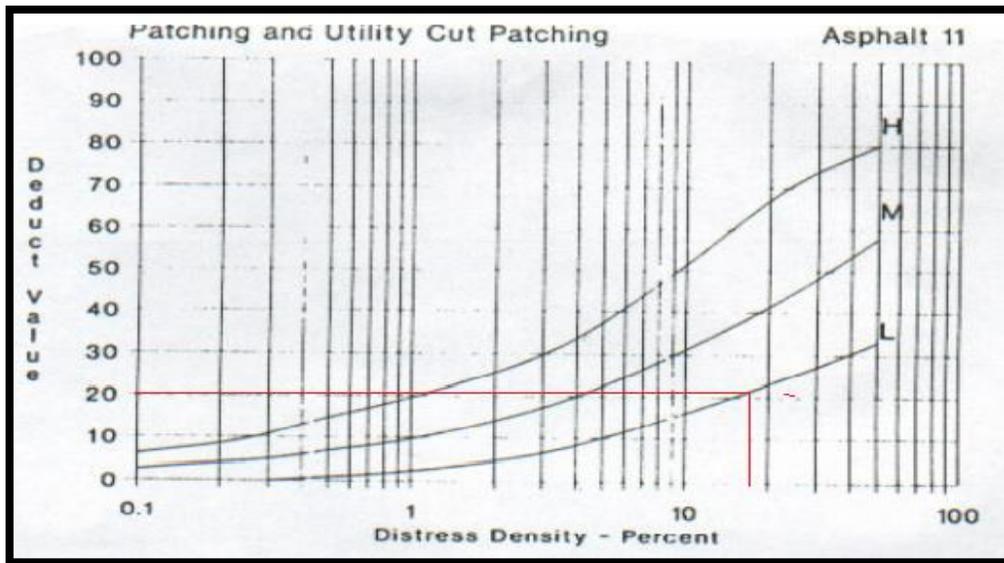


Figura 72: 3.59 Curva de valor deducido para Parcheo

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

Etap 2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

Una vez hallado los valores deducidos de cada combinación Tipo de deterioro – severidad, se procede a seleccionar el mayor valor deducido, que para este caso es de 32, y se procede a determinar el número máximo de valores deducidos (m) mediante la siguiente ecuación:

$$M = 1 + \frac{9}{98}(100 - 32) = 7.24$$

Como se tiene 3 valores deducidos en total, se utilizan todos para hallar el valor deducido total.

Etap 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

Luego para determinar el valor de deducción corregido (VDC) se ordena los valores deducidos de mayor a menor de tal manera de ingresar la sumatoria de ellos (VDT), en el primer caso 82 y $q=3$ en la gráfica de valor deducido corregido para determinar el valor total deducido como se muestra en la figura 73: 3.60.

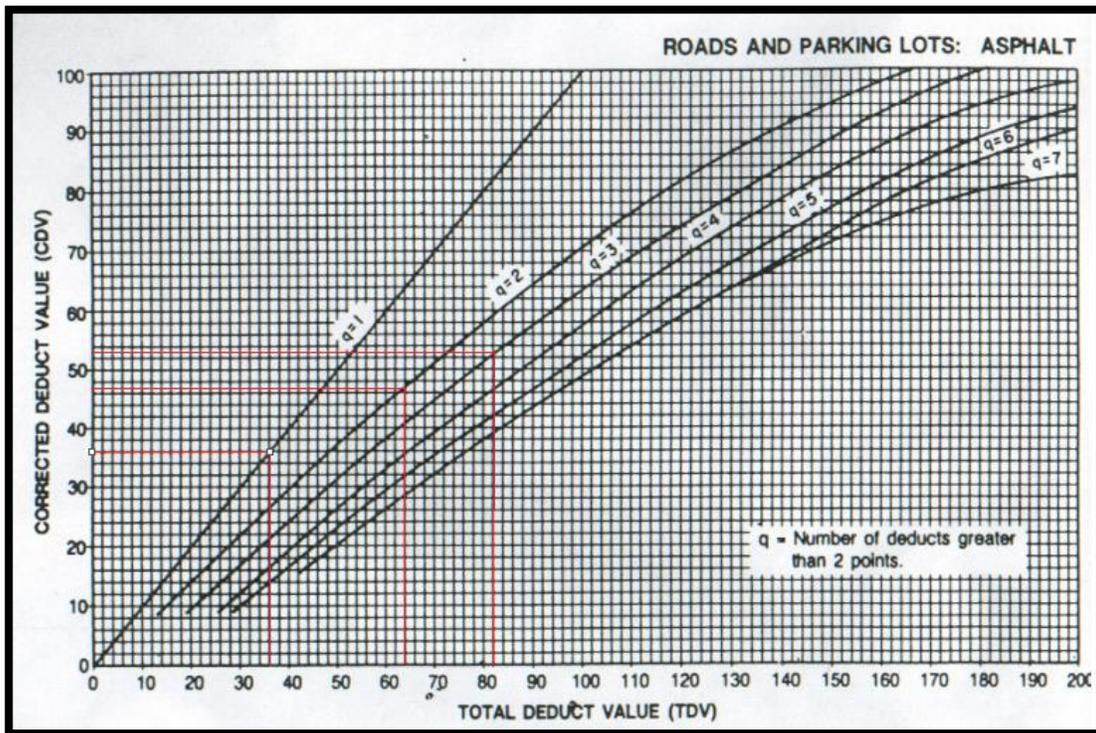


Figura 73: 3.60 Curva de valor deducido corregido

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

Se realiza el mismo procedimiento reemplazando el último valor deducido por 2 y disminuyendo el valor de q en una unidad, hasta que llegue al valor de 1, de tal manera de hallar los valores deducidos corregidos para cada valor de q . Después de calcular todos los valores deducidos corregidos se tomará el mayor valor de ellos como se muestra en la tabla 6: 3.3.

Tabla 6: 3.3 Valores deducidos corregidos

N°	VALORES DEDUCIDOS			VDT	q	VDC
1	32	30	20	82	3	53
2	32	30	2	64	2	47
3	32	2	2	36	1	36

Max VDC= 53

Fuente: Grupo de tesis.

Etapa 4. Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la etapa 3.

Finalmente se calcula el PCI mediante la siguiente ecuación:

$$PPCI= 100- \max VDC$$

$PCI=100-53= 47$: Por lo tanto, la unidad de muestra UM2, tiene un índice de condición del pavimento de 47, lo cual se clasifica como un pavimento Regular.

3.1.5.4 RESULTADOS PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT

Luego de realizar el plan de vuelo, el establecimiento de puntos de apoyo terrestre, ejecución del vuelo, procesamiento de la información, medición y registro de los diferentes tipos de fallas en la ortofoto y modelo 3D se procedió a aplicar la metodología del PCI para pavimento flexible a todas las unidades de muestreo siguiendo el mismo procedimiento de cálculo expuesto como ejemplo para la unidad de muestreo UM2 en la sección 3.1.5.3 l.

Las hojas de inspección y cálculos de PCI en cada unidad de muestra evaluada se encuentran en el Anexo 2 de la presente tesis.

La tabla 7: 3.4 muestra los resultados obtenidos en cada unidad de muestra con su respectivo PCI y clasificación.

Tabla 7: 3.4 Resultados de PCI

Unidad de muestreo	Área (m2)	PCI	Clasificación
UM 1	240	54	Regular
UM 2	240	47	Regular
UM 3	240	18	Muy malo
UM 4	240	15	Muy malo
UM 5	240	36	Malo
UM 6	240	48	Regular
UM 7	240	34	Malo
UM 8	240	56	Bueno
UM 9	240	74	Muy bueno
UM 10	240	20	Muy malo

Fuente: Grupo de tesis.

3.2 CÁLCULO DEL PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

3.2.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO

El tramo de Pavimento en estudio cuenta con una longitud de 300 m en cada carril, ancho de calzada 8 m, haciendo un área de 2400 m², esta se dividió en unidades de muestreo de 30 m de longitud, figura 74: 3.61.

El procedimiento de cálculo de las unidades de muestreo es como se detalla en la sección 3.1.5.1



Figura 74: 3.61 Delimitación de unidades de muestreo

Fuente: Grupo de tesis.

3.2.2 LEVANTAMIENTO DE FALLAS EN CAMPO

El relevamiento de las fallas se realizó evaluando todas las unidades de muestreo registrando primero las fallas de un carril y luego el siguiente carril, empleando hojas de inspección y catálogo de fallas de referencia.

Fue necesario usar equipo de protección como el uso de mascarillas y lentes debido a la pandemia del COVID-19, también equipo de seguridad como chalecos reflejantes y conos debido al tránsito de vehículos tal como se muestra en la figura 75: 3.62.

En la inspección de la vía del tramo de pavimento flexible se identificaron las fallas de las 10 unidades de muestreo en los dos carriles determinando su cantidad y grado de severidad registrando 9 diferentes tipos de fallas las cuales fueron: Grieta piel de cocodrilo, Agrietamiento en bloque, Depresión, Grieta de borde, Desnivel carril/berma, Grietas longitudinales y transversales, Parcheo, Pulimento de agregados, Desprendimiento de agregados, las cuales se muestran a continuación en las siguientes imágenes:



Figura 75: 3.62 Piel de cocodrilo

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 76: 3.63 Agrietamiento en bloque

Fuente: Grupo de tesis.

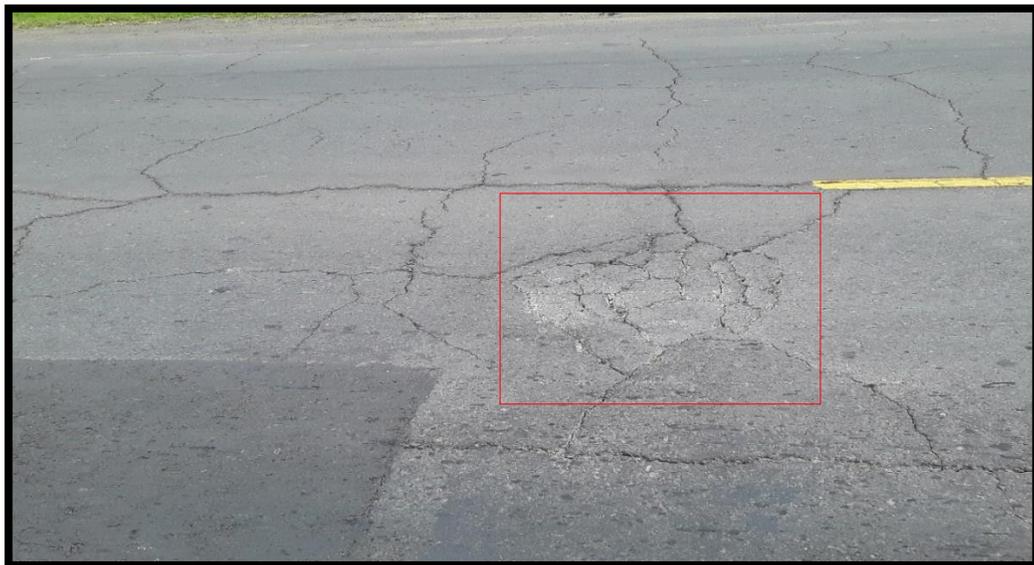


Figura 77: 3.64 Depresión

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 78: 3.65 Grieta de borde

Fuente: Grupo de tesis.

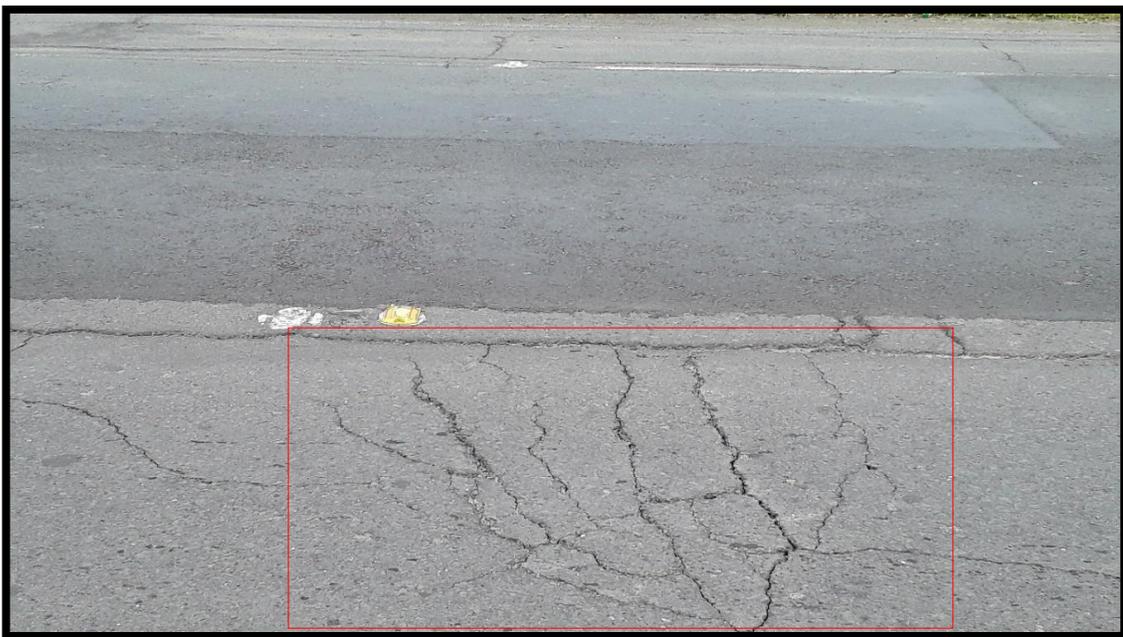


Figura 79: 3.66 Grieta parabólica

Fuente: Grupo de tesis.

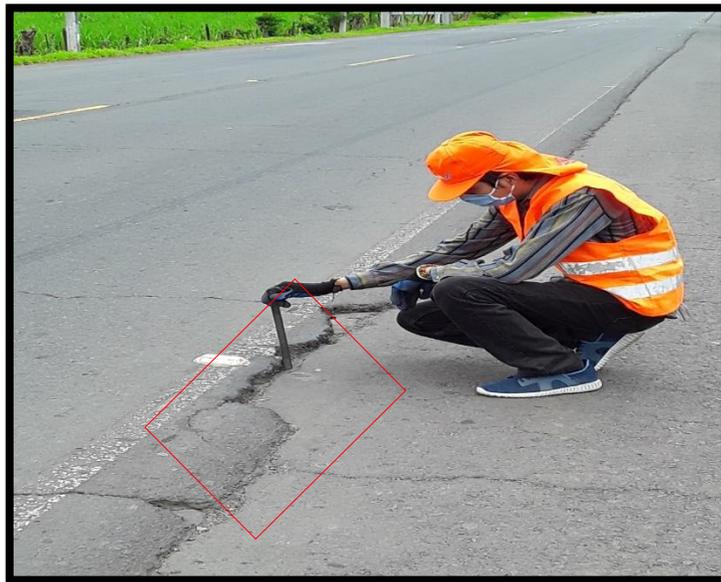


Figura 80: 3.67 Desnivel carril/berma

Fuente: Grupo de tesis.

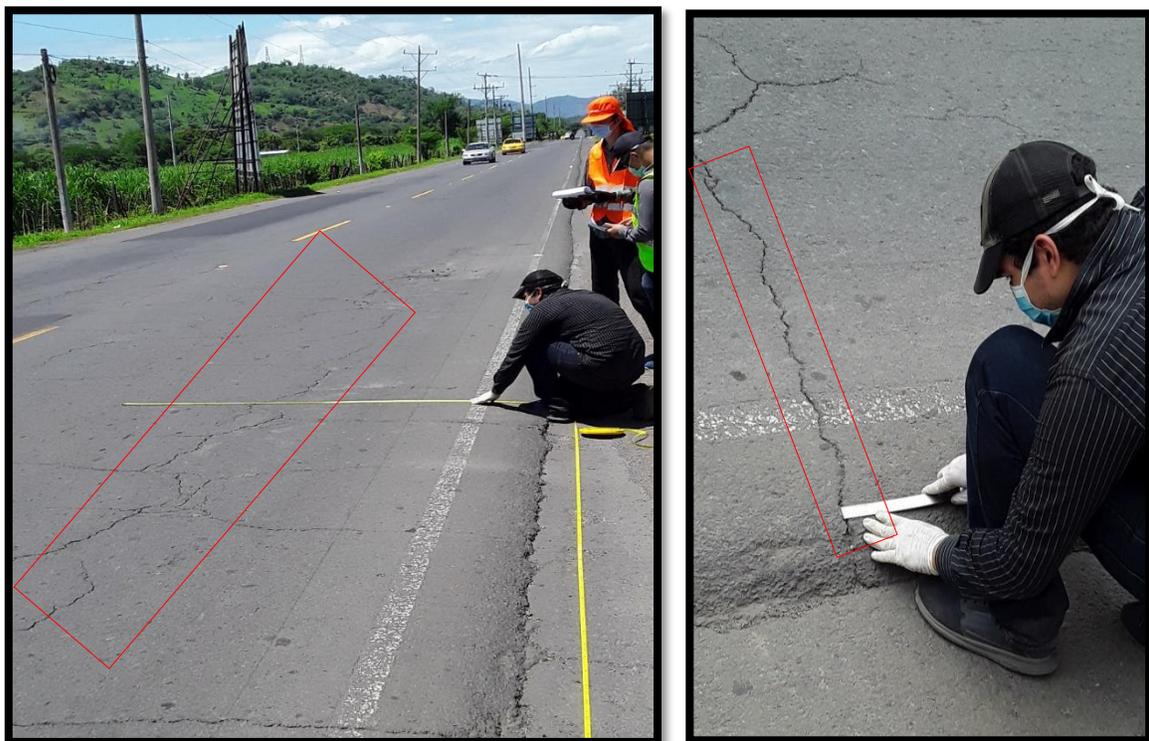


Figura 81: 3.68 Grietas longitudinales y transversales

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 82: 3.69 Parcheo

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 0.11: 3.70 Pulimento de agregados

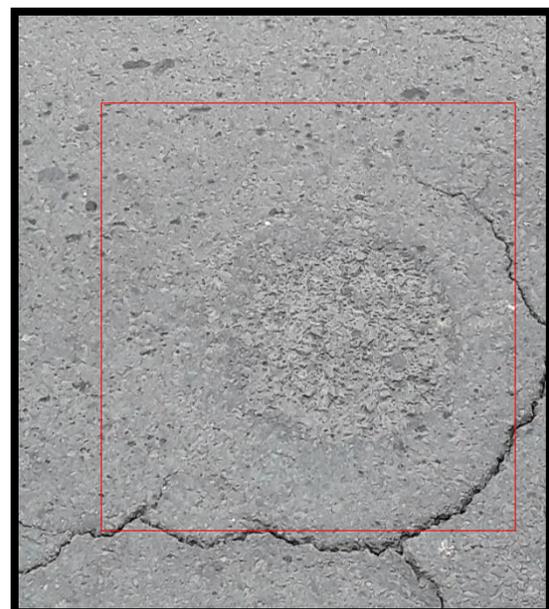


Figura 0.10: 3.71 Desprendimiento de agregados

Fuente: Grupo de tesis.

3.2.3 RENDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y PERSONAL DE CAMPO

El tiempo total de inspección por carril fue de 5 horas iniciando en el carril A el día sábado 20 de junio del 2020 a las 6.00 am y finalizando a las 11.00 am y el carril B el día domingo 21 de junio del 2020 iniciando a las 6.00 am y finalizando a las 11.00 am haciendo un total de 10 horas en evaluar todas las unidades con un rendimiento promedio de 30 minutos por unidad.

Para la inspección el personal de campo fue compuesto por los 4 integrantes de la presente tesis, de los cuales 2 se encargaron de medir e identificar las fallas, otro del registro de datos y otro de la toma de fotografías.

3.2.4 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA

El procedimiento de cálculo es similar al realizado para la UM2 en la sección 3.1.5.3

Para ver el procedimiento de cálculo de cada unidad de muestreo consultar el Anexo 3 de la presente tesis.

3.2.5 RESULTADOS PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

Luego de ir al campo al tramo de pavimento flexible y registrar en los formatos de inspección los diferentes tipos de fallas encontradas, su área afectada y su nivel de severidad se procedió en gabinete a calcular el PCI de cada unidad de muestreo.

Las hojas de inspección y cálculos de PCI en cada unidad de muestra evaluada se encuentran en el Anexo 3 de la presente tesis.

La tabla 8: 3.5 muestra los resultados obtenidos en cada unidad de muestra con su respectivo PCI y clasificación.

Tabla 8: 3.5 Resultados de PCI

Unidad de muestreo	Área (m2)	PCI	Clasificación
UM 1	240	55	Regular
UM 2	240	45	Regular
UM 3	240	19	Muy malo
UM 4	240	17	Muy malo
UM 5	240	37	Malo
UM 6	240	47	Regular
UM 7	240	32	Malo
UM 8	240	57	Bueno
UM 9	240	73	Muy bueno
UM 10	240	19	Muy malo

Fuente: Grupo de tesis.

CAPÍTULO IV. CÁLCULO DEL PCI

PAVIMENTO RÍGIDO

4.1 CÁLCULO DEL PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT

4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE VUELO

4.1.1.1 UBICACIÓN

Carretera panamericana Km 152 (CA-1), figura 85: 4.1.

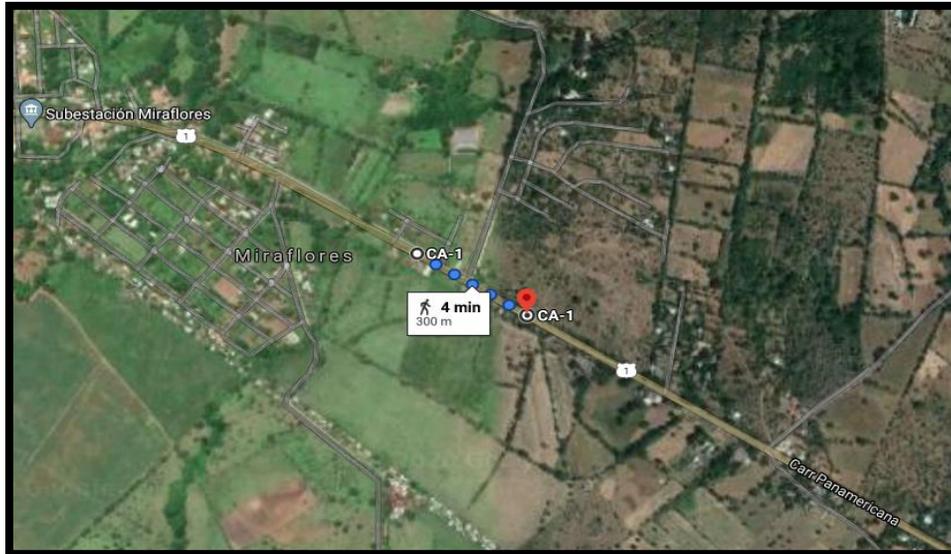


Figura 0.1: 4.1 Ubicación carretera con superficie de concreto hidráulico

Fuente: Google Maps.

Se utilizó la aplicación DroneDeploy diseñada para planificar y ejecutar vuelos automáticos para VANT, para la adquisición de fotografías que se usarán en la identificación y metrado de fallas.

El plan de vuelo queda definido de la siguiente manera:

➤ **Equipo utilizado:** Multirrotor de la marca DJI, modelo Mavic 2 Pro

➤ **Características de la Cámara**

Sensor: 1" CMOS

Resolución: 20 megapíxeles

Lente FOV: 77°

Apertura: f/2.8 to f/11

Velocidad del disparador: 8 – 1/8000s

Resolución máxima: 5472 × 3648

Capacidad de almacenamiento interno: 32 GB

- **GSD y altura de vuelo:** Con una altura de vuelo de 30 m se obtuvo una resolución en el terreno de 7.1 mm/pix, ver Anexo 4 Reporte de calidad Pavimento Rígido.
- **Tipo de plan de adquisición:** Este fue de tipo rejilla ejecutando múltiples misiones para cubrir el tramo de carretera en estudio.
- **Traslape:** Se consideró un traslape frontal y lateral de 70% y 75% respectivamente con el objetivo de obtener gran cantidad de coincidencias entre fotografías.
- **Velocidad del vuelo:** Esta depende de varios factores y ya que el vuelo no se ejecutó de forma manual, esta variable se configura en la aplicación DroneDeploy con una velocidad de 3 m/s.
- **Tiempo de vuelo:** Este depende del tiempo máximo que la aeronave se puede mantener en el aire sin necesidad de reabastecerse. En este caso el tiempo de vuelo fue de 7.24 minutos
- **Dimensión de la misión:** El dimensionamiento del área a sobrevolar depende del área de interés en sí, puesto que en los bordes del área se carece de pares estereoscópicos lo cual generara distorsión en el producto final, se consideró programar el vuelo con al menos una línea fuera de la zona de interés para evitar la tan indeseada distorsión.

4.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL VUELO

El vuelo se desarrolló por la mañana a las 11.00 am ya que por lo general se prefieren fotos con poca sombra, se intenta volar en horas cercanas al mediodía. Las sombras producen errores en el proceso de restitución. Las misiones de vuelo se realizaron con el tránsito vehicular usual, despegando desde un lado de la vía como se aprecia en la figura 86: 4.2. Obteniendo en total 160 imágenes georreferenciadas.



Figura 86: 4.2 Despegue del VANT desde el hombro de la calzada

Fuente: Grupo de tesis

4.1.3 PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

El procedimiento a seguir es similar al descrito en la sección 3.1.4 Procesamiento de imágenes para Pavimento Flexible.

4.1.3.1 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO EN PIX4D MAPPER

Donde se le asigna un nombre al nuevo proyecto y la ruta de almacenamiento, luego se importan las imágenes y automáticamente el software reconoce las propiedades de cada imagen tales como; sistema de coordenadas de las imágenes, geolocalización-orientación y modelo de la cámara seleccionado. Pudiendo además configurar estas propiedades. Ver sección 3.1.4.2.

4.1.3.2 SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESO

Luego es necesario seleccionar una plantilla para procesar las fotografías. Pix4DMapper ofrece diferentes plantillas que se adaptan a las características de los proyectos, además de la opción de crear plantillas personalizadas según las necesidades del usuario.

Para el presente proyecto se utilizó la misma plantilla personalizada que se configuró para el proyecto de Pavimento Flexible llamada Mapas 3D (Copy) tal como se describe en la sección 3.1.4.3.

4.1.3.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS DE SALIDA

Al crear un proyecto en Pix4D Mapper debe elegirse el sistema de coordenadas de salida de los productos del procesamiento de las imágenes.

Para el procesamiento de nuestro proyecto se seleccionó como sistema de coordenadas de salida WGS84 / UTM zona 16N, proyección UTM para la zona 16 norte, que usa el elipsoide WGS84 como modelo base tal como se describe en la sección 3.1.4.4.

4.1.3.4 PROCESAMIENTO INICIAL

La etapa inicial del procesamiento en Pix4D consiste en la aerotriangulación de las imágenes digitales, usando la información de georreferencia de éstas, obtenida del GPS interno del vehículo aéreo no tripulado.

Una vez que ha sido configurada la plantilla que se utilizara en el proyecto se procedió a realizar el procesamiento inicial, obteniendo una pequeña nube de puntos como se aprecia en la figura 87: 4.3.

La **fente** de las imágenes del programa Pix4D Mapper Pro presentadas a continuación es propia del Grupo de tesis.

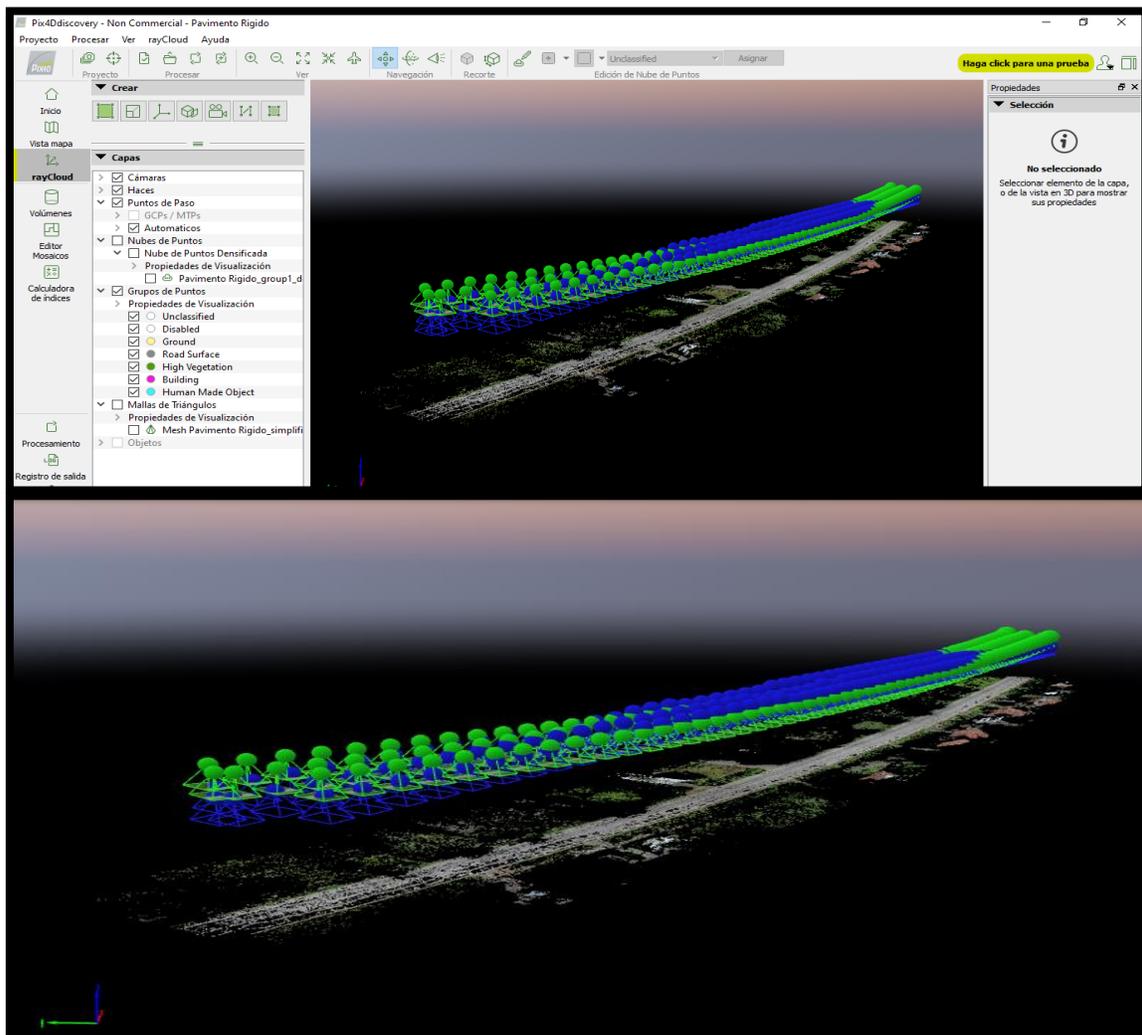


Figura 0.3: 4.3 Procesamiento inicial

A) Análisis del reporte de calidad

El reporte de calidad del proyecto muestra un resumen de las características del proyecto, vistas preliminares del ortomosaico y el DSM, y detalles de la calibración y geocalización de las imágenes, entre otros, figura 88: 4.4.

Es importante revisar los resultados mostrados en este reporte, prestando atención a los parámetros del apartado Control de Calidad. Ver sección 3.1.4.6 análisis del reporte de calidad y solución de problemas detectados en el reporte de calidad.

Quality Report

Generated with Pix4Dmapper version 4.5.6

! **Important:** Click on the different icons for:

- ? Help to analyze the results in the Quality Report
- i Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary i

Project	Pavimento Rigido
Processed	2020-07-01 17:20:23
Camera Model Name(s)	optimizL1D-20c_10.3_5472x3648 (0K8TG960120459) (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.71 cm / 0.28 in
Area Covered	0.023 km ² / 2.3073 ha / 0.01 sq. mi. / 5.7044 acres
Time for Initial Processing (without report)	01h:43m:39s

Quality Check i

? Images	median of 60792 keypoints per image	✔
? Dataset	160 out of 160 images calibrated (100%), all images enabled	✔
? Camera Optimization	0.72% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
? Matching	median of 5668.96 matches per calibrated image	✔
? Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Figura 88: 4.4 Vista parcial del reporte de calidad.

(Reporte completo en Anexo 4)

4.1.3.5 NUBE DE PUNTOS DENSA

Luego del análisis del reporte de calidad del proyecto y de la corrección de errores (si se presentan) se procede a la ejecución de la segunda etapa del procesamiento del software, donde se realiza la densificación de la nube de puntos y la creación de la malla 3D texturizada. En la barra de procesamiento se inicia el trabajo seleccionando únicamente la opción 2. Nube de puntos y malla, figura 89: 4.5.

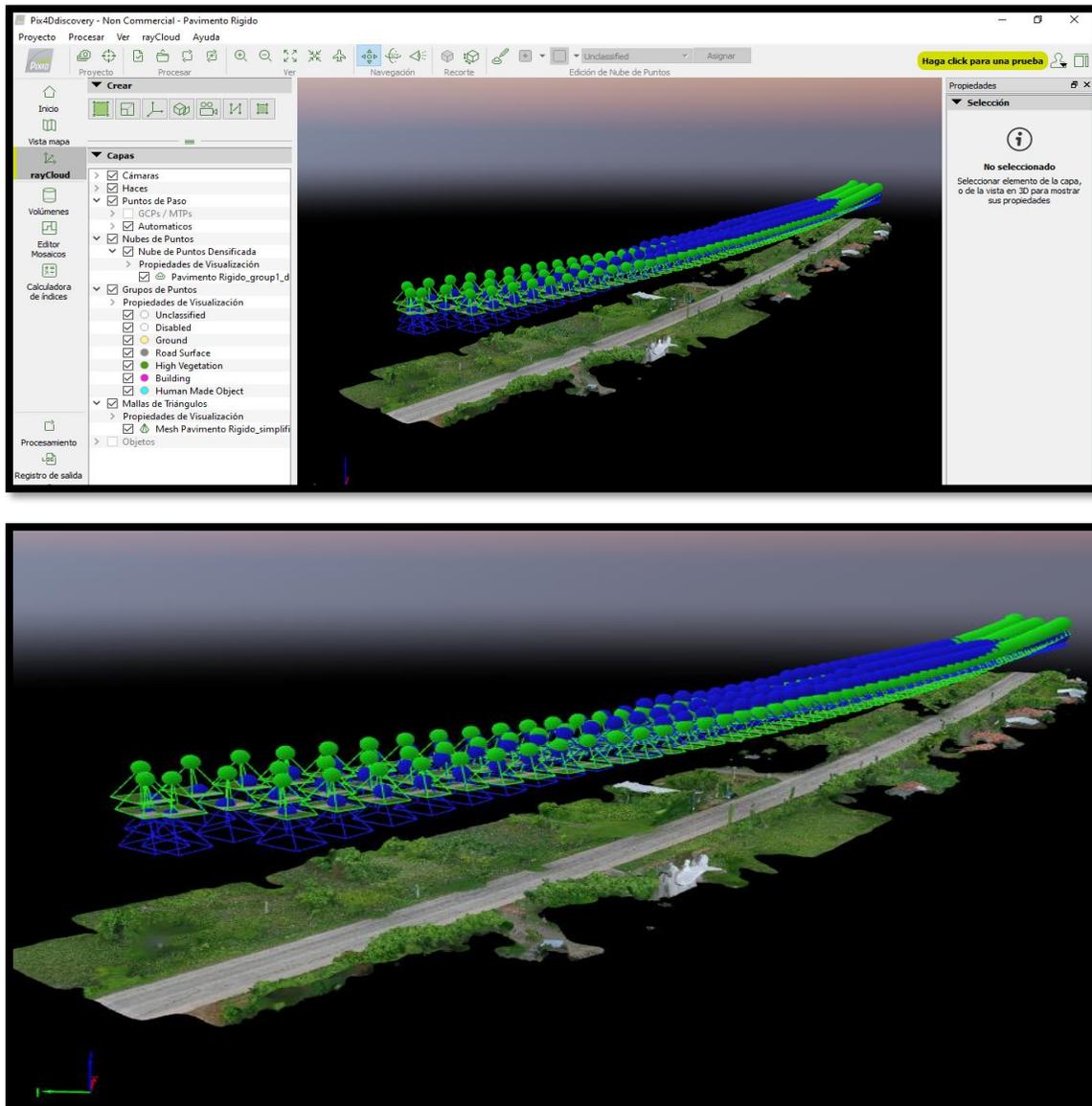


Figura 0.5: 4.5 Creación de nube de puntos densificada

Luego, realiza la triangulación entre puntos para generar la malla que da como resultado un modelo 3D digital de la zona de estudio como se aprecia en la figura 90: 4.6.

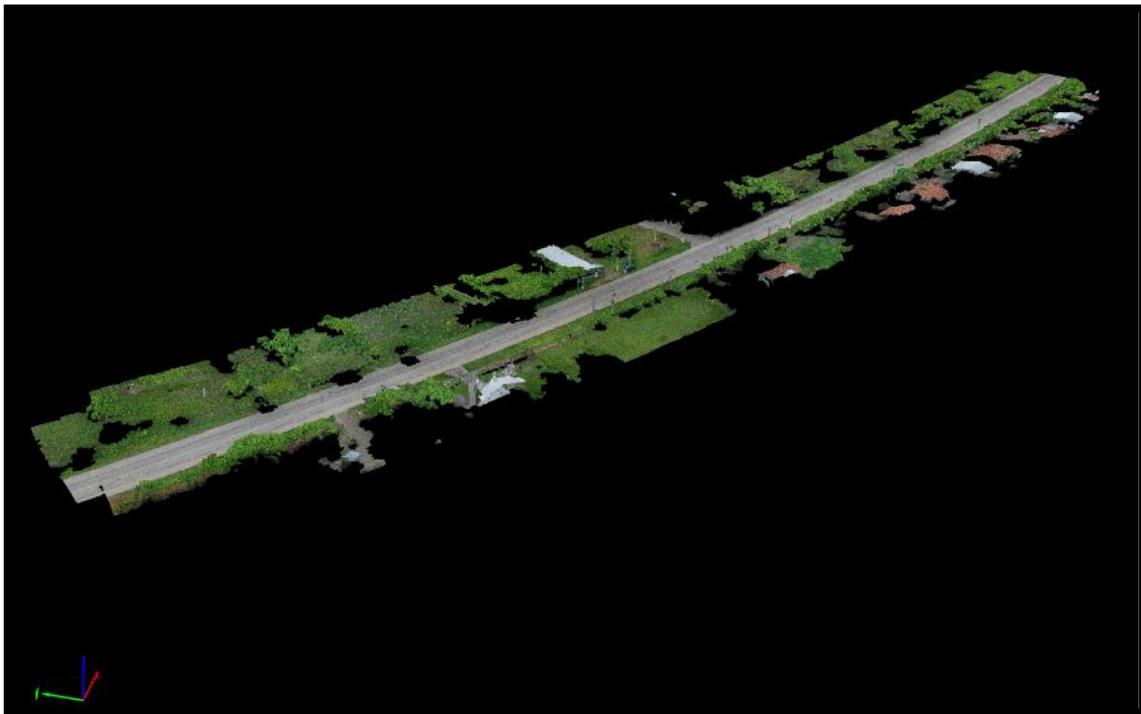
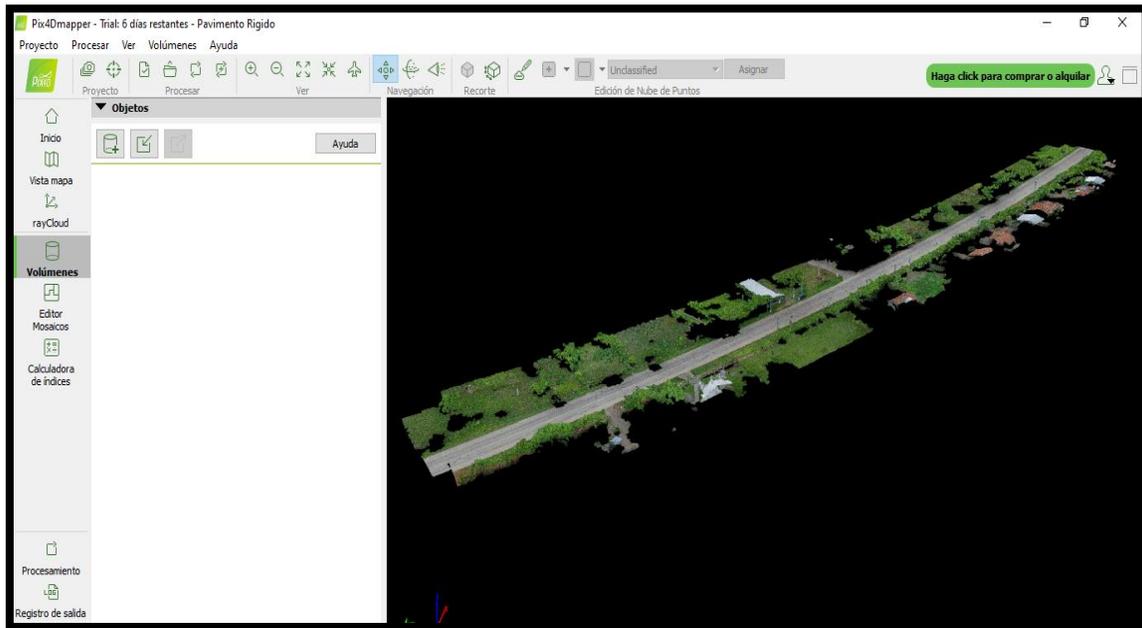


Figura 0.6: 4.6 Modelo digital 3D

4.1.3.6 ORTOFOTO Y MODELO DIGITAL DE LA SUPERFICIE

Se obtiene la ortofoto georreferenciada de toda la zona de estudio con una gran resolución como se aprecia en la figura 91: 4.7.



Figura 91: 4.7 Ortofoto de la zona de estudio

Por último, se genera el modelo digital de superficie, el cual representa las elevaciones del terreno asignando un color diferente en función a su posición espacial como se aprecia en la figura 92: 4.8.

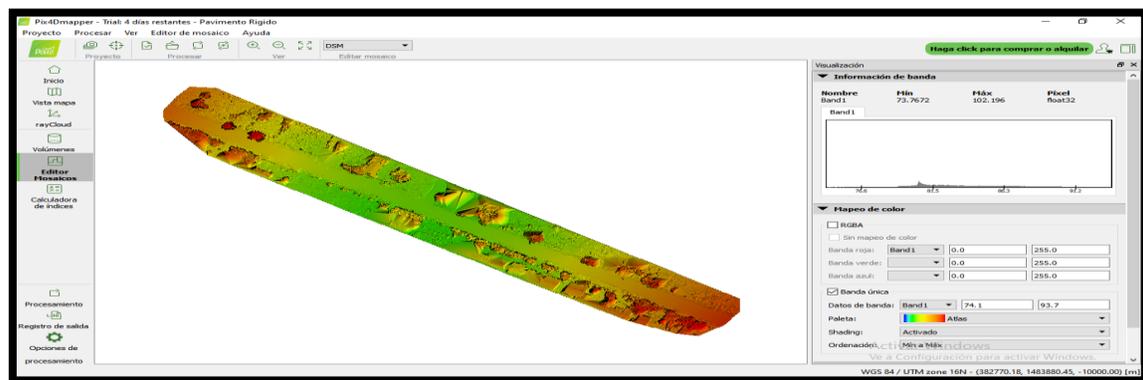


Figura 92: 4.8 Modelo digital de la superficie MDS

4.1.3.7 LIMPIEZA DE OBSTÁCULOS

Se obtuvo como producto la ortofoto de toda la vía, con una resolución de 7.1 mm por pixel, donde se encontraron varios vehículos y ramas de árboles que impedían ver el estado del pavimento, esto se debe a que no se cerró la vía para ejecutar el vuelo, como se aprecia en la figura 93: 4.9.

Sin embargo, el software permite editar la ortofoto, obteniendo como resultado una vía despejada de vehículos y algunas ramas de árboles para poder realizar la inspección completa de la misma, esto es posible ya que al tener imágenes traslapadas con 70 % frontal y 75% lateral, cada región del pavimento está capturada en más de una fotografía, por lo cual la ortofoto es modificable, como se aprecia en la figura 94: 4.10.



Figura 0.9: 4.9 Ortofoto con tránsito y rama de árbol

Fuente: Grupo de tesis

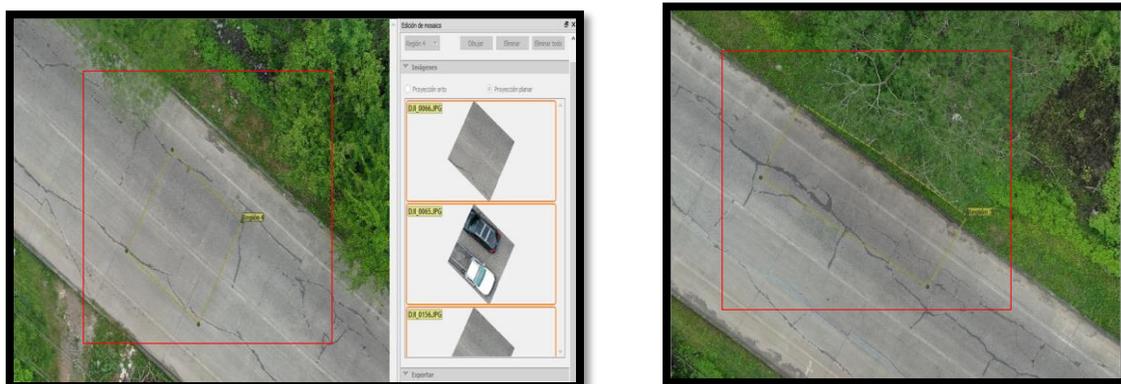


Figura 0.10: 4.10 Ortofoto editada

Fuente: Grupo de tesis

Se editaron 16 regiones de la vía en estudio, logrando obtener una ortofoto de la vía totalmente despejada como se aprecia en la figura 95: 4.11 b.

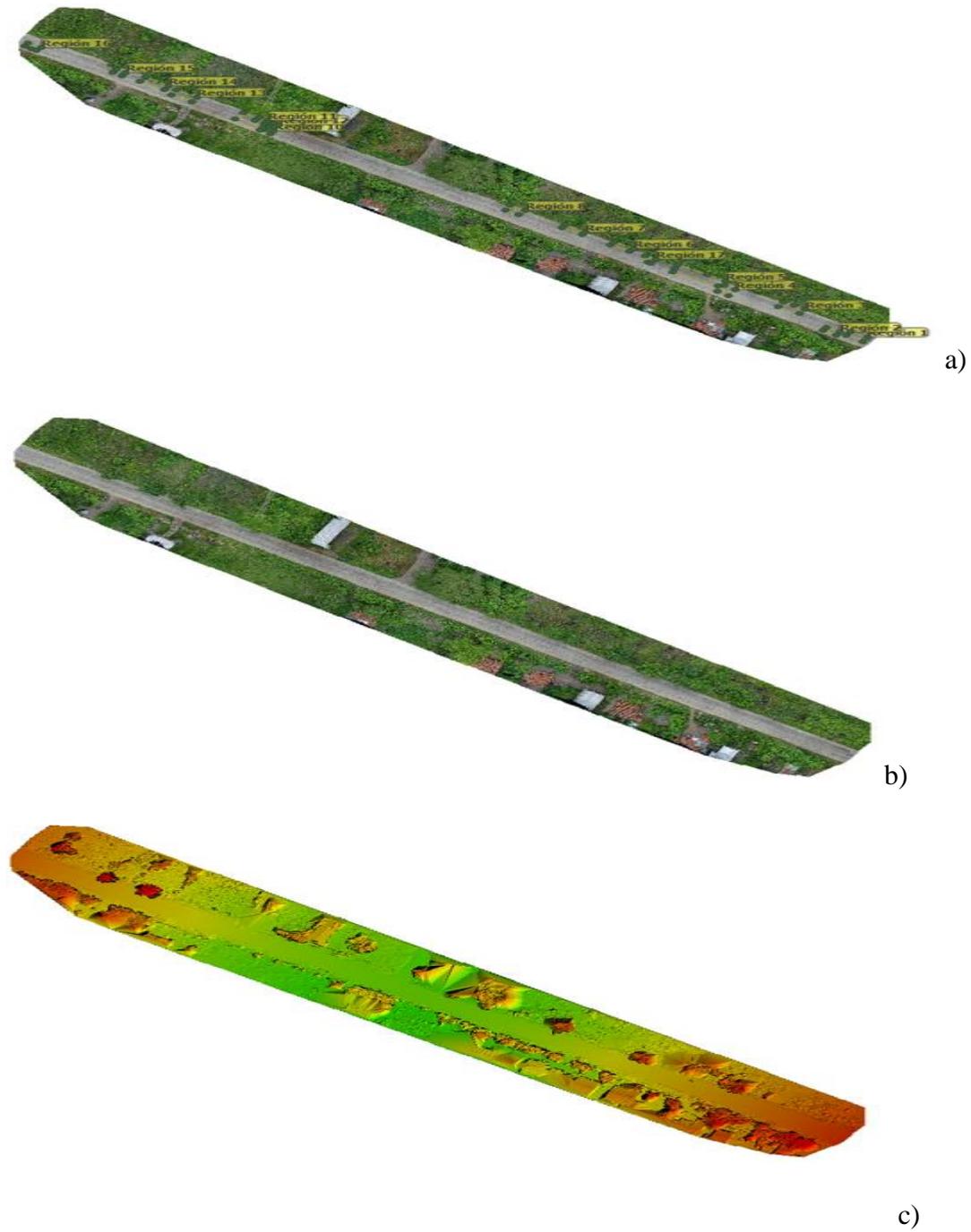


Figura 95: 4.11 a) Edición de ortofoto, b) Vía despejada, c) Modelo digital de la superficie

Fuente: Grupo de tesis

4.1.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO PCI

4.1.4.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO

Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Portland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos.

El tramo de vía de pavimento rígido en estudio cuenta con una longitud de 300 m, longitud de losa de 5 m, ancho de losa 4 m y ancho de hombros de 1.16 m, figura 96: 4.12.

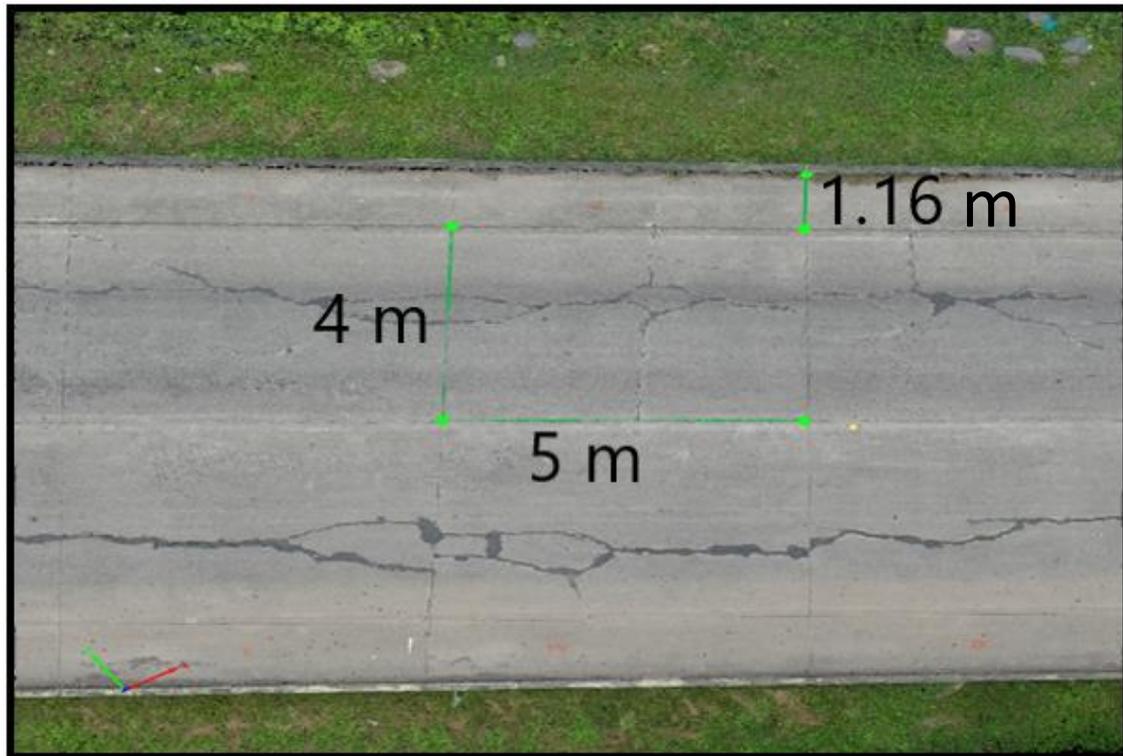


Figura 96: 4.12 Tramo de vía de pavimento rígido en estudio.

Fuente: Grupo de tesis.

Ésta se dividió en 4 unidades de muestreo en el carril A y 4 unidades de muestreo en el carril B con las dimensiones mostradas tabla 9: 4.1.

Tabla 9: 4.1 Unidades de muestreo pavimento rígido

Carril	Unidades de muestreo	Longitud(m)	Progresiva	N.º de losas
A/B	UM 1	70	0+00-0+70	14
A/B	UM 2	70	0+70-0+140	14
A/B	UM 3	70	0+140-0+210	14
A/B	UM 4	90	0+210-0+300	18

Fuente: Grupo de tesis.

4.1.4.2 IDENTIFICACIÓN Y METRADO DE FALLAS

Con la ortofoto de gran resolución y el modelo en 3D obtenidas del procesamiento fotogramétrico se procedió a realizar la inspección de la vía, identificando los tipos de falla presentes, nivel de severidad y el número de veces que se repite cada falla en las unidades de muestreo.

Los datos obtenidos de la inspección de la vía fueron introducidos en hojas de registro para finalmente aplicar el Método PCI y determinar la condición de cada unidad de muestra.

Dentro del modelo digital se recorre la vía observando el estado de la superficie del pavimento como se aprecia en la figura 97: 4.13.



Figura 97: 4.13 Inspección de la vía de pavimento rígido en el modelo 3D

Fuente: Grupo de tesis

En la inspección de la vía del tramo de pavimento rígido en las 8 unidades de muestreo encontramos 7 diferentes tipos de fallas de las 19 que existen para este tipo de pavimento las cuales mencionamos a continuación:

- Grieta lineal
- Losa dividida
- Parcheo grande
- Daño de sello de junta
- Parcheo Pequeño
- Pulimento de agregados
- Desprendimiento de junta

A manera de ilustración presentamos una imagen de cada tipo de falla donde la imagen superior es como se ve en la ortofoto y la imagen inferior como se ve en el modelo digital esa misma falla.

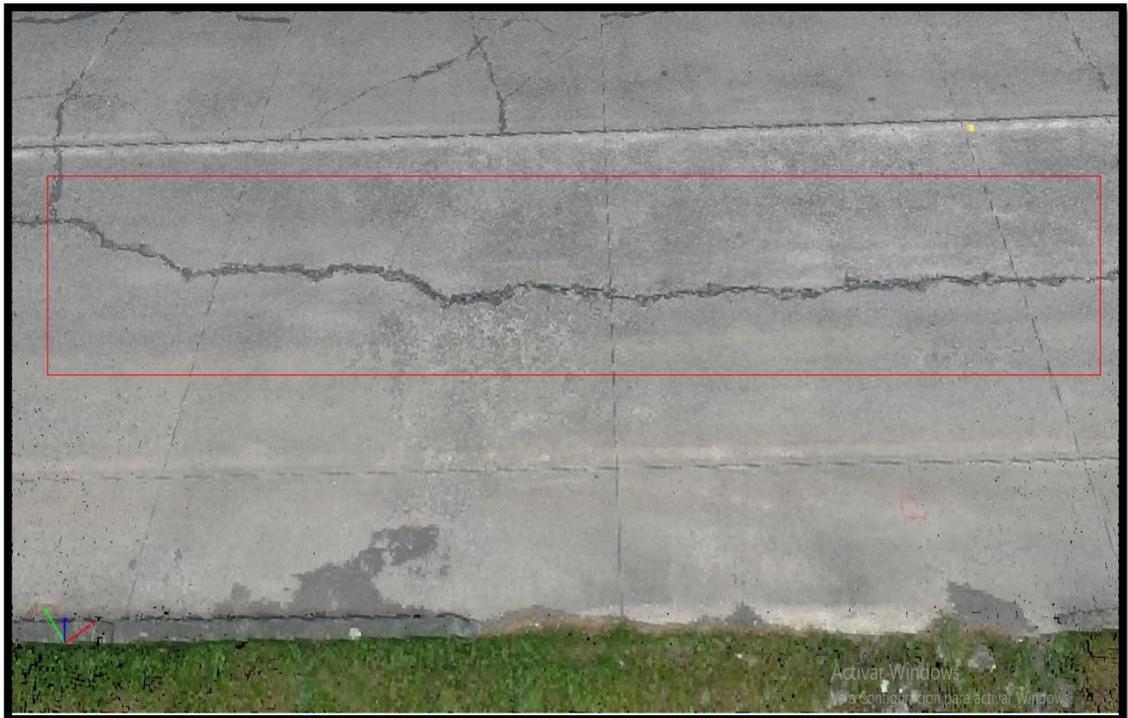


Figura 0.14: 4.14 Grieta lineal

Fuente: Grupo de tesis.

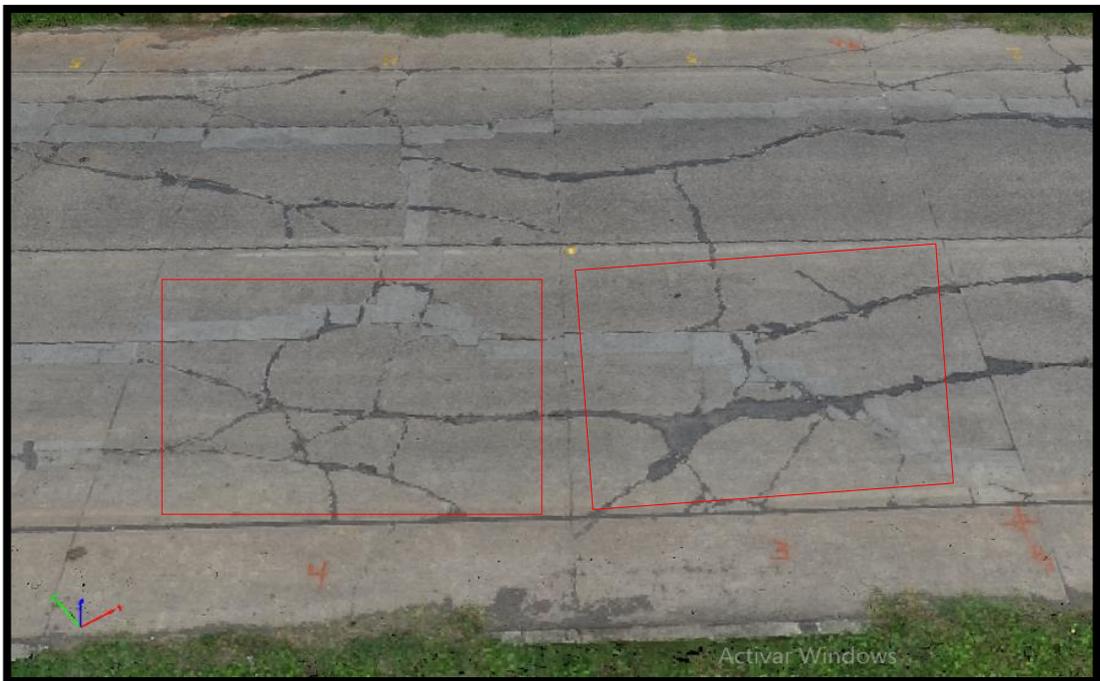


Figura 0.15: 4.15 Losa dividida

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 0.16: 4.16 Parcheo grande

Fuente: Grupo de tesis.

Las siguientes imágenes son obtenidas de la ortofoto.



Figura 101: 4.17 Sello de junta

Fuente: Grupo de tesis.

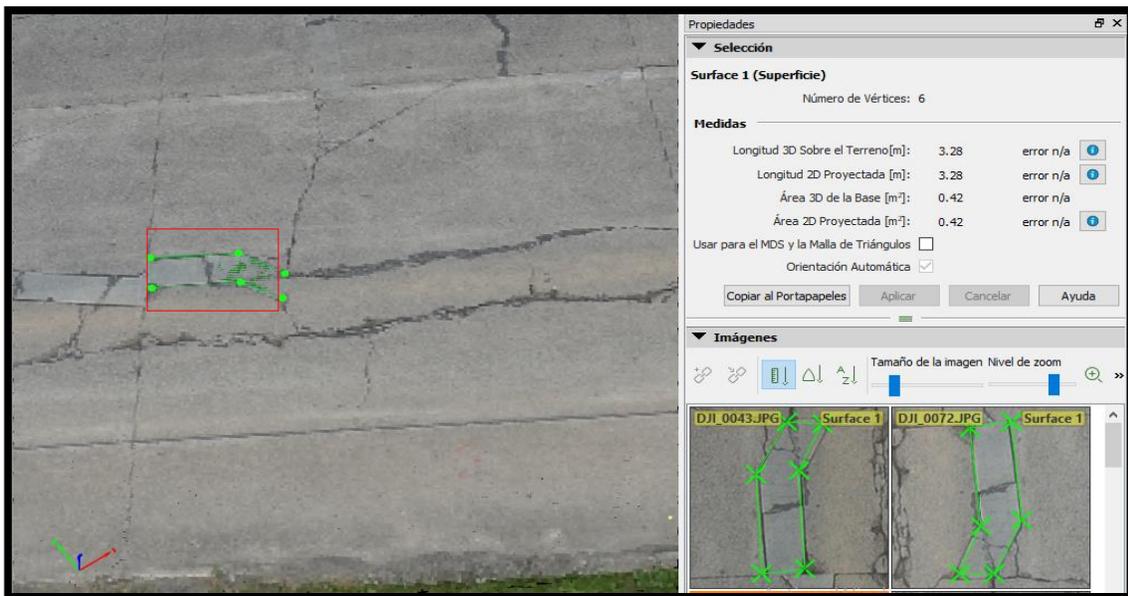


Figura 102: 4.18 Parcheo pequeño

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 103: 4.19 Pulimento de agregados

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 104: 4.20 Desprendimiento de junta

Fuente: Grupo de tesis.

4.1.4.3 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA

Se seleccionó la unidad de muestreo UM2 como ejemplo para poder entender paso a paso el procedimiento del cálculo del PCI para Pavimento Rígido y saber la condición actual de esa unidad de muestreo, la memoria de cálculo completa de todas las unidades de muestreo se presenta en el Anexo 5 y 6.

Etapa 1. Cálculo de los Valores Deducidos

1.a Se Contabiliza el número de LOSAS en las cuales se presenta cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad en el formato de Pavimento Rígido, figuras 105: 4.21 y 106: 4.22.

1.b Se divide el número de LOSAS contabilizado en 1.a. entre el número de LOSAS de la unidad y exprese el resultado como porcentaje (%) Esta es la DENSIDAD por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño, figura 107: 4.23.

1.c Se Determina los VALORES DEDUCIDOS para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleando la curva de “Valor Deducido de Daño” apropiada correspondiente a pavimentos de concreto, figura 108: 4.24 a 114: 4.30.

Etapa 2. Cálculo del número Admisible Máximo de Deducidos (m)

Se procede de manera idéntica a lo establecido para vías con capa de rodadura asfáltica, como se describió anteriormente, sección 3.1.5.3.

Etapa 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, VDC.

Se procede de manera idéntica a lo establecido para vías con capa de rodadura asfáltica, pero usando la curva correspondiente a pavimentos de concreto, sección 3.1.5.3.

Etapa 4. Calcule el PCI restando de 100 el máximo CDV

UM 02, progresiva 0+070 a 0+140, carril A.

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha: 8/7/2020		Codigo:UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Blow up/ Bucklin	Un.	11. Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12. Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15. Cruce de Via Ferrea	Un.				
6. Sello de junta	Un.	16. Desconchamiento	Un.				
7. Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18. Descascaramiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19. Desprendimiento de junta	Un.				
10. Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
		8		3		6	
		N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
86-100	EXCELENTE						
71-85	MUY BUENO						
56-70	BUENO	2	H	2	L	4	M
41-55	REGULAR	1	M	10	M		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA (M)							
ALTA (H)							

Figura 0.21: 4.21 Hoja de Inspección Pavimento Rígido UM2

Fuente: Grupo de tesis

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha: 8/7/2020		Codigo:UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Blow up/ Bucklin	Un.	11. Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12. Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15. Cruce de Via Ferrea	Un.				
6. Sello de junta	Un.	16. Desconchamiento	Un.				
7. Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18. Descascaramiento de esquina	Un.				
9. Parcho (grande)	Un.	19. Desprendimiento de junta	Un.				
10. Parcho (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	3	L				
41-55	REGULAR	2	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							

Figura 0.22: 4.22 Hoja de Inspección Pavimento Rígido UM2

Fuente: Grupo de tesis

CALCULO DEL PCI			
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
3	71.43	M	67
8	14.29	H	24
3	14.29	L	14
9	14.29	M	8
9	21.43	L	7
8	7.14	M	6
6	28.57	M	4
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			120
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			75
CONDICION DEL PAVIMENTO			25
			Muy malo

Figura 0.23: 4.23 Cálculo de Condición de unidad de muestra UM2

Fuente: Grupo de tesis

Densidades.

Falla 3.

$$\text{Densidad} = \frac{2}{14} * 100 = 14.29 \%$$

Falla 3.

$$\text{Densidad} = \frac{10}{14} * 100 = 71.43\%$$

Falla 6.

$$\text{Densidad} = \frac{4}{14} * 100 = 28.57 \%$$

Falla 8.

$$\text{Densidad} = \frac{1}{14} * 100 = 7.14 \%$$

Falla 8.

$$\text{Densidad} = \frac{2}{14} * 100 = 14.29 \%$$

Falla 9.

$$\text{Densidad} = \frac{2}{14} * 100 = 14.29 \%$$

Falla 9.

$$\text{Densidad} = \frac{3}{14} * 100 = 21.43 \%$$

Diagramas Valor deducido.

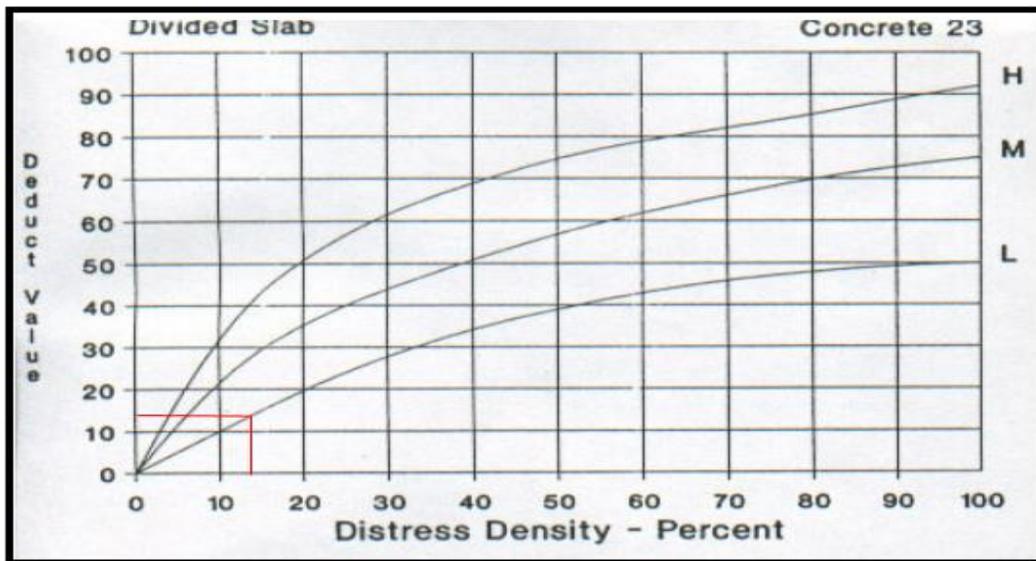


Figura 108: 4.24 Curva de valor deducido para Losa dividida

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.



Figura 109: 4.25 Curva de valor deducido para Losa dividida

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

El daño del sello de unión no está clasificado por densidad. La gravedad de la angustia está determinada por la condición general del sello para una unidad de muestra particular. Los valores de deducción para los tres niveles de gravedad son:

Joint Seal Damage		Concrete 26
Joint seal damage is not rated by density. The severity of the distress is determined by the sealant's overall condition for a particular sample unit.		
The deduct values for the three levels of severity are:		
LOW	2 points	
MEDIUM	4 points	
HIGH	8 points	

Figura 110: 4.26 Valor deducido para daño sello de junta

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

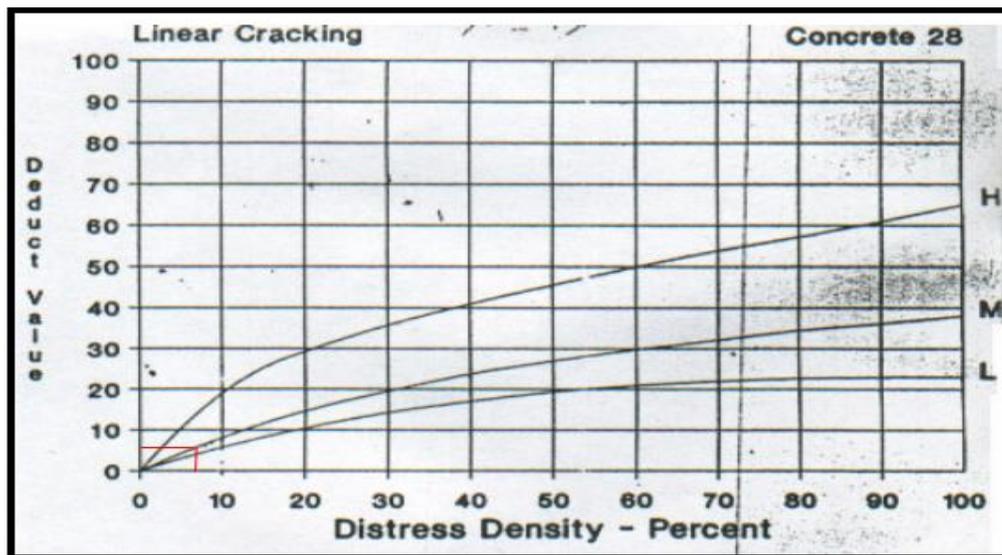


Figura 111: 4.27 Curva de valor deducido para grieta lineal

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

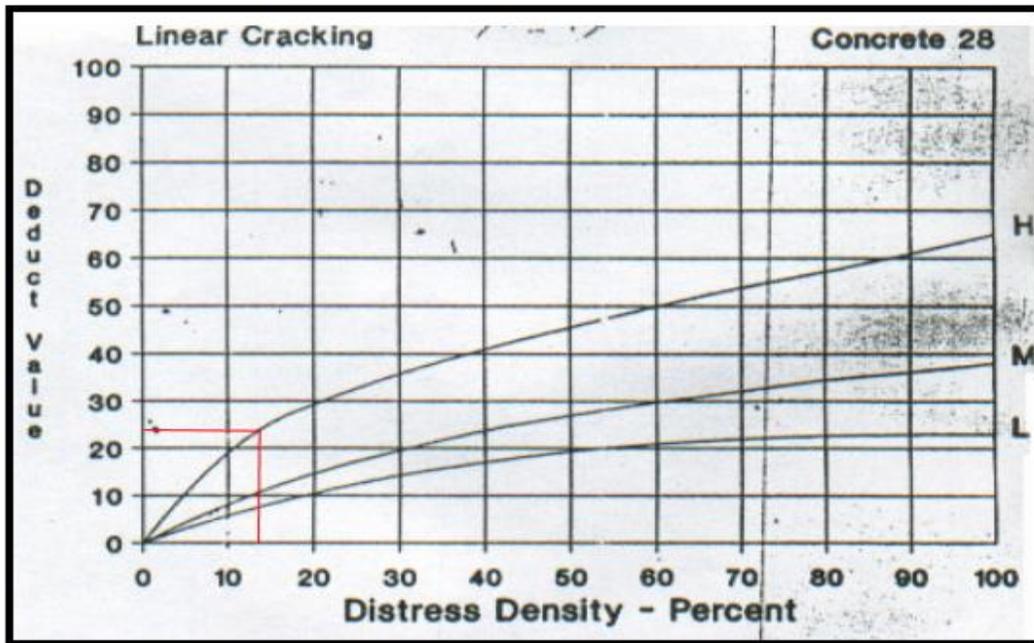


Figura 112: 4.28 Curva de valor deducido para grieta lineal

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

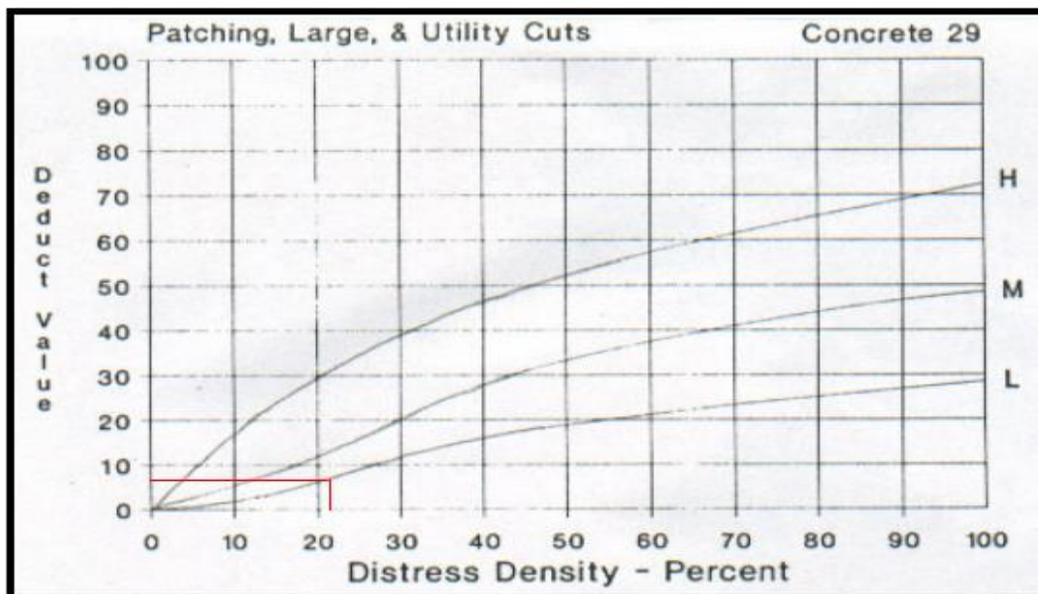


Figura 113: 4.29 Curva de valor deducido para para parcheo grande

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

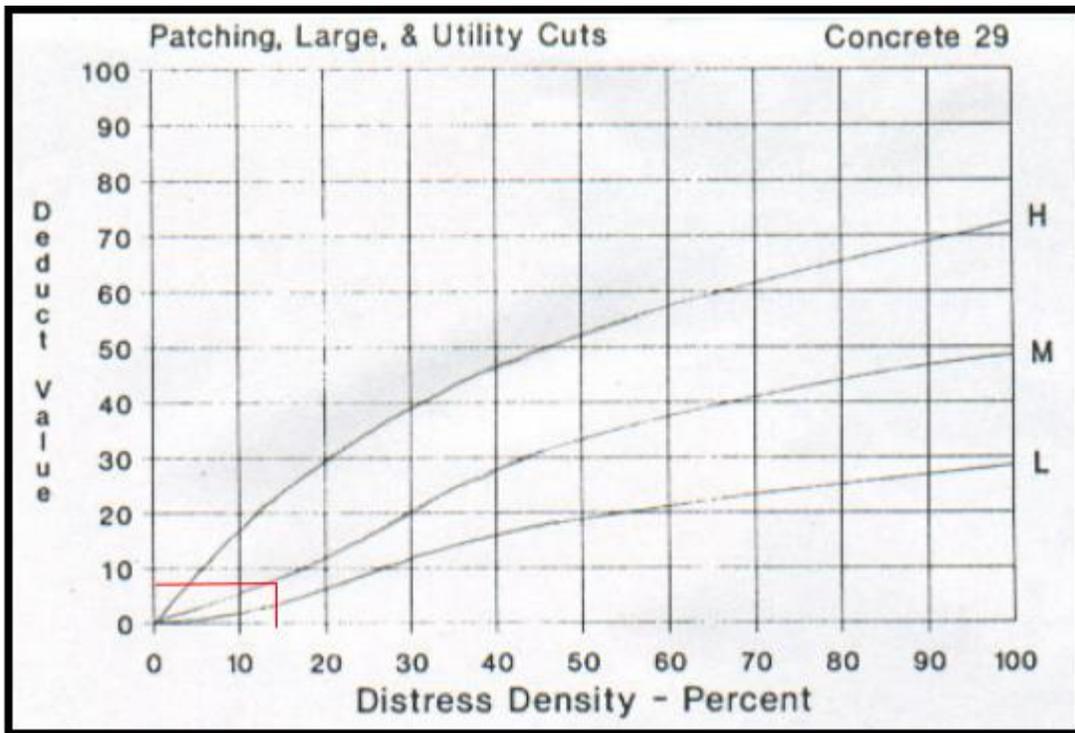


Figura 114: 4.30 Curva de valor deducido para parcheo grande

Fuente: PCI para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, por Ing. Esp. L. R. Vásquez Varela, 2002, Manizales.

Número máximo admisible de valores deducidos.

$$M = 1 + \frac{9}{98}(100 - 67) = 4.03 \approx 5$$

Máximo valor deducido corregido.

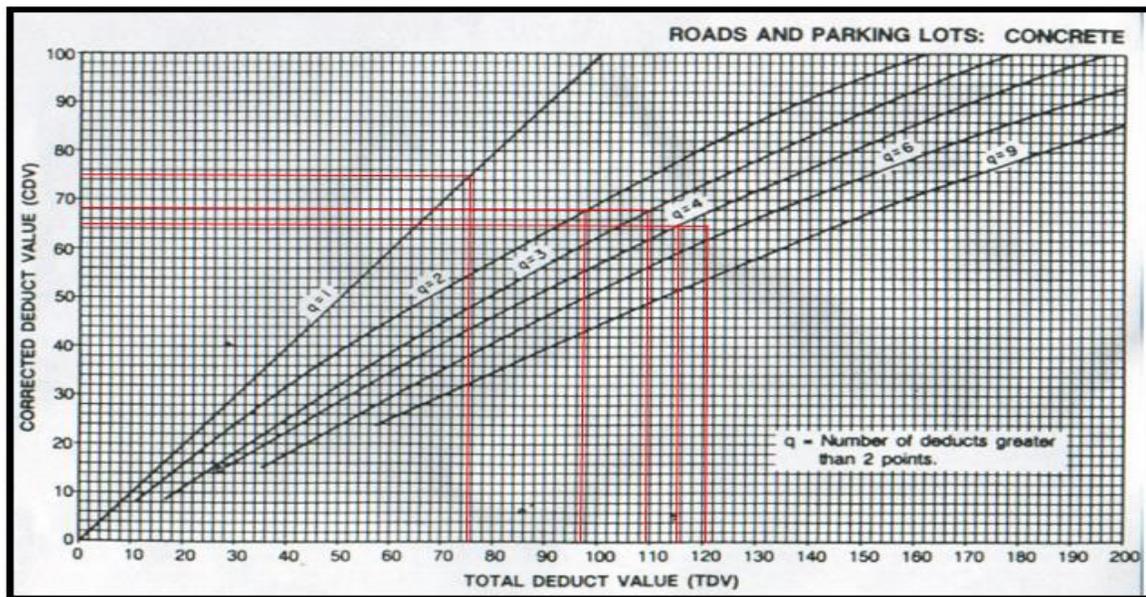


Tabla 10: 4.2 Valores deducidos corregidos

Nº	VALORES DEDUCIDOS					VDT	Q	VDC
1	67	24	14	8	7	120	5	65
2	67	24	14	8	2	115	4	65
3	67	24	14	2	2	109	3	68
4	67	24	2	2	2	97	2	68
5	67	2	2	2	2	75	1	75

Fuente: Grupo de tesis.

Max VDC= 75

Calcular PCI

PCI = 100- max VDC

PCI = 100-75 = 25

UM 02 carril A, índice de condición del pavimento 25, se clasifica como pavimento MUY MALO. [25 – 10].

4.1.4.4 RESULTADOS PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT

Luego de realizar el plan de vuelo, ejecución del vuelo, procesamiento de la información, identificación, contabilización y registro de los diferentes tipos de fallas con su respectivo nivel de severidad en la Ortofoto y modelo 3D se procedió aplicar la metodología del PCI para pavimento Rígido a todas las unidades de muestreo siguiendo el mismo procedimiento de cálculo expuesto como ejemplo para la unidad de muestreo UM2 en la sección 3.1.5.3 1.

Las hojas de inspección y cálculos de PCI en cada unidad de muestra evaluada se encuentran en el Anexo 4 de la presente tesis.

La tabla 11: 4.3 muestra los resultados obtenidos en cada unidad de muestra con su respectivo PCI y clasificación.

Tabla 11: 4.3 Resultados de PCI

Unidad de muestreo	N° de losas	PCI	Clasificación
UM1 A	14	29	Malo
UM2 A	14	25	Muy malo
UM3 A	14	14	Muy malo
UM4 A	18	18	Muy malo
UM1 B	14	39	Malo
UM2 B	14	25	Muy malo
UM3 B	14	3	Fallado
UM4 B	18	35	Malo

Fuente: Grupo de tesis.

4.2 CÁLCULO DEL PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

4.2.1 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO

Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Portland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

El tramo de Pavimento en estudio cuenta con una longitud de 300 m, longitud de losa de 5m, ancho de losa de 4m y hombros de 1.16 m, medición reflejada en las figuras 115: 4.31 a 117: 4.33.

Debido a lo anterior se dividió la vía en unidades de muestreo de 14 losas y 18 losas.

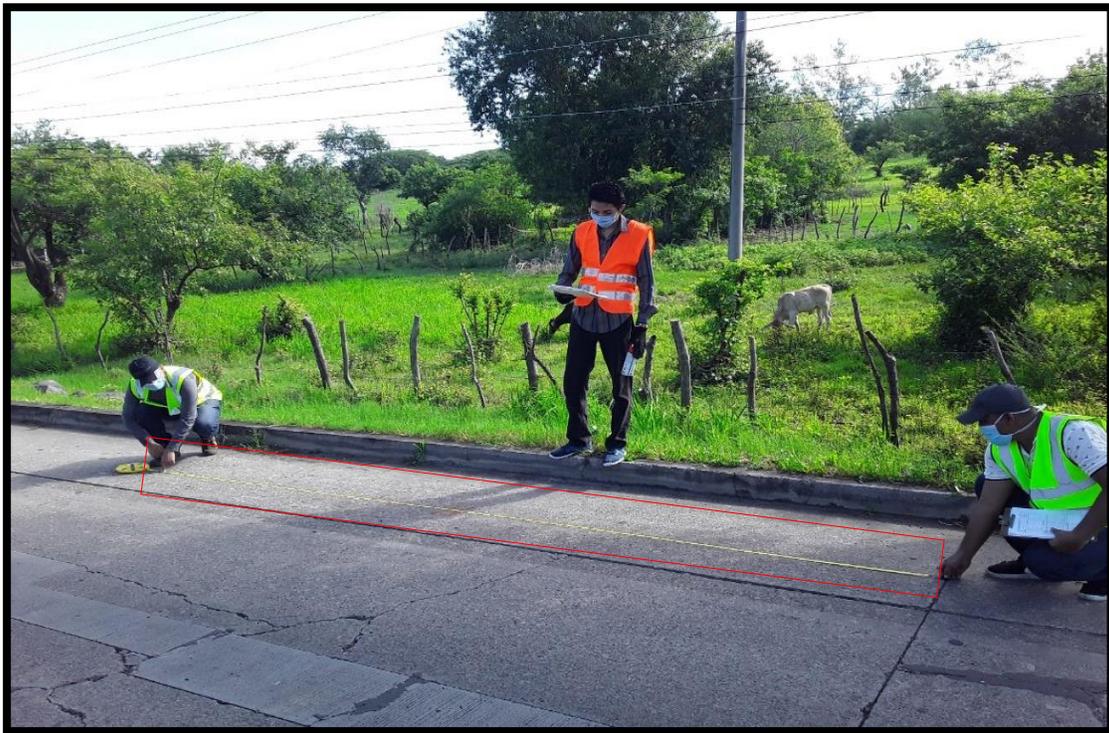


Figura 115: 4.31 Medición de longitud de losa

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 116: 4.32 Medición de ancho de losa

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 117: 4.33 Delimitación de unidades de muestreo

Fuente: Grupo de tesis.

4.2.2 LEVANTAMIENTO DE FALLAS EN CAMPO

El relevamiento de las fallas se realizó evaluando todas las unidades de muestreo registrando primero las fallas de un carril y luego el siguiente empleando hojas de inspección y catálogo de fallas de referencia.

Fue necesario usar equipo de protección como el uso de mascarillas y lentes debido a la pandemia del COVID-19, también equipo de seguridad como chalecos reflejantes y conos debido al tránsito de vehículos tal como se muestra en la figura 118: 4.34.



Figura 118: 4.34 Hojas de registro y equipo de seguridad

Fuente: Grupo de tesis.

En la inspección de la vía del tramo de pavimento rígido en las 8 unidades de muestreo encontramos 7 diferentes tipos de fallas de las 19 que existen para este tipo de pavimento las cuales fueron: Grieta lineal, Losa dividida, Parcheo grande, Daño de sello de junta, Parcheo Pequeño, Pulimiento de agregados, Desprendimiento de junta, Losa dividida, las cuales se muestran a continuación:

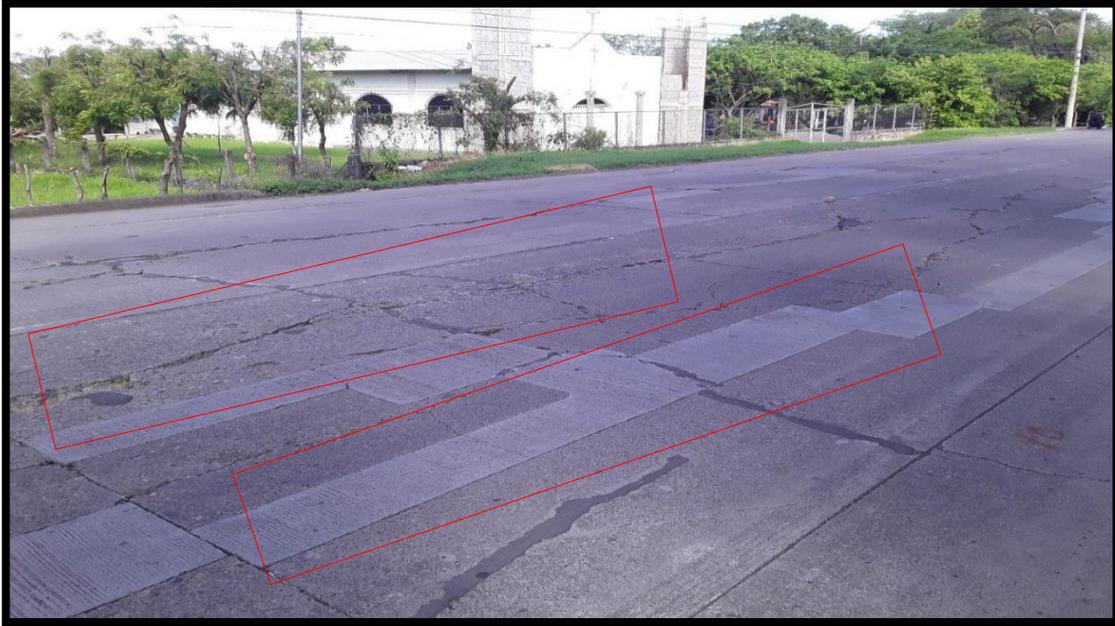


Figura 119: 4.35 Losa dividida, parqueo

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 120: 4.36 Grieta lineal

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 121: 4.37 Desprendimiento de junta, parcheo, losa dividida

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 122: 4.38 Daño de sello de junta, grieta lineal y pulimento

Fuente: Grupo de tesis.



Figura 123: 4.39 Parqueo grande, grietas lineales

Fuente: Grupo de tesis.

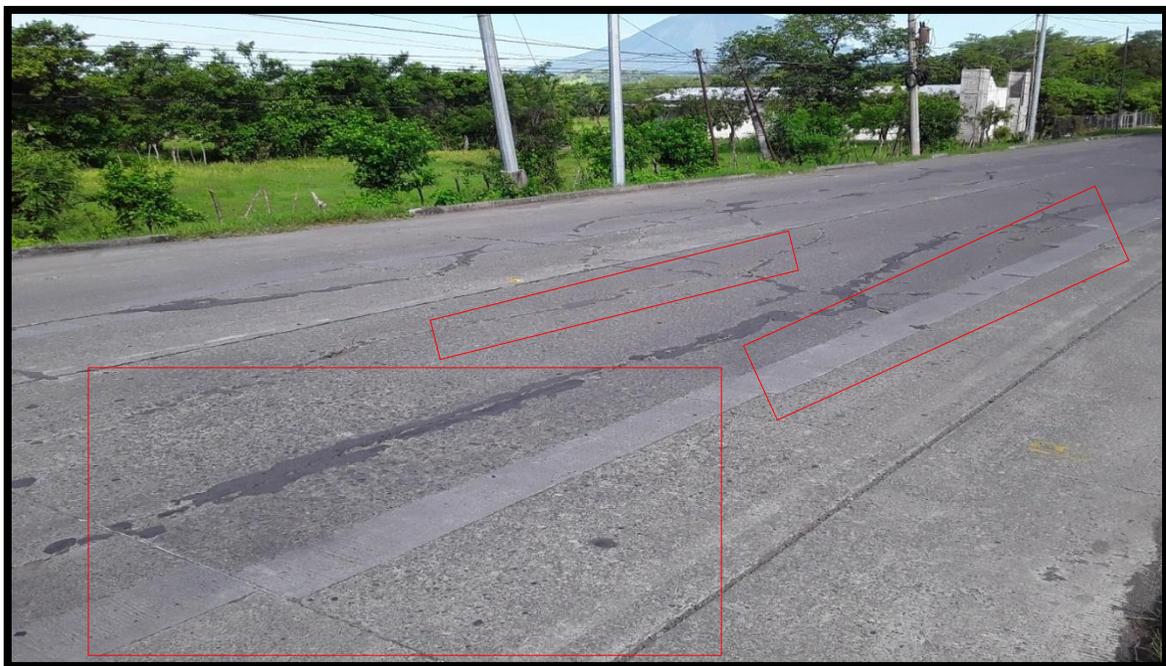


Figura 124: 4.40 Grietas lineales, parcheo, pulimento

Fuente: Grupo de tesis.

4.2.3 RENDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y PERSONAL DE CAMPO

El tiempo total de inspección por carril fue de 5 horas iniciando en el carril A el día sábado 11 de julio del 2020 a las 6.00 am y finalizando a las 11.00 am y el carril B el día domingo 12 de julio del 2020 iniciando a las 6.00 am y finalizando a las 11.00 am haciendo un total de 10 horas en evaluar todas las unidades con un rendimiento promedio de 30 minutos por unidad.

Para la inspección el personal de campo fue compuesto por los 4 integrantes de la presente tesis, de los cuales 2 se encargaron de medir e identificar las fallas, otro del registro de datos y otro de la toma de fotografías.

4.2.4 CÁLCULO DEL PCI EN UNIDAD DE MUESTRA

El procedimiento de cálculo es similar al realizado para la UM2 en la sección 3.1.5.3

Para ver el procedimiento de cálculo de cada unidad de muestreo consultar el Anexo 6 de la presente tesis.

4.2.5 RESULTADOS PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

Luego de ir al campo al tramo de pavimento rígido y registrar en los formatos de inspección el número de veces que se repiten los diferentes tipos de fallas encontradas en cada unidad de muestreo y su nivel de severidad se procedido en gabinete a calcular el PCI de cada unidad de muestreo.

Las hojas de inspección y cálculos de PCI en cada unidad de muestra evaluada se encuentran en el Anexo 6 de la presente tesis.

La tabla 12: 4.4 muestra los resultados obtenidos en cada unidad de muestra con su respectivo PCI y clasificación.

Tabla 12: 4.4 Resultados de PCI

Unidad de muestreo	N° de losas	PCI	Clasificación
UM1 A	14	28	Malo
UM2 A	14	24	Muy malo
UM3 A	14	12	Muy malo
UM4 A	18	17	Muy malo
UM1 B	14	30	Malo
UM2 B	14	25	Muy malo
UM3 B	14	1	Fallado
UM4 B	18	38	Malo

Fuente: Grupo de tesis.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MÉTODO PCI EMPLEANDO VANT Y FORMA TRADICIONAL

5.1.1 ANÁLISIS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Tabla 13: 5.1 Comparación de fallas empleando VANT y forma tradicional

Unidad de muestreo	Tipo de falla	Cantidad Forma tradicional	Severidad			Cantidad VANT	Severidad			Diferencia
			Baja	Media	Alta		Baja	Media	Alta	
UM1	Grieta piel de cocodrilo (m2)	7.40	*			8.52	*			1.12
	Agrietamiento en bloque (m2)	35.20		*		34.95		*		-0.25
	Grieta de borde (m)	10.10	*			9.47	*			-0.63
	Grieta longitudinal y transversal (m)	11.10	*			11.86	*			0.76
		20.00		*		22.86		*		2.86
	Parqueo (m2)	16.50	*			17.23	*			0.73
Huecos (u)	1.00	*			1.00	*			0.00	
UM2	Grieta piel de cocodrilo (m2)	5.17		*		6.03		*		0.86
	Agrietamiento en bloque (m2)	116.93		*		116.42		*		-0.51
	Parqueo (m2)	44.10	*			44.20	*			0.10
UM3	Grieta piel de cocodrilo (m2)	82.30			*	82.04			*	-0.26
	Agrietamiento en bloque (m2)	17.55		*		16.68		*		-0.87
	Grieta longitudinal y transversal (m)	15.30	*			16.48	*			1.18
UM4	Grieta piel de cocodrilo (m2)	38.15	*			38.54	*			0.39
		59.50		*		59.34		*		-0.16
		4.57			*	5.24			*	0.67
	Agrietamiento en bloque (m2)	29.03	*			28.71	*			-0.32
	Grieta longitudinal y transversal (m)	15.60	*			16.64	*			1.04
		4.00		*		4.00		*		0.00
UM5	Agrietamiento en bloque (m2)	97.65			*	97.55			*	-0.10
		15.20	*			15.18	*			-0.02
	Grieta longitudinal y transversal (m)	17.50	*			17.63	*			0.13
	Desprendimiento de agregados (m2)	7.75	*			7.35	*			-0.40
UM6	Grieta piel de cocodrilo (m2)	28.10		*		28.55		*		0.45
	Grieta longitudinal y transversal (m)	55.80	*			55.71	*			-0.09
		11.90		*		12.00		*		0.10
UM7	Grieta piel de cocodrilo (m2)	13.58			*	13.73			*	0.15
	Agrietamiento en bloque (m2)	22.50			*	22.86			*	0.36
	Depresión (m2)	6.25	*			6.40	*			0.15
	Grieta longitudinal y transversal (m)	17.75	*			18.00	*			0.25
		13.70		*		13.42		*		-0.28
Huecos (u)	1.00	*			1.00	*			0.00	
UM8	Grieta piel de cocodrilo (m2)	13.75		*		13.82		*		0.07
	Grieta longitudinal y transversal (m)	61.05	*			61.00	*			-0.05
	Pulimento de agregados (m2)	41.09	*			41.11	*			0.02
UM9	Depresión (m2)	2.00	*			1.58	*			-0.42
		4.50		*		4.28		*		-0.22
	Grieta longitudinal y transversal (m)	39.10	*			39.25	*			0.15
	Parqueo (m2)	26.95	*			26.98	*			0.03
Grieta parabólica (m2)	1.85	*			1.84	*			-0.01	
UM10	Grieta piel de cocodrilo (m2)	34.05		*		33.96		*		-0.09
		9.80			*	9.82			*	0.02
	Agrietamiento en bloque (m2)	23.30		*		23.24		*		-0.06
Parqueo (m2)	80.75	*			80.80	*			0.05	

Fuente: Grupo de tesis.

En la unidad de muestreo 1 (UM 1) se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 7.40 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 8.52 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1.12; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 35.20 m² con severidad Media en la forma tradicional y de 34.95 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.25; Grieta de borde en una cantidad de 10.10 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 9.47 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.63; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 11.10 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 11.86 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.76; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 20 m con severidad Media en la forma tradicional, y de 22.86 m con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 2.86; Parcheo en una cantidad de 16.50 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 17.23 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.73; Huecos en una cantidad de 1 con severidad Baja en la forma tradicional, y de 1 con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la UM 2 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 5.17 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 6.03 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.86; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 116.93 m² con severidad Media en la forma tradicional y de 116.42 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.51; Parcheo en una cantidad de 44.10 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 44.20 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.10.

En la UM 3 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 82.30 m² con severidad Alta en la forma tradicional, y de 82.04 m² con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de -0.26; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 17.55 m² con severidad Media en la forma tradicional y de 16.68 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.87; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 15.30 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 16.48 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1.18.

En la UM 4 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 38.15 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 38.54 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.39; Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 59.50 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 59.34 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.16; Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 4.57 m² con severidad Alta en la forma tradicional, y de 5.24 m² con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0.67; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 29.03 m² con severidad Baja en la forma tradicional y de 28.71 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.32; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 15.60 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 16.64 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1.04; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 4 m con severidad Media en la forma tradicional, y de 4 m con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la UM 5 se muestran fallas como Agrietamiento en bloque en una cantidad de 97.65 m² con severidad Alta en la forma tradicional, y de 97.55 m² con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de -0.10; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 15.20 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 15.18 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.02; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 17.50 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 17.63 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.13; Desprendimiento de agregados en una cantidad de 7.75 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 7.35 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.40.

En la UM 6 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 28.10 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 28.55 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.45; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 55.80 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 55.71 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.09; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 11.90 m con severidad Media en la forma tradicional, y de 12 m con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.10.

En la UM 7 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 13.58 m² con severidad Alta en la forma tradicional, y de 13.73 m² con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0.15; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 22.50 m² con severidad Alta en la forma tradicional, y de 22.86 m² con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0.36; Depresión en una cantidad de 6.25 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 6.40 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.15; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 17.75 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 18 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.25; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 13.70 m con severidad Media en la forma tradicional, y de 13.42 m con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.28; Huecos en una cantidad de 1 con severidad Baja en la forma tradicional, y de 1 con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la UM 8 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 13.75 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 13.82 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.07; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 61.05 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 61 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.05; Pulimento de agregados en una cantidad de 41.09 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 41.11 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.02.

En la UM 9 se muestran fallas como Depresión en una cantidad de 2 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 1.58 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.42; Depresión en una cantidad de 4.50 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 4.28 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.22; Grieta longitudinal y transversal en una cantidad de 39.10 m con severidad Baja en la forma tradicional, y de 39.25 m con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.15; Parcheo en una cantidad de 26.95 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 26.98 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.03; Grieta parabólica en una cantidad de 1.85 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 1.84 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -0.01.

En la UM 10 se muestran fallas como Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 34.05 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 33.96 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.09; Grieta piel de cocodrilo en una cantidad de 9.80 m² con severidad Alta en la forma tradicional, y de 9.82 m² con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0.02; Agrietamiento en bloque en una cantidad de 23.30 m² con severidad Media en la forma tradicional, y de 23.24 m² con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -0.06; Parcheo en una cantidad de 80.75 m² con severidad Baja en la forma tradicional, y de 80.80 m² con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0.05.

Tabla 14: 5.2 Resultados método PCI empleando VANT y forma tradicional

Unidad de muestreo	Área (m ²)	PCI Forma tradicional	Clasificación	PCI VANT	Clasificación	Diferencia
UM 1	240	55	Regular	54	Regular	-1
UM 2	240	45	Regular	47	Regular	2
UM 3	240	19	Muy malo	18	Muy malo	-1
UM 4	240	17	Muy malo	15	Muy malo	-2
UM 5	240	37	Malo	36	Malo	-1
UM 6	240	47	Regular	48	Regular	1
UM 7	240	32	Malo	34	Malo	2
UM 8	240	57	Bueno	56	Bueno	-1
UM 9	240	73	Muy bueno	74	Muy bueno	1
UM 10	240	19	Muy malo	20	Muy malo	1

Fuente: Grupo de tesis.

La primera unidad de muestreo (UM 1) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 55 clasificándose como Regular, y empleando un VANT un PCI de 54 clasificándose como Regular, dando una diferencia de -1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestro 2 (UM 2) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 45 clasificándose como Regular, y empleando un VANT un PCI de 47 clasificándose como Regular, dando una diferencia de 2, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La tercera unidad de muestro (UM 3) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 19 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 18 clasificándose como Muy malo, dando una diferencia de -1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestro 4 (UM 4) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 17 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 15 clasificándose como Regular, dando una diferencia de -2, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestro 5 (UM 5) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 37 clasificándose como Malo, y empleando un VANT un PCI de 36 clasificándose como Malo, dando una diferencia de -1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La sexta unidad de muestro (UM 6) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 47 clasificándose como Regular, y empleando un VANT un PCI de 48 clasificándose como Regular, dando una diferencia de 1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestro 7 (UM 7) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 32 clasificándose como Malo, y empleando un VANT un PCI de 34 clasificándose como Malo, dando una diferencia de 2, es decir, debido a

que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestro 8 (UM 8) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 57 clasificándose como Bueno, y empleando un VANT un PCI de 56 clasificándose como Bueno, dando una diferencia de -1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La novena unidad de muestreo (UM 9) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 73 clasificándose como Muy bueno, y empleando un VANT un PCI de 74 clasificándose como Muy bueno, dando una diferencia de 1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La décima unidad de muestreo (UM 10) con área de 240 m² (incluyendo carriles A y B), da como resultado en la forma tradicional un PCI de 19 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 20 clasificándose como Muy malo, dando una diferencia de 1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

En relación a los rendimientos para el relevamiento de las fallas en campo de forma tradicional, se evaluaron 10 unidades de muestreo con tiempo de inspección por carril de 5 horas haciendo un tiempo total de inspección de 10 horas y para el VANT se levantaron las 10 unidades en 9.50 minutos. Para la inspección de forma tradicional el personal de campo fue compuesto por 4 personas (integrantes de la presente tesis) y para el VANT se requieren solo 2 personas, operador y asistente (por cuestión de aprendizaje estuvimos presente los 4 integrantes de la tesis, fungiendo 1 como asistente). Para el relevamiento de fallas de forma tradicional se debe cerrar parcial o totalmente la calle, lo cual es nuestro caso por cuestión de la pandemia del COVID-19 no fue necesario por el poco flujo de vehículos en la carretera de estudio, y para el VANT no se requiere del cierre parcial ni total de la carretera.

5.1.2 ANÁLISIS DE PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 15: 5.3 Comparación de fallas empleando VANT y forma tradicional

Unidad de muestreo	Tipo de falla	Cantidad Forma tradicional	Severidad			Cantidad VANT	Severidad			Diferencia
			Baja	Media	Alta		Baja	Media	Alta	
UM1 A	Losas divididas (u)	2.00	*			3.00	*			1.00
		9.00		*		8.00		*		-1.00
	Grietas lineales (u)	4.00			*	3.00			*	-1.00
						1.00		*		1.00
	Parcheo (grande) (u)	4.00	*			3.00	*			-1.00
1.00			*		2.00		*		1.00	
UM2 A	Losas divididas (u)	1.00	*			2.00	*			1.00
		11.00		*		10.00		*		-1.00
	Sello de junta (u)	4.00		*		4.00		*		0.00
		1.00		*		1.00		*		0.00
	Grietas lineales (u)	2.00			*	2.00			*	0.00
		1.00	*			3.00	*			2.00
Parcheo (grande) (u)	4.00		*		2.00		*		-2.00	
UM3 A	Losas divididas (u)	1.00	*			1.00	*			0.00
		3.00		*		2.00		*		-1.00
		5.00			*	6.00			*	1.00
	Sello de junta (u)	2.00		*		3.00		*		1.00
		1.00		*						-1.00
	Grietas lineales (u)	4.00			*	5.00			*	1.00
		10.00	*			11.00	*			1.00
	Parcheo (grande) (u)	3.00		*		2.00		*		-1.00
UM4 A	Losas divididas (u)	2.00		*		3.00		*		1.00
		10.00			*	9.00			*	-1.00
	Sello de junta (u)	9.00		*		9.00		*		0.00
		2.00		*		3.00		*		1.00
	Grietas lineales (u)	5.00			*	4.00			*	-1.00
		4.00	*			5.00	*			1.00
	Parcheo (grande) (u)	5.00		*		4.00		*		-1.00
1.00				*	1.00			*	0.00	
UM1 B	Losas divididas (u)	4.00		*		6.00		*		2.00
		2.00			*					-2.00
	Grietas lineales (u)	2.00	*							-2.00
		6.00		*		8.00		*		2.00
	Parcheo (grande) (u)	3.00	*			2.00	*			-1.00
						1.00		*		1.00
Parcheo pequeño (u)	1.00		*		1.00		*		0.00	
UM2 B	Losas divididas (u)	1.00	*							-1.00
		10.00		*		11.00		*		1.00
	Grietas lineales (u)	1.00	*			2.00	*			1.00
		2.00		*		1.00		*		-1.00
	Parcheo (grande) (u)	3.00		*		3.00		*		0.00

UM3 B	Losa dividida (u)	8.00		*		8.00		*		0.00
		6.00			*	5.00			*	-1.00
						1.00	*			
	Sello de junta (u)	1.00	*							-1.00
		12.00		*		13.00		*		1.00
	Parcheo (grande) (u)	2.00	*			3.00	*			1.00
		7.00		*		6.00		*		-1.00
		3.00			*	3.00			*	0.00
	Parcheo pequeño (u)	1.00		*		1.00		*		0.00
UM4 B	Losa dividida (u)	2.00	*			1.00	*			-1.00
		8.00		*		9.00		*		1.00
	Grieta lineal (u)	8.00		*		7.00		*		-1.00
						1.00			*	
	Parcheo (grande) (u)	4.00	*			3.00	*			-1.00
		1.00		*		2.00		*		1.00
	Parcheo pequeño (u)	1		*		1		*		0.00

Fuente: Grupo de tesis.

En la unidad de muestreo 1 carril A (UM1 A) se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 2 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Losa dividida en una cantidad de 9 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 8 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Grieta lineal en una cantidad de 4 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y 3 losas con severidad Alta y 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 4 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 1 losa con severidad Media en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1.

En la UM2 A se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 1 losa con severidad Baja en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Losa dividida en una cantidad de 11 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 10 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Sello de junta en una cantidad de 4 losas con severidad Media en la forma tradicional, y 4 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Grieta lineal en una cantidad de 1 losa con severidad Media en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Grieta lineal en una cantidad de 2 losas con

severidad Alta en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Parcheo (grande) en una cantidad de 1 losa con severidad Baja en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 2; Parcheo (grande) en una cantidad de 4 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -2.

En la UM3 A se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 1 losa con severidad Baja en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Losa dividida en una cantidad de 3 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Losa dividida en una cantidad de 5 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y 6 losas con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Sello de junta en una cantidad de 2 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Grieta lineal en una cantidad de 1 losa con severidad Media y 4 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y de 5 losas con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Parcheo (grande) en una cantidad de 10 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 11 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Parcheo (grande) en una cantidad de 3 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1.

En la UM4 A se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 2 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Losa dividida en una cantidad de 10 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y de 9 losas con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Sello de junta en una cantidad de 9 losas con severidad Media en la forma tradicional, y 9 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Grieta lineal en una cantidad de 2 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Grieta lineal en una cantidad de 5 losas con severidad Alta y 4 losas con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 4 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 5 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Parcheo (grande) en

una cantidad de 5 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 4 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Desprendimiento de junta en una cantidad de 1 losa con severidad Alta en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la unidad de muestreo 1 carril B (UM1 B) se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 4 losas con severidad Media y 2 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y de 6 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 2; Grieta lineal en una cantidad de 2 losas con severidad Baja y 6 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 8 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 2; Parcheo (grande) en una cantidad de 3 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y 2 losas con severidad Baja y 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo pequeño en una cantidad de 1 losa con severidad Media en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la UM2 B se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 1 losa con severidad Baja y 10 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 11 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Grieta lineal en una cantidad de 1 losa con severidad Baja en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Grieta lineal en una cantidad de 2 losas con severidad Media en la forma tradicional, y 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 3 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la UM3 B se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 8 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 8 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Losa dividida en una cantidad de 6 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y de 5 losas con severidad Alta y 1 losa con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Sello de junta en una cantidad de 1 losa con severidad Baja y 12 losas con severidad Media en la forma tradicional, y 13 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Parcheo (grande) en una cantidad de 2 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una

diferencia de 1; Parcheo (grande) en una cantidad de 7 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 6 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 3 losas con severidad Alta en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de 0; Parcheo pequeño en una cantidad de 1 losa con severidad Media en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

En la UM4 B se muestran fallas como Losa dividida en una cantidad de 2 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Losa dividida en una cantidad de 8 losas con severidad Media en la forma tradicional, y de 9 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Grieta lineal en una cantidad de 8 losas con severidad Media en la forma tradicional, y 7 losas con severidad Media y 1 losa con severidad Alta utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 4 losas con severidad Baja en la forma tradicional, y de 3 losas con severidad Baja utilizando VANT, dando una diferencia de -1; Parcheo (grande) en una cantidad de 1 losa con severidad Media en la forma tradicional, y de 2 losas con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 1; Parcheo pequeño en una cantidad de 1 losa con severidad Media en la forma tradicional, y de 1 losa con severidad Media utilizando VANT, dando una diferencia de 0.

La unidad de muestreo 1 carril B (UM1 B) es donde se muestran más variaciones o diferencias entre las fallas de un método y otro, de relevamiento de fallas, que pueden ser causadas debido a la interpretación de la persona encargada de revisarlas, guiándose por el catálogo de fallas presente en el Anexo 8, cabe aclarar que, profundidades y anchos mínimos, son difíciles de detectar mediante el VANT utilizado; haciendo esto que aparezca en dicha UM una mayor diferencia en los resultados finales mencionados más adelante, pero a su vez, no genera diferencias importantes que alteren el rango del PCI en el que cae dicha unidad de muestreo de la tabla de calificación.

Tabla 16: 5.4 Resultados método PCI empleando VANT y forma tradicional

Unidad de muestreo	N° de losas	PCI Forma tradicional	Clasificación	PCI VANT	Clasificación	Diferencia
UM1 A	14	28	Malo	29	Malo	1
UM2 A	14	24	Muy malo	25	Muy malo	1
UM3 A	14	12	Muy malo	14	Muy malo	2
UM4 A	18	17	Muy malo	18	Muy malo	1
UM1 B	14	30	Malo	39	Malo	9
UM2 B	14	25	Muy malo	25	Muy malo	0
UM3 B	14	1	Fallado	3	Fallado	2
UM4 B	18	38	Malo	35	Malo	-3

Fuente: Grupo de tesis.

La primera unidad de muestreo del carril A (UM1 A) consta de 14 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 28 clasificándose como Malo, y empleando un VANT un PCI de 29 clasificándose como Malo, dando una diferencia de 1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La segunda unidad de muestreo del carril A (UM2 A) consta de 14 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 24 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 25 clasificándose como Muy malo, dando una diferencia de 1, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestreo 3 del carril A (UM3 A) consta de 14 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 12 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 14 clasificándose como Muy malo, dando una diferencia de 2, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestreo 4 del carril A (UM4 A) consta de 18 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 17 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 18 clasificándose como Muy malo, dando una diferencia de 1, es decir, debido a que no

existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La primera unidad de muestreo del carril B (UM1 B) consta de 14 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 30 clasificándose como Malo, y empleando un VANT un PCI de 39 clasificándose como Malo, dando una diferencia de 9, es decir, a pesar de ser una diferencia un poco mayor a las demás, estos valores no generan un cambio de rango, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestreo 2 del carril B (UM2 B) consta de 14 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 25 clasificándose como Muy malo, y empleando un VANT un PCI de 25 clasificándose como Muy malo, dando una diferencia de 0, es decir, no existe diferencia alguna entre los valores, por ende, su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La tercera unidad de muestreo del carril B (UM3 B) consta de 14 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 1 clasificándose como Fallado, y empleando un VANT un PCI de 3 clasificándose como Fallado, dando una diferencia de 2, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

La unidad de muestreo 4 del carril B (UM4 B) consta de 18 losas, da como resultado en la forma tradicional un PCI de 38 clasificándose como Malo, y empleando un VANT un PCI de 35 clasificándose como Malo, dando una diferencia de -3, es decir, debido a que no existe una gran diferencia entre los valores, implica que su clasificación es la misma dado los rangos de calificación del PCI.

En relación a los rendimientos para el relevamiento de las fallas en campo de forma tradicional, se evaluaron 4 unidades de muestreo con tiempo de inspección por carril de 5 horas haciendo un tiempo total de inspección de 10 horas y para el VANT se levantaron las 4 unidades en 7.24 minutos. Para la inspección de forma tradicional el personal de campo fue compuesto por 4 personas (integrantes de la presente tesis) y para el VANT se requieren solo 2 personas, operador y asistente (por cuestión de aprendizaje estuvimos presente los 4 integrantes de la

tesis, fungiendo 1 como asistente). Para el relevamiento de fallas de forma tradicional se debe cerrar parcial o totalmente la calle, lo cual es nuestro caso por cuestión de la pandemia del COVID-19 no fue necesario por el poco flujo de vehículos en la carretera de estudio, y para el VANT no se requiere del cierre parcial ni total de la carretera.

5.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR LA INSPECCIÓN EMPLEANDO UN VANT Y EL MÉTODO TRADICIONAL DEL PCI

Tabla 17: 5.5 Evaluación superficial de patologías de pavimento empleando un VANT

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. En un tiempo relativamente corto se puede recolectar la información completa de un tramo de carretera	1. Los costos de inversión inicial son altos (drone y computadora)
2. La obtención de productos fotogramétricos innovadores	2. Los tiempos de procesado son largos
3. Reproducibilidad de resultados	3. Los requerimientos de hardware son altos
4. Reducción de inspectores de campo	4. No se puede usar en zonas donde los arboles cubren totalmente la vía.
5. Evita accidentes de tránsito	
6. Evaluación total de todas las unidades de muestreo	
7. No es necesario cerrar la vía	
8. Permite obtener mayor detalle	
9. Evita la fatiga ocasionada por agentes atmosféricos	
10. La identificación y metrado de fallas se realiza en gabinete	
11. La información puede ser analizada en cualquier momento y en cualquier lugar	

12. Ubicar e identificar rápidamente unidad de muestreo que necesita ser intervenida debido a su alto grado de severidad	
13. Evaluación periódica	

Fuente: Grupo de tesis.

Tabla 18: 5.6 Evaluación superficial de patologías de pavimento mediante inspección visual

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Menor costo de inspección	1. Cierre parcial o total de la vía
2. Uso de instrumentos sencillos para la identificación y metrado de fallas como lo es; cinta métrica regla y metro.	2. Congestionamiento vehicular
3. Se puede realizar sin importar si hay árboles que cubren la vía.	3. Se necesita la instalación de equipo de señalización vial
4. Visualización directa de las fallas	4. Se necesita bastante recurso humano para la evaluación y control del tránsito
	5. Se necesita solicitar permisos al VMT, para poder cerrar parcialmente la vía
	6. Riesgo de accidentes
	7. Fatiga de los evaluadores por los agentes atmosféricos

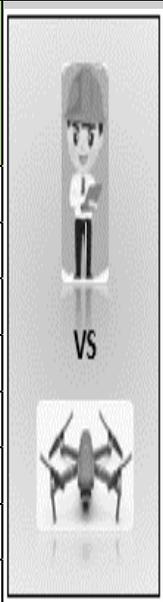
Fuente: Grupo de tesis.

Comentarios de las tablas 17: 5.5 y 18: 5.6.

- Se puede observar claramente que existen más ventajas que desventajas en el empleo de un VANT en la evaluación superficial de pavimentos, en base a nuestra experiencia durante el desarrollo de la presente investigación identificamos 13 ventajas que ésta tecnología nos ofrece contra 4 desventajas haciendo una diferencia de 9 ventajas más que ofrece ésta tecnología, lo que nos lleva a la conclusión de que son muchos los beneficios que se obtienen empleando esta tecnología innovadora para la evaluación superficial de pavimentos flexibles y rígidos.
- Al comparar las ventajas que ofrece el empleo de un VANT en la evaluación superficial de patologías de pavimentos que son 13, contra las ventajas de inspección de pavimentos de manera visual que son 4, existe una diferencia de 9 ventajas más que ofrece esta tecnología; entonces rápidamente nos damos cuenta que también superamos en beneficios al método tradicional.
- Al comparar las desventajas que ofrece el empleo de un VANT en la evaluación superficial de patologías de pavimentos que son 4, contra las desventajas de inspección de pavimentos de manera visual que son 7, también nos damos cuenta que son menos las desventajas al emplear esta tecnología en comparación con las desventajas de forma tradicional con una diferencia de 3.

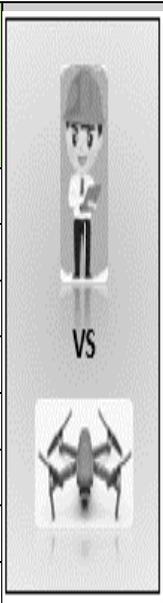
5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO

Tabla 19: 5.7 Comparación método PCI forma tradicional vs VANT, pavimento flexible

	PCI Forma tradicional		PCI VANT
Tiempo de inspección	11 horas:15min		22h:38min:10s
Número de inspectores	4		2
Reproducibilidad de resultados	No		Sí
Posibilidad de post-análisis	No		Sí
Cierre de tránsito	Sí		No
Seguridad de los evaluadores	No		Si
Costo de inspección	\$53.60		\$325.00
Fatiga	Si		No

Fuente: Grupo de tesis.

Tabla 20: 5.8 Comparación método PCI forma tradicional vs VANT, pavimento rígido

	PCI Forma tradicional		PCI VANT
Tiempo de inspección	11 horas:15min		21h:25min:59s
Número de inspectores	4		2
Reproducibilidad de resultados	No		Sí
Posibilidad de post-análisis	No		Sí
Cierre de tránsito	Sí		No
Seguridad de los evaluadores	No		Si
Costo de inspección	\$53.60		\$325.00
Fatiga	Si		No

Fuente: Grupo de tesis.

Comentarios de las tablas 19: 5.7 y 20: 5.8

- El tiempo de inspección del tramo completo de pavimento flexible de dimensiones de 300m de largo por 8 de ancho utilizando un VANT fue de 9.25min y el tiempo de inspección de evaluación tradicional fue de 10 horas ahorrando un tiempo de 9 horas con 51.15 minutos lo que refleja una clara ventaja en cuanto a la optimización del tiempo aplicando esta tecnología innovadora.
- El número de inspectores que se utilizaron en la evaluación completa del tramo de pavimento flexible que comprende la delimitación de unidades de muestreo, identificación y medición de fallas fue de 4 inspectores utilizando la forma tradicional de evaluación, de los cuales 2 se encargaron de la medición e identificación de las fallas, uno de la captura de fotografías y otro del registro en las hojas de inspección y de 2 inspectores utilizando un VANT, lo que significa un ahorro del recurso humano y por ende costos, en esta época de COVID-19 sería de gran ayuda emplear esta tecnología al minimizar el personal empleado en la evaluación y evitar contagios.
- En cuanto a la reproducción de resultados es claro que la utilización de un VANT como tecnología de evaluación de Pavimentos es la mejor ya que la memoria interna del VANT guarda las fotografías capturadas que posteriormente son procesadas pudiendo analizarse las veces que sea necesario y compartir la información en su totalidad de detalle con cualquier persona sin importar la distancia, algo que no se puede hacer con la forma tradicional de inspección ya que la evaluación y registro se realiza en el momento, si bien es cierto que se pueden tomar fotografías pero estas no logran capturar toda el área de interés, sin embargo con la aplicación de esta nueva tecnología se genera una ortofoto que muestra la vía completa y con solo darle zoom se pueden observar las fallas.
- Con el empleo de un VANT en la evaluación de pavimentos no es necesario cerrar un tramo de la vía, ni paralizar el tráfico lo cual es otra gran ventaja de esta tecnología ya que simplemente se programa el plan de vuelo en un lugar fuera de la vía y se obtienen las fotografías, luego estas son procesadas y en el momento de la evaluación, si aparecen obstáculos como vehículos o ramas de árboles que cubren alguna falla es posible sustituir esa parte de la imagen por otra debido al traslape entre fotografías lo

que permite editar la vía completa y obtener una vía totalmente despejada y lista para evaluarla, lo que significa otra gran ventaja de esta tecnología.

- Esto permite una evaluación de toda la vía, sin generar tráfico en la vía y sin poner en riesgo la vida de los inspectores. La ortofoto de la zona de estudio permite la elaboración de planos de fallas indicando el lugar de cada falla con sus respectivos metros para su futura intervención. Esto permite ubicar cada tipo de falla en campo y tener un registro que da la posibilidad de evaluar cómo se atendió el problema.
- El empleo de un VANT como tecnología de evaluación de fallas de pavimentos también garantiza seguridad a los inspectores, librándolos de cualquier posible accidente, librándolos de la fatiga por los agentes atmosféricos como es la radiación solar, polvo y lluvia, además de errores humanos que se cometen por la misma rapidez de evaluación que se hace al estar expuesto en una situación fatigante.
- En cuanto a costo se refiere, si bien es cierto que el costo inicial es elevado empleando una tecnología como la de los VANT en la evaluación superficial de las patologías de pavimentos en comparación con la forma tradicional de evaluación, pero a largo plazo este método de evaluación sería más económico ya que si se posee el software y el VANT se puede utilizar gran cantidad de veces además de las otras ventajas que se mencionaron anteriormente.
- La información relevada por el VANT puede ser analizada cuantas veces sea necesaria sin tener que realizar otro vuelo. Por lo tanto, el relevamiento de información mediante fotografías obtenidas con VANT, permite la interpretación con fines de establecer estrategias de mantenimiento y rehabilitación de carreteras.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El uso de Vehículo Aéreo No Tripulado permite el levantamiento de información en corto tiempo, sin interrumpir el tráfico ni poner en riesgo la vida de los inspectores en comparación con la forma tradicional de inspección visual del método PCI.
- La forma tradicional de inspección visual del método PCI es óptima para carreteras donde existen árboles que cubren parcial o totalmente la calzada, cabe recalcar que en éste método se debe recurrir al cierre parcial o total de la carretera.
- El empleo de imágenes georreferenciadas obtenidas de un VANT se vuelve una alternativa viable en la evaluación superficial del pavimento para aplicar el método PCI.
- La información relevada por el Vehículo Aéreo No Tripulado puede ser reproducible en cualquier momento y las veces que sean necesarias sin tener que realizar otro vuelo, a fin de observar la evolución y aparición de nuevas fallas en el tiempo y establecer las medidas de mantenimiento adecuadas.
- Empleando un VANT para la evaluación superficial del pavimento se pueden elaborar planos con datos exactos que acompañan el metrado de fallas para priorizar el mantenimiento o rehabilitación de los tramos de bajo Índice de Condición del Pavimento.
- Los criterios de decisión del uso de un VANT o aplicar la forma tradicional de evaluación superficial del pavimento para el método PCI quedan sujetos a las prioridades del ingeniero a realizar el trabajo, en base a la topografía del lugar a evaluar.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el plan de vuelo del Vehículo Aéreo No Tripulado con anticipación teniendo en cuenta la geometría y topografía de la zona en estudio a evaluar, para poder elegir la altura de vuelo apropiada.
- Es recomendable cuando se utiliza la forma tradicional de inspección visual del método PCI conseguir los permisos de cierre parcial o total de la carretera en las instituciones correspondientes con anticipación, para evitarse cualquier imprevisto.
- Se sugiere realizar el vuelo del VANT en horas cercanas al mediodía, entre las 9:00 am y las 2:00 pm, de manera que las imágenes georreferenciadas obtenidas no sean afectadas por sombras.
- Realizar el procesamiento fotogramétrico por partes, ejecutando primero el procesamiento inicial, al finalizar esta primera etapa revisar el reporte de calidad y solucionar los errores que se adviertan, luego de hacer esto se procesan las siguientes dos etapas. Esto se recomienda debido que cada etapa demanda mucho tiempo en completar y si se ejecutan las 3 de una vez tiene que esperar hasta que finalicen para ver los errores en el reporte de calidad y luego volver a procesar las 3 etapas, en cambio sí solo se procesa la primera no es necesario esperar tanto tiempo para corregir los errores y esto le asegura que las otras 2 etapas serán ejecutadas correctamente.
- Al crear un proyecto en Pix4D Mapper debe elegirse el sistema de coordenadas de salida de los productos del procesamiento de las imágenes, además del sistema en que serán añadidos los puntos de apoyo terrestre ya que el sistema de coordenadas para la proyección Lambert en El Salvador existente en la base de datos de Pix4DMapper utiliza como datum Ocotepaque 1935, por lo que no es compatible con el sistema utilizado actualmente en El Salvador, que utiliza como datum NAD 27 por lo cual es necesario convertir las coordenadas de los puntos de apoyo terrestre al sistema WGS84 / UTM zona 16N, proyección UTM para la zona 16 norte, que usa el elipsoide WGS84 como modelo base.
- Tomar en cuenta los factores que afectan la exactitud en un proyecto fotogramétrico como lo son: resolución de las fotografías, Calibración de la cámara, Ángulos, Calidad

de la orientación de las fotografías, Redundancias en fotografías y Precisión de las marcas de campo.

- Volar el VANT a una altura libre de obstáculos que puedan provocar un choque y dañar el equipo.
- Al utilizar puntos de apoyo terrestre se recomienda ubicarlos y señalizarlos estratégicamente de manera que estos sean visibles en el mayor número de fotografías posibles para poder marcarlos con facilidad en la etapa de procesamiento.
- Se recomienda utilizar un número mínimo de 3 puntos de apoyo terrestre para proyectos pequeños.
- Previamente a la ejecución del vuelo deben verificar los siguientes aspectos: Correcta colocación de hélices, Óptimo porcentaje de batería tanto en el VANT como en el control, Señal de GPS del VANT con buena recepción (al menos 10 satélites), Correcta conexión entre el VANT y el control, En caso de pérdida de señal establecer punto de despegue y retorno, Correcta colocación de la tarjeta de memoria, Plan de vuelo cargado correctamente.
- Colocar equipo de señalización vial y contar con todo el personal necesario para el cierre parcial de la vía y gestores del tránsito cuando se realiza el relevamiento de fallas de manera tradicional.
- El VANT puede aplicarse también para levantamientos topográficos en zonas de difícil acceso, auscultación de infraestructuras como puentes, fachadas de edificios, etc., análisis de infraestructuras ante situaciones de riesgos, mapeo de obras en ejecución, etc.; recalando que el trabajo mediante un VANT permite el acceso a las diferentes infraestructuras y edificios y el registro de sus características con precisión sin poner en riesgo la vida de operadores.

BIBLIOGRAFÍA

Cruz Toribio, J. O. (2018). “Cálculo del índice de condición del pavimento con imágenes del Vehículo Aéreo No Tripulado”. Lima-Peru.

VARELA, I. E. (2002). Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras . Manizales, Colombia: ingepav.

Claros Zelaya, René Alberto Guevara Aguilar, Alex Enrique Pacas Cruz, Nelson Ricardo (UES-FMO,2016): “Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados”

Francisco Arístides Granados Cañas, Álvaro José Rodríguez Rubio: “Auscultación Visual De Pavimentos Rígidos” (UES-FMO,2016)

Quirós Rosado, E. (2014). Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicada a la ingeniería civil. España: Universidad de Extremadura.

Barros J. (2016). Aprende Fotografía: tamaño de imagen, resolución y tamaño físico. (En línea). Disponible: <https://jotabarros.com/aprende-fotografia-tamano-imagen-resolucion-tamano-fisico/>

Luis, I., & Nosiglia, R. (2005). Pavimentos flexibles en vías interurbanas mediante la aplicación del highway development and management.

Elementos componentes de una calzada. Recuperado de <http://jorgeulatea.blogspot.com/2015/10/elementos-componentes-de-una-calzada.html>

Barajas Reina E, Buitrago Martínez, B. E. (2017). Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o mantenimiento vial de la ciudad de Bogotá con la ciudad de Sao Paulo. Colombia.

González González. D. H. (2016). Evaluación georreferenciada de la superficie del pavimento de la vía Loja - Zamora, tramo 0+000 - 29+000. Ecuador.

ANEXOS

ANEXO 1. REPORTE DE CALIDAD PAVIMENTO FLEXIBLE

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 2.0.104

! Important: Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	pavimento flexible
Processed	2020-06-05 09:57:54
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.74 cm / 0.29 in
Area Covered	0.0201 km ² / 2.0074 ha / 0.0078 sq. mi. / 4.963 acres

Quality Check

? Images	median of 58840 keypoints per image	✓
? Dataset	210 out of 210 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	2.04% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 10314.8 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMS error = 0.008 m	✓

? Preview

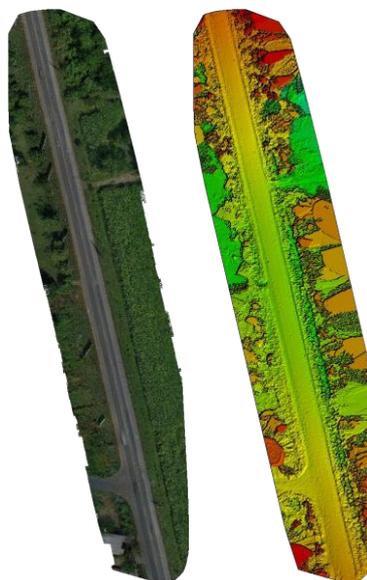


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	210 out of 210
Number of Geolocated Images	210 out of 210

? Initial Image Positions

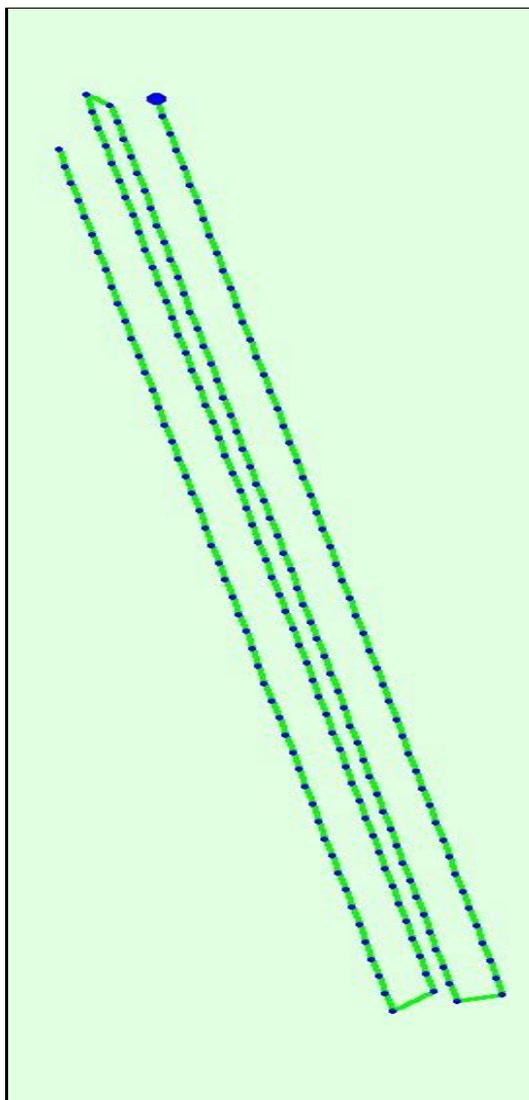


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



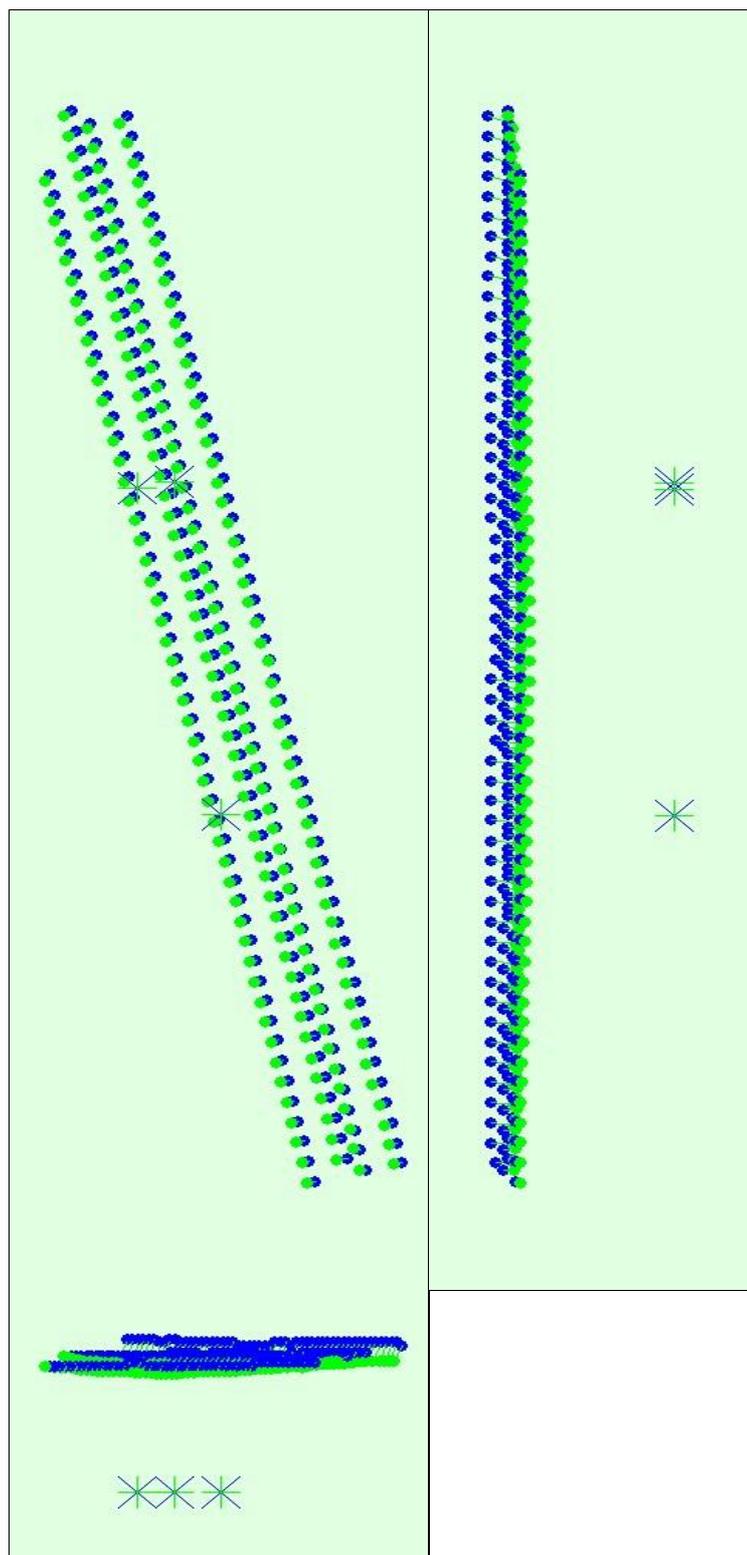


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

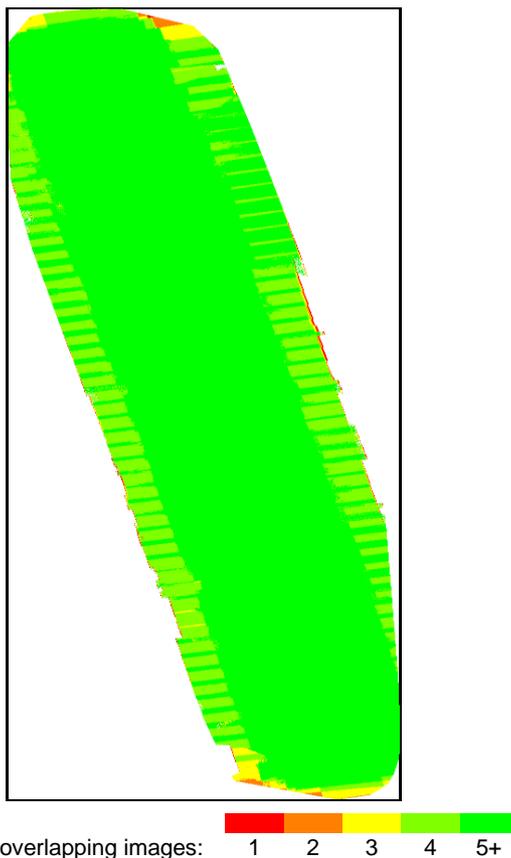


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2127471
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	788589
Mean Reprojection Error [pixels]	0.305762

Internal Camera Parameters [optimizL1D-20c_10.3_5472x3648\(0K8TF9J0021214\)](#) (RGB). Sensor

Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	5069.312 [pixel] 11.881 [mm]	2719.488 [pixel] 6.374 [mm]	1773.598 [pixel] 4.157 [mm]	0.003	0.037	-0.071	-0.001	0.001
Optimized Values	4965.726 [pixel] 11.638 [mm]	2726.850 [pixel] 6.391 [mm]	1776.339 [pixel] 4.163 [mm]	-0.002	0.040	-0.077	-0.001	0.001



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	58840	10315
Min	39034	3364
Max	75101	15218
Mean	59704	10131

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	592428
In 3 Images	93638
In 4 Images	37978
In 5 Images	19042
In 6 Images	11539
In 7 Images	7864
In 8 Images	5850
In 9 Images	4278
In 10 Images	3396
In 11 Images	2708
In 12 Images	2376
In 13 Images	1846
In 14 Images	1419
In 15 Images	1394
In 16 Images	1248
In 17 Images	880
In 18 Images	437
In 19 Images	193
In 20 Images	75

? 2D Keypoint Matches

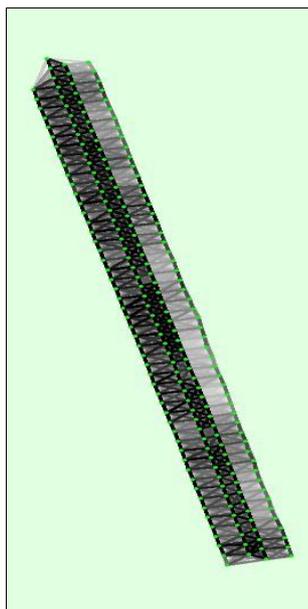




Figure 5: Top view of the image computed positions with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PBI3 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.004	-0.001	0.961	14 / 14
PAD4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.024	-0.006	-0.003	0.767	12 / 12
PAD6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	0.002	0.000	0.991	13 / 13
Mean [m]		-0.000097	0.000005	-0.001292		
Sigma [m]		0.019237	0.004201	0.001321		
RMS Error [m]		0.019238	0.004201	0.001848		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

0 out of 210 geolocated and calibrated images have been labeled as inaccurate.

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	1.90
-3.00	0.00	57.14	58.10	63.33
0.00	3.00	42.86	41.90	24.29
3.00	6.00	0.00	0.00	10.48
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.370592	0.886707	3.353692
Sigma [m]		0.434012	0.533005	1.903815
RMS Error [m]		1.437668	1.034574	3.856392

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.370592	0.886707	3.353692

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Georeference Verification



	DJI_0072.JPG DJI_0073.JPG DJI_0074.JPG DJI_0388.JPG DJI_0389.JPG DJI_0390.JPG DJI_0391.JPG DJI_0525.JPG DJI_0526.JPG DJI_0527.JPG DJI_0528.JPG DJI_0841.JPG DJI_0842.JPG DJI_0843.JPG
	GCP Name: PBI3 (375020.070,1485345.010,87.009)
GCP PBI3 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in	DJI_0071.JPG DJI_0844.JPG
	these images to improve the accuracy.



Figure 7: Images in which GCPs have been marked (yellow circle) and in which their computed 3D points have been projected (green circle). A green circle outside of the yellow circle indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

Processing Options 

Hardware	CPU: Intel(R) Pentium(R) CPU B960 @ 2.20GHz RAM: 6GB GPU: Intel(R) HD Graphics (Driver: 9.17.10.2843)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit
Camera Model Name	optimizL1D-20c_10.3_5472x3648(0K8TF9J0021214) (RGB)
Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS84 / UTM zone 16N
Output Coordinate System	WGS84 / UTM zone 16N
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Alternative, Internal Parameters Optimization: All, External Parameters Optimization: All, Rematch: yes

Point Cloud Densification details Processing Options 

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes, Maximum Number of Triangles: 1000000, Texture Size: 8192x8192
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Densification Area	Yes
Advanced: Use Annotations	Yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	No
Advanced: Point Cloud Classification (beta)	yes, Minimum Object Length [m]: 0.1, Maximum Object Length [m]: 400, Minimum Object Height [m]: 0.1
Time for Point Cloud Densification	10h:51m:55s
Time for Point Cloud Classification	01h:55m:39s
Time for 3D Textured Mesh Generation	36m:02s

Results 

Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	10
Number of 3D Densified Points	30895402
Average Density (per m ³)	6610.93

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (0.749 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes, Surface Smoothing: yes, Medium
DSM Generation	yes, Method: Triangulation, Merge Tiles: yes
Grid DSM	yes, Spacing [cm]: 50
Contour Lines Generation	yes, Contour Base [m]: 0, Elevation Interval [m]: 1, Resolution [cm]: 100, Minimum Line Size [vertices]: 20
Index Calculator: Radiometric Calibration	Yes
Index Calculator: Reflectance Map	yes, Resolution [cm/pixel]: 0.7, Merge Tiles: yes
Index Calculator: Indices	red, green, blue, grayscale
Index Calculator: Index Values	Point Shapefile Grid Size [cm/grid]: 200, Polygon Shapefile [cm/grid]: 400
Time for DSM Generation	01h:05m:51s
Time for Orthomosaic Generation	04h:18m:03s
Time for Contour Lines Generation	02m:40s
Time for Reflectance Map Generation	05h:00m:38s
Time for Index Map Generation	02h:29m:35s

ANEXO 2. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT PAVIMENTO FLEXIBLE

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA								
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+00		Al: 0+30				
Fecha: 7/06/2020			Codigo: UM1 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO			Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT								
TIPO DE FALLAS								
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2					
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2					
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un					
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2					
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2					
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2					
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2					
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2					
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2					
10. Grietas lon y transversal	m							
TIPO DE FALLAS EXISTENTE								
86-100	EXCELENTE		10		3			
			CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO		22,86	M	34,95	M		
56-70	BUENO		11,86	L				
41-55	REGULAR							
26-40	POBRE							
11-25	MUY POBRE							
0-10	FALLADO							
TOTAL								
BAJA (L)			11,86					
MEDIA (M)			22,86		34,95			
ALTA (H)								



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+00	Al: 0+30				
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM1 B1					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	11		13		7	
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	17,23	L	1	L	9,47	L
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		17,23		1		9,47	
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA						
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+00		Al: 0+30		
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM1 B2				
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2				
Metodo: VANT						
TIPO DE FALLAS						
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2			
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2			
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un			
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2			
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2			
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2			
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2			
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2			
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2			
10. Grietas lon y transversal	m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE						
86-100	EXCELENTE	■	1		12	
			CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	■	4,78	L	12,22	N/A
56-70	BUENO	■	3,74	L		
41-55	REGULAR	■				
26-40	POBRE	■				
11-25	MUY POBRE	■				
0-10	FALLADO	■				
TOTAL						
BAJA (L)			8,52			
MEDIA(M)						
ALTA (H)						
CALCULO DEL PCI						
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCI			
1	3,55	L	23			
3	14,56	M	19			
10	9,53	M	18			
11	7,18	L	14			
13	0,42	L	10			
7	3,95	L	9			
10	4,94	L	3			
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			96	CONDICION DEL	54	
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			46	PAVIMENTO	Regular	■

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+30		Al: 0+60			
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Grieta piel de cocodrilo		m2		11.Parqueo		m2	
2. Exudacion		m2		12.Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15.Ahuellamiento		m2	
6.Depresion		m2		16.Desplazamiento		m2	
7.Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica(slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18.Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19.Desprendimiento de agregados		m2	
10.Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
		3		1			
86-100	EXCELENTE						
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	116,42	M	3,58	M		
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)		116,42		3,58			
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+30		Al: 0+60			
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM2 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	11		1			
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	17,95	L	2,45	M		
41-55	REGULAR	26,25	L				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		44,2					
MEDIA(M)				2,45			
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	48.51	M	32				
1	2.51	M	30				
11	18.42	L	20				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			82	CONDICION DEL	47		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			53	PAVIMENTO	Regular		

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+60	Al: 0+90				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM3 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	1		3		10	
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	21,17	H	16,68	M	16,48	L
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)						16,48	
MEDIA (M)				16,68			
ALTA (H)		21,17					



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA					
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+60		Al: 0+90	
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM3 B			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2			
Metodo: VANT					
TIPO DE FALLAS					
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2		
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2		
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un		
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2		
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2		
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2		
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2		
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2		
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2		
10. Grietas lon y transversal	m				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE	1			
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	19,79	H		
41-55	REGULAR	41,08	H		
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)					
MEDIA (M)					
ALTA (H)		60,87			
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
1	34.18	H	78		
3	6.95	M	14		
10	6.87	L	5		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			97	CONDICION DEL	18
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			82	PAVIMENTO	Muy malo



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+90		Al: 0+120			
Fecha: 07/06/2020		Codigo: UM4 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2	
2. Exudacion		m2		12. Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15. Ahuellamiento		m2	
6. Depresion		m2		16. Desplazamiento		m2	
7. Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica (slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19. Desprendimiento de agregados		m2	
10. Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100 EXCELENTE		1		3		10	
71-85 MUY BUENO		CANTIDAD		CANTIDAD		CANTIDAD	
56-70 BUENO		SEVERIDAD		SEVERIDAD		SEVERIDAD	
41-55 REGULAR		5,24 H		20,52 L		16,64 L	
26-40 POBRE						4 M	
11-25 MUY POBRE							
0-10 FALLADO							
TOTAL							
BAJA (L)				20,52		16,64	
MEDIA (M)						4	
ALTA (H)		5,24					



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA					
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+90		Al: 0+120	
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM4 B			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2			
Metodo: VANT					
TIPO DE FALLAS					
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2		
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2		
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un		
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2		
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2		
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2		
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2		
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2		
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2		
10. Grietas lon y transversal	m				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
		1		3	
86-100	EXCELENTE	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	38,54	L	8,19	L
56-70	BUENO	59,34	M		
41-55	REGULAR				
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)		38,54		8,19	
MEDIA (M)		59,34			
ALTA (H)					
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
1	24.73	M	58		
1	2.18	H	42		
1	16.06	L	38		
3	11.96	L	9		
10	6.93	L	5		
10	1.67	M	4		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			152	CONDICION DEL	15
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			85	PAVIMENTO	Muy malo



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+120	Al: 0+150				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM5 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	19		3		10	
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	1,23	L	15,18	L	17,63	L
56-70	BUENO	0,28	L				
41-55	REGULAR	0,56	L				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		2,07		15,18		17,63	
MEDIA (M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA					
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+120		Al: 0+150	
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM5 B			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO			Seccion: 240 m2		
Metodo: VANT					
TIPO DE FALLAS					
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2		
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2		
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un		
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2		
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2		
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2		
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2		
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2		
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2		
10. Grietas lon y transversal	m				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE	19		3	
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	5,28	L	97,55	H
41-55	REGULAR				
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)		5,28		97,55	
MEDIA (M)					
ALTA (H)					
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
3	40.65	H	58		
10	7.35	L	6		
3	6.33	L	6		
19	3.06	L	2		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			72	CONDICION DEL	36
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			64	PAVIMENTO	Malo

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+150	Al: 0+180				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM6 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	21,71	L				
41-55	REGULAR	12	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		21,71					
MEDIA (M)		12					
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA																											
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+150	Al: 0+180																								
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM6 B																									
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2																									
Metodo: VANT																											
TIPO DE FALLAS																											
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2																								
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2																								
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un																								
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2																								
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2																								
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2																								
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2																								
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2																								
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2																								
10. Grietas lon y transversal	m																										
TIPO DE FALLAS EXISTENTE																											
<table border="1"> <tr> <td>86-100</td> <td>EXCELENTE</td> <td style="background-color: green;"></td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td style="background-color: lightgreen;"></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td style="background-color: yellow;"></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td style="background-color: orange;"></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td style="background-color: red;"></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td style="background-color: darkred;"></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td style="background-color: gray;"></td> </tr> </table>	86-100	EXCELENTE		71-85	MUY BUENO		56-70	BUENO		41-55	REGULAR		26-40	POBRE		11-25	MUY POBRE		0-10	FALLADO		10		1			
	86-100	EXCELENTE																									
	71-85	MUY BUENO																									
	56-70	BUENO																									
	41-55	REGULAR																									
	26-40	POBRE																									
	11-25	MUY POBRE																									
	0-10	FALLADO																									
CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD																						
34	L	28,55	M																								
TOTAL																											
BAJA (L)																											
MEDIA (M)	116,42	3,48																									
ALTA (H)																											
CALCULO DEL PCI																											
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO																								
1	11.90	M	48																								
10	23.21	L	14																								
10	5	M	11																								
VALOR TOTAL DE DEDUCCION		73	CONDICION DEL																								
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC		52	PAVIMENTO																								
			Regular																								

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+180	Al: 0+210				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM7 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	3		1		10	
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	22,86	H	2,72	H	18	L
56-70	BUENO					13,42	M
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)						18	
MEDIA (M)						13,42	
ALTA (H)		22,86		2,72			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+180	Al: 0+210				
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM7 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	1		13		6	
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	6,24	H	1	L	1,79	L
41-55	REGULAR	4,77	H			0,84	L
26-40	POBRE					1,17	L
11-25	MUY POBRE					2,6	L
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)				1		6,4	
MEDIA (M)							
ALTA (H)		11,01					
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
1	5.72	H	55				
3	9.53	H	29				
10	5.59	M	12				
13	0.42	L	10				
6	2.67	L	6				
10	7.5	L	5				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			117		CONDICION DEL	34	
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			66		PAVIMENTO	Malo	



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+210	Al: 0+240				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM8 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	34	L				
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		34					
MEDIA (M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+210	Al: 0+240				
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM8 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	1		12		10	
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	13,82	M	41,11	L	27	L
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)				41,11		27	
MEDIA (M)		13,82					
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
1	5.76	M	40				
10	25.42	L	15				
12	17.13	N/A	6				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			61		CONDICION DEL		56
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			44		PAVIMENTO		Bueno

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+240	Al: 0+270				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM9 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10		17			
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	17,23	L	1,84	L		
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		17,23		1,84			
MEDIA (M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+240	Al: 0+270				
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM9 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	11		6		10	
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	11,92	L	4,28	M	22,02	L
41-55	REGULAR	15,06	L	1,58	L		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		26,98		1,58		22,02	
MEDIA (M)				4,28			
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
11	11.24	L	18				
10	16.35	L	10				
6	1.78	M	10				
6	0.66	L	4				
17	0.77	L	3				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			45	CONDICION DEL	74		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			26	PAVIMENTO	Muy bueno		

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+270	Al: 0+300				
Fecha: 7/06/2020		Codigo: UM10 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	11		3			
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	46	L	23,24	M		
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		46					
MEDIA (M)				23,24			
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+270		Al: 0+300			
Fecha: 8/06/2020		Codigo: UM10 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO			Seccion: 240 m2				
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	1		11			
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	9,82	H	34,8	L		
41-55	REGULAR	11,44	M				
26-40	POBRE	10,39	M				
11-25	MUY POBRE	8,64	M				
0-10	FALLADO	1,58	M				
		1,91	M				
TOTAL							
BAJA (L)				34,8			
MEDIA (M)		33,96					
ALTA (H)		9,82					
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
1	4.09	H	51				
1	14.15	M	50				
11	33.67	L	28				
3	9.68	M	17				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			143		CONDICION DEL	20	
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			80		PAVIMENTO	Muy malo	

ANEXO 3. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL PAVIMENTO FLEXIBLE

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+00 Al: 0+30					
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM1 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2	
2. Exudacion		m2		12. Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15. Ahuellamiento		m2	
6. Depresion		m2		16. Desplazamiento		m2	
7. Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica (slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19. Desprendimiento de agregados		m2	
10. Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100 EXCELENTE		10		3			
71-85 MUY BUENO		CANTIDAD		CANTIDAD		CANTIDAD	
56-70 BUENO		5.6 L		35.2 M			
41-55 REGULAR		8 M					
26-40 POBRE		4 M					
11-25 MUY POBRE		5.5 L					
0-10 FALLADO		8 M					
TOTAL							
BAJA (L)		11.1					
MEDIA (M)		20		35.2			
ALTA (H)							

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+00	Al: 0+30				
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM1 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	11		13		7	
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	16.5	L	1	L	10.1	L
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		16.5		1		10.1	
MEDIA (M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA					
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+00	Al: 0+30		
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM1 B1			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2			
Metodo: INSPECCION VISUAL					
TIPO DE FALLAS					
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2		
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2		
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un		
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2		
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2		
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2		
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2		
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2		
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2		
10. Grietas lon y transversal	m				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE	1	12		
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	3.5	L	13	N/A
41-55	REGULAR	3.9	L		
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)		7.4			
MEDIA(M)					
ALTA (H)					
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
1	3.08	L	22		
3	14.67	M	19		
10	8.33	M	16		
11	6.88	L	12		
13	1.32	L	23		
7	4.21	L	4		
10	4.63	L	3		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			86	CONDICION DEL PAVIMENTO	55
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			45	Regular	



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+30		Al: 0+60			
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Grieta piel de cocodrilo		m2		11.Parqueo		m2	
2. Exudacion		m2		12.Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15.Ahuellamiento		m2	
6.Depresion		m2		16.Desplazamiento		m2	
7.Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica(slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18.Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19.Desprendimiento de agregados		m2	
10.Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
		1		3			
86-100	EXCELENTE						
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	3.07	M	116.93	M		
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)		3.07		116.93			
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA																											
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+30	Al: 0+60																								
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM2 B																									
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2																									
Metodo: INSPECCION VISUAL																											
TIPO DE FALLAS																											
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2																								
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2																								
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un																								
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2																								
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2																								
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2																								
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2																								
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2																								
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2																								
10. Grietas lon y transversal	m																										
TIPO DE FALLAS EXISTENTE																											
<table border="1"> <tr> <td>86-100</td> <td>EXCELENTE</td> <td style="background-color: green;"></td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td style="background-color: lightgreen;"></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td style="background-color: yellow;"></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td style="background-color: orange;"></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td style="background-color: red;"></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td style="background-color: darkred;"></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td style="background-color: gray;"></td> </tr> </table>	86-100	EXCELENTE		71-85	MUY BUENO		56-70	BUENO		41-55	REGULAR		26-40	POBRE		11-25	MUY POBRE		0-10	FALLADO		11		1			
	86-100	EXCELENTE																									
	71-85	MUY BUENO																									
	56-70	BUENO																									
	41-55	REGULAR																									
	26-40	POBRE																									
	11-25	MUY POBRE																									
	0-10	FALLADO																									
CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD																						
17.5	L	2.1	M																								
26.6	L																										
TOTAL																											
BAJA (L)	44.1																										
MEDIA (M)			2.1																								
ALTA (H)																											
CALCULO DEL PCI																											
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO																								
3	48.72	M	34																								
1	2.15	M	30																								
11	18.38	L	22																								
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			85	CONDICION DEL PAVIMENTO	45																						
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			55	Regular																							

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+60	Al: 0+90				
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM3 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10		3		1	
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	15.3	L	17.55	M	21.55	H
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		15.3					
MEDIA (M)				17.55			
ALTA (H)						21.55	



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+90		Al: 0+120			
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM4 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2	
2. Exudacion		m2		12. Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15. Ahuellamiento		m2	
6. Depresion		m2		16. Desplazamiento		m2	
7. Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica (slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19. Desprendimiento de agregados		m2	
10. Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100 EXCELENTE		1		10		3	
71-85 MUY BUENO		CANTIDAD		CANTIDAD		CANTIDAD	
56-70 BUENO		4.57 H		15.6 L		20.48 L	
41-55 REGULAR				4 M			
26-40 POBRE							
11-25 MUY POBRE							
0-10 FALLADO							
TOTAL							
BAJA (L)				15.6		20.48	
MEDIA (M)				4			
ALTA (H)		4.57					



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA								
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+90	Al: 0+120					
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM4 B						
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2						
Metodo: INSPECCION VISUAL								
TIPO DE FALLAS								
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2					
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2					
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un					
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2					
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2					
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2					
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2					
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2					
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2					
10. Grietas lon y transversal	m							
TIPO DE FALLAS EXISTENTE								
86-100	EXCELENTE	3	1		3			
			CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO		38.15	L	8.55	L		
56-70	BUENO		59.5	M				
41-55	REGULAR							
26-40	POBRE							
11-25	MUY POBRE							
0-10	FALLADO							
TOTAL								
BAJA (L)			38.15		8.55			
MEDIA(M)			59.5					
ALTA (H)								
CALCULO DEL PCI								
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO					
1	24.79	M	58					
1	1.90	H	39					
1	15.90	L	37					
3	12.10	L	9					
10	6.5	L	4					
10	1.67	M	3					
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			147		CONDICION DEL	17		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			83		PAVIMENTO	Muy malo		

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA																											
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+120	Al: 0+150																								
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM5 B																									
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2																									
Metodo: INSPECCION VISUAL																											
TIPO DE FALLAS																											
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2																								
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2																								
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un																								
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2																								
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2																								
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2																								
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2																								
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2																								
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2																								
10. Grietas lon y transversal	m																										
TIPO DE FALLAS EXISTENTE																											
<table border="1"> <tr> <td>86-100</td> <td>EXCELENTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td></td> </tr> </table>	86-100	EXCELENTE		71-85	MUY BUENO		56-70	BUENO		41-55	REGULAR		26-40	POBRE		11-25	MUY POBRE		0-10	FALLADO		19		3			
	86-100	EXCELENTE																									
	71-85	MUY BUENO																									
	56-70	BUENO																									
	41-55	REGULAR																									
	26-40	POBRE																									
	11-25	MUY POBRE																									
	0-10	FALLADO																									
CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD																						
5.4	L	97.65	H																								
TOTAL																											
BAJA (L)	5.4																										
MEDIA (M)																											
ALTA (H)			97.65																								
CALCULO DEL PCI																											
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO																								
3	40.69	H	57																								
10	7.29	L	7																								
3	6.33	L	6																								
19	3.23	L	3																								
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			73	CONDICION DEL PAVIMENTO	37																						
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			63	Malo																							

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+150	Al: 0+180				
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM6 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	21.8	L				
41-55	REGULAR	11.9	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		21.8					
MEDIA(M)		11.9					
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+150		Al: 0+180			
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM6 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2	
2. Exudacion		m2		12. Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15. Ahuellamiento		m2	
6. Depresion		m2		16. Desplazamiento		m2	
7. Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica (slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19. Desprendimiento de agregados		m2	
10. Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100 EXCELENTE		10		1			
71-85 MUY BUENO		CANTIDAD		CANTIDAD		CANTIDAD	
56-70 BUENO		SEVERIDAD		SEVERIDAD		SEVERIDAD	
41-55 REGULAR		34 L		28.1 M			
26-40 POBRE							
11-25 MUY POBRE							
0-10 FALLADO							
TOTAL							
BAJA (L)		34					
MEDIA (M)				28.1			
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
1	11.71	M	49				
10	23.25	L	13				
10	4.96	M	12				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			74	CONDICION DEL	47		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			53	PAVIMENTO	Regular		

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+180		Al: 0+ 210			
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM7 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo		m2		11. Parcheo		m2	
2. Exudacion		m2		12. Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15. Ahuellamiento		m2	
6. Depresion		m2		16. Desplazamiento		m2	
7. Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica (slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18. Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19. Desprendimiento de agregados		m2	
10. Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
		3		1		10	
86-100	EXCELENTE						
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
		22.5	H	2.5	H	17.75	L
56-70	BUENO					13.7	M
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)						17.75	
MEDIA (M)						13.7	
ALTA (H)		22.5		2.5			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA				
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+ 180	Al: 0+ 210	
Fecha: 21 /06/2020		Codigo: UM7 B		
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2		
Metodo: INSPECCION VISUAL				
TIPO DE FALLAS				
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2	
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2	
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un	
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2	
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2	
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2	
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica(slippage)	m2	
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2	
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2	
10. Grietas lon y transversal	m			
TIPO DE FALLAS EXISTENTE				
		1	13	6
86-100	EXCELENTE			
71-85	MUY BUENO			
56-70	BUENO	6.4	1	1.8
41-55	REGULAR	4.68		0.75
26-40	POBRE			1.15
11-25	MUY POBRE			2.55
0-10	FALLADO			
TOTAL				
BAJA (L)			1	6.25
MEDIA(M)				
ALTA (H)		11.08		
CALCULO DEL PCI				
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO	
1	5.66	H	55	
3	9.38	H	28	
10	5.71	M	13	
13	0.42	L	10	
6	2.60	L	7	
10	7.40	L	7	
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			120	CONDICION DEL PAVIMENTO
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			68	Malo
				32

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+ 210	Al: 0+ 240				
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM8 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	33.9	L				
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		33.9					
MEDIA (M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+ 240	Al: 0+ 270				
Fecha: 20/06/2020		Codigo: UM9 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2				
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2				
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un				
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2				
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2				
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2				
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2				
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2				
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2				
10. Grietas lon y transversal	m						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10		17			
		CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
71-85	MUY BUENO	17.1	L	1.85	L		
56-70	BUENO						
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		17.1		1.85			
MEDIA (M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA							
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+270		Al: 0+ 300			
Fecha:20/06/2020		Codigo: UM10 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Grieta piel de cocodrilo		m2		11.Parqueo		m2	
2. Exudacion		m2		12.Pulimiento de agregados		m2	
3. Agrietamiento en bloque		m2		13. Huecos		Un	
4. Abultamientos y hundimientos		m		14. Cruce de via ferrea		m2	
5. Corrugacion		m2		15.Ahuellamiento		m2	
6.Depresion		m2		16.Desplazamiento		m2	
7.Grieta de borde		m		17. Grieta parabolica(slippage)		m2	
8. Grieta de reflexion de junta		m		18.Hinchamiento		m2	
9. Desnivel carril/berma		m		19.Desprendimiento de agregados		m2	
10.Grietas lon y transversal		m					
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
		11		3			
86-100	EXCELENTE						
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	45.95	L	23.3	M		
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)		45.95					
MEDIA(M)				23.3			
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA					
Proyecto: Carretera San Miguel - El Delirio Km 144		Del: 0+270		Al: 0+300	
Fecha: 21/06/2020		Codigo: UM10 B			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Seccion: 240 m2			
Metodo: INSPECCION VISUAL					
TIPO DE FALLAS					
1. Grieta piel de cocodrilo	m2	11. Parcheo	m2		
2. Exudacion	m2	12. Pulimiento de agregados	m2		
3. Agrietamiento en bloque	m2	13. Huecos	Un		
4. Abultamientos y hundimientos	m	14. Cruce de via ferrea	m2		
5. Corrugacion	m2	15. Ahuellamiento	m2		
6. Depresion	m2	16. Desplazamiento	m2		
7. Grieta de borde	m	17. Grieta parabolica (slippage)	m2		
8. Grieta de reflexion de junta	m	18. Hinchamiento	m2		
9. Desnivel carril/berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m2		
10. Grietas lon y transversal	m				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE	1		11	
71-85	MUY BUENO	CANTIDAD	SEVERIDAD	CANTIDAD	SEVERIDAD
56-70	BUENO	9.8	H	34.8	L
41-55	REGULAR	11.5	M		
26-40	POBRE	10.4	M		
11-25	MUY POBRE	8.65	M		
0-10	FALLADO	1.55	M		
		1.95	M		
TOTAL					
BAJA (L)					
MEDIA (M)		34.05		34.8	
ALTA (H)		9.8			
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
1	4.08	H	51		
1	14.19	M	51		
11	33.65	L	28		
3	9.71	M	16		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			146	CONDICION DEL PAVIMENTO	19
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			81	Muy malo	

ANEXO 4. REPORTE DE CALIDAD PAVIMENTO RÍGIDO

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.5.6

! Important: Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	Pavimento Rigido
Processed	2020-07-01 17:20:23
Camera Model Name(s)	optimizL1D-20c_10.3_5472x3648 (0K8TG960120459) (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.71 cm / 0.28 in
Area Covered	0.023 km ² / 2.3073 ha / 0.01 sq. mi. / 5.7044 acres
Time for Initial Processing (without report)	01h:43m:39s

Quality Check

? Images	median of 60792 keypoints per image	✓
? Dataset	160 out of 160 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	0.72% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
? Matching	median of 5668.96 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

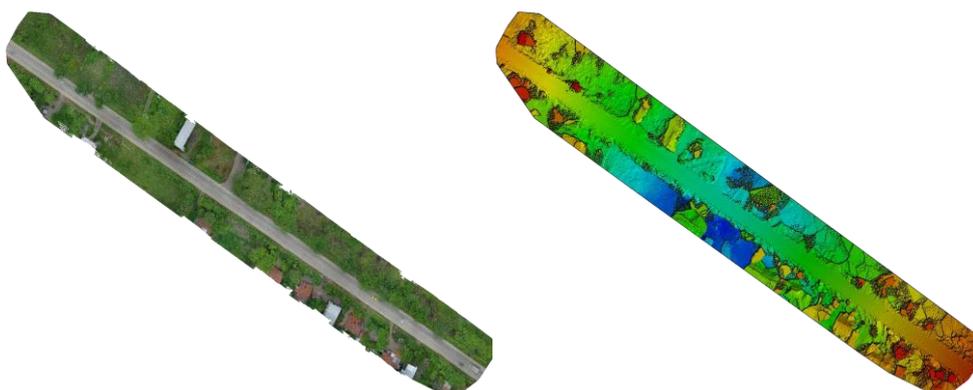


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated	160 out of 160
Number of Geolocated	160 out of 160

? Initial Image Positions

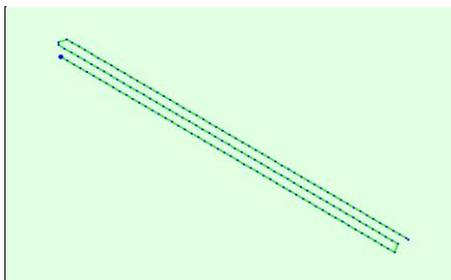


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points

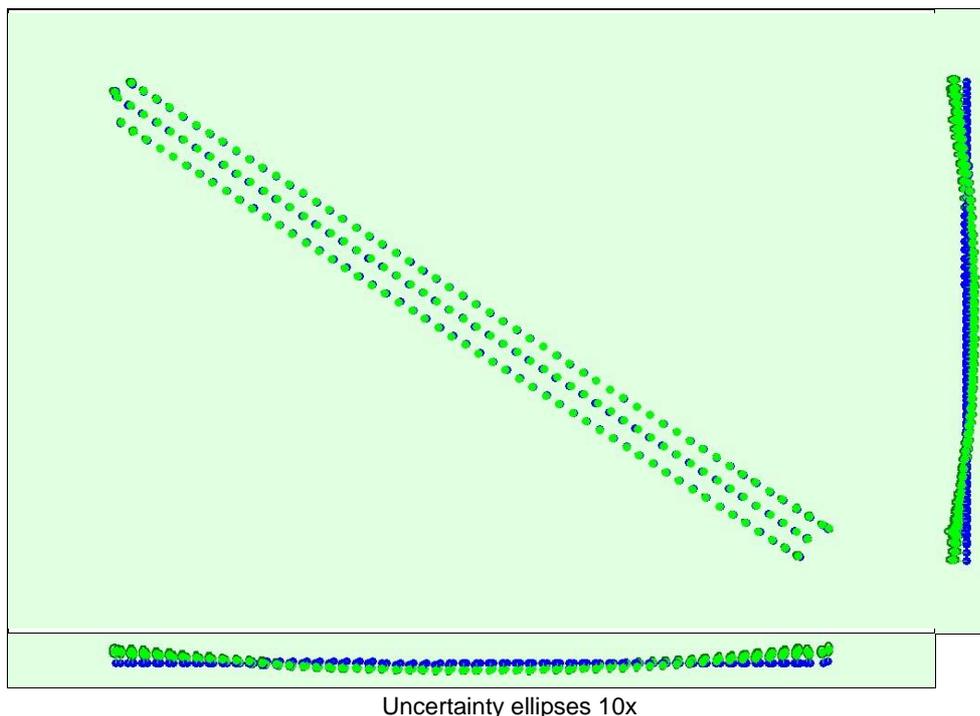


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X [m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.131	0.127	0.216	0.061	0.062	0.043	0.003	0.003	0.004
Sigma	0.027	0.026	0.022	0.003	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001

 Overlap

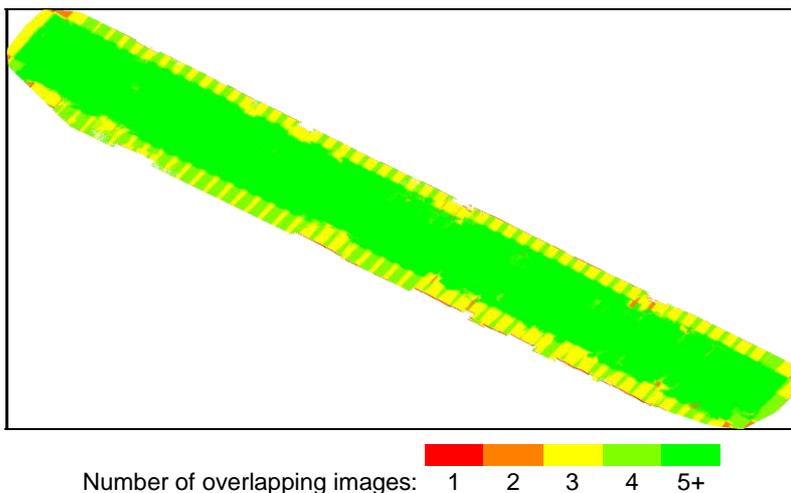


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.

Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	987080
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	298638
Mean Reprojection Error [pixels]	0.165

 Internal Camera Parameters

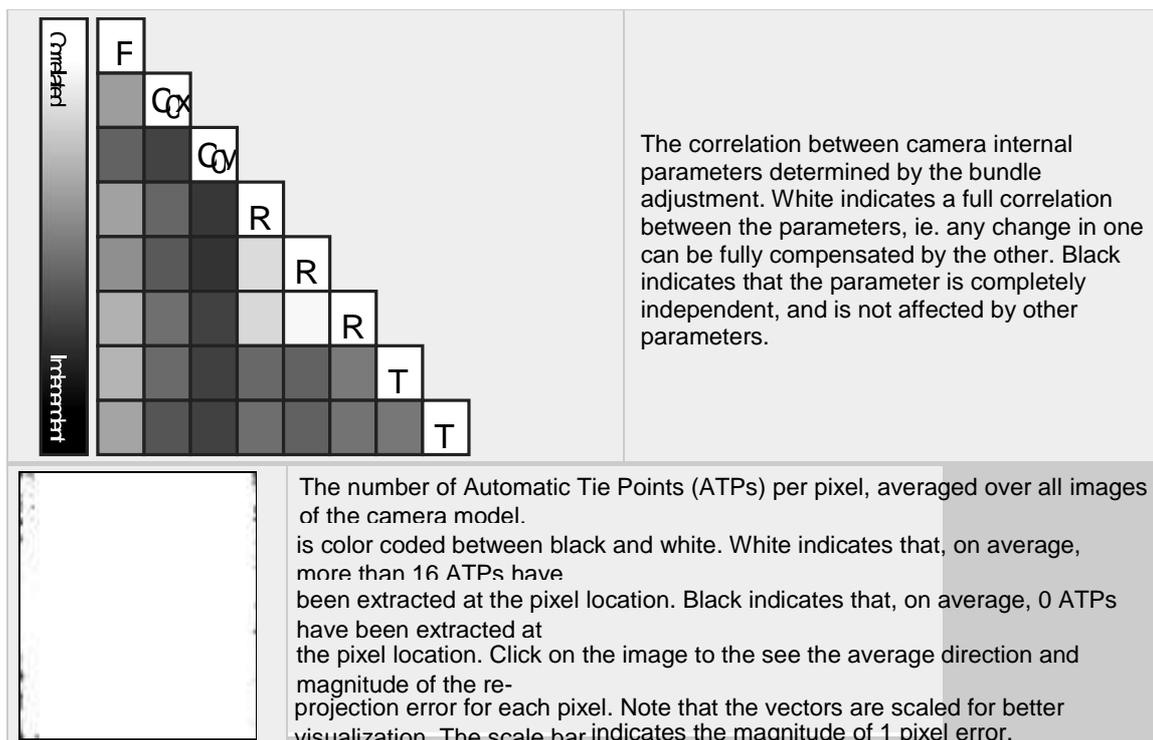
 optimizL1D-20c_10.3_5472x3648 (0K8TG960120459) (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm]

x 8.550 [mm]



EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4216.600 [pixel] 9.883 [mm]	2707.230 [pixel] 6.345 [mm]	1747.640 [pixel] 4.096 [mm]	- 0.024	0.032	- 0.034	- 0.004	- 0.003
Optimized Values	4185.902 [pixel] 9.811 [mm]	2706.638 [pixel] 6.344 [mm]	1750.617 [pixel] 4.103 [mm]	- 0.026	0.031	- 0.032	- 0.004	- 0.003
Uncertainties (Sigma)	8.490 [pixel] 0.020 [mm]	0.127 [pixel] 0.000 [mm]	0.382 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	60792	5669
Min	45670	1130
Max	74339	12066
Mean	60641	6169

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	161933
In 3 Images	55619
In 4 Images	24560
In 5 Images	15173
In 6 Images	11850
In 7 Images	9009
In 8 Images	7473
In 9 Images	6904
In 10 Images	2605
In 11 Images	2025
In 12 Images	1487

2D Keypoint Matches

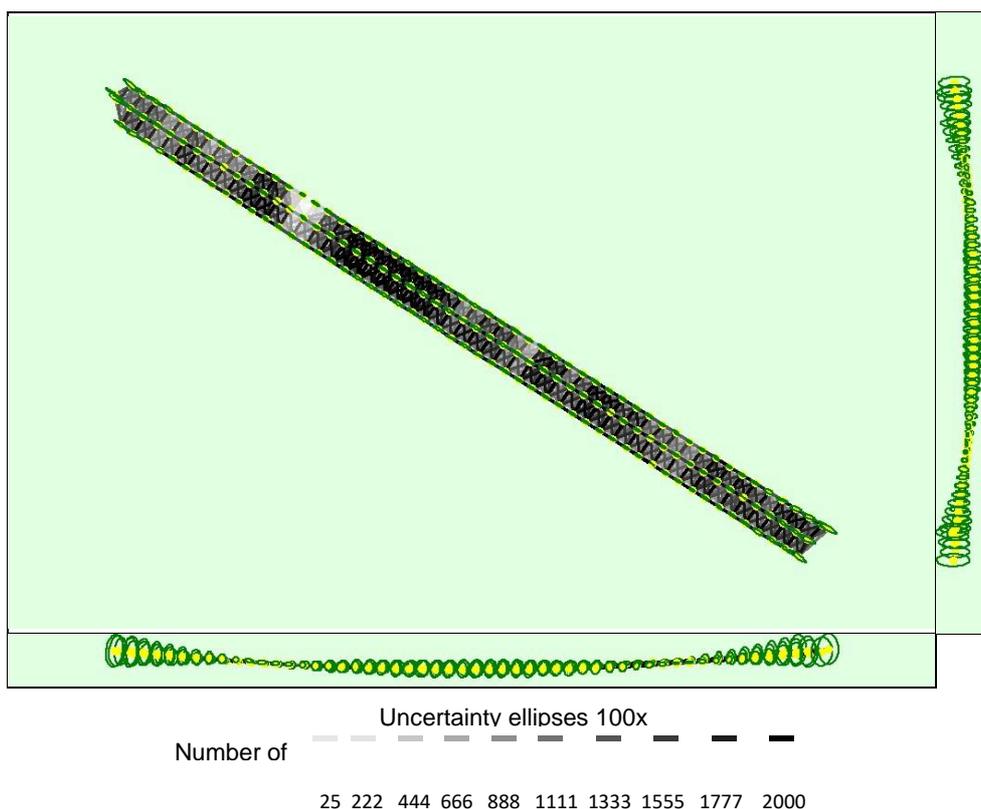


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? Relative camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X [m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.021	0.015	0.031	0.026	0.033	0.008	0.003	0.003	0.004
Sigma	0.006	0.004	0.017	0.010	0.013	0.002	0.001	0.000	0.001

Geolocation Details



? Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	18.13
-3.00	0.00	34.38	44.38	25.63
0.00	3.00	65.62	55.62	48.75
3.00	6.00	0.00	0.00	7.50
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00

15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.001752	-0.007957	-0.000250
Sigma [m]		0.603671	0.228416	2.681807
RMS Error [m]		0.603674	0.228555	2.681807

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.919
Phi	2.507
Kappa	5.925

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

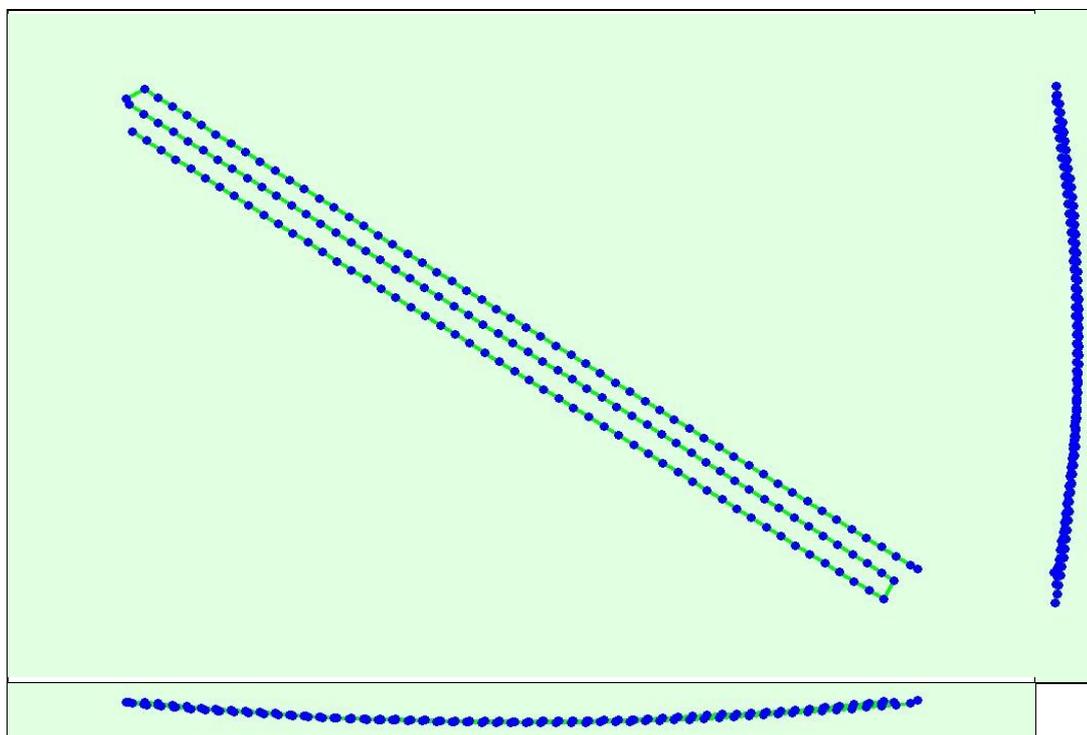


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	3.5607 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.2214 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	71.1937 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: AMD A12-9720P RADEON R7, 12 COMPUTE CORES 4C+8G RAM: 11GB GPU: AMD Radeon R7 Graphics (Driver: 26.20.12028.2)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM 96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 16N (EGM 96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	 3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	Yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	Yes
Advanced: Use Annotations	Yes
Time for Point Cloud Densification	14h:51m:00s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	20m:54s

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Processed Clusters	1
Number of 3D Densified Points	24585681
Average Density (per m ³)	7132.66

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (0.706 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	01h:31m:35s
Time for Orthomosaic Generation	03h:22m:00s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

ANEXO 5. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI CON IMÁGENES OBTENIDAS DEL VANT PAVIMENTO RÍGIDO

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO					
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+00		Al:0+70	
Fecha:8/7/2020		Codigo:UM1 A			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14			
Metodo: VANT					
TIPO DE FALLAS					
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.		
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.		
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.		
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.		
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.		
6.Sello dejunta	Un.	16.Desconchamiento	Un.		
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.		
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.		
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.		
10.Parcheo (pequeño)	Un.				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE	8		9	
71-85	MUY BUENO	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M	3	L
41-55	REGULAR	3	H	2	M
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)					
MEDIA(M)					
ALTA (H)					
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
3	57.14	M	60		
8	21.43	H	30		
3	21.43	L	21		
9	14.29	M	8		
9	21.43	L	7		
8	7.14	M	6		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			126		CONDICION DEL PAVIMENTO
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			71		
					29
					Malo

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha: 8/7/2020		Codigo:UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		6	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	2	H	2	L	4	M
41-55	REGULAR	1	M	10	M		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha: 8/7/2020		Codigo:UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello dejunta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	3	L				
41-55	REGULAR	2	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	71.43	M	67				
8	14.29	H	24				
3	14.29	L	14				
9	14.29	M	8				
9	21.43	L	7				
8	7.14	M	6				
6	28.57	M	4				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			120	CONDICION DEL PAVIMENTO	25		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			75	Muy malo			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al: 0+210				
Fecha: 8/7/2020		Codigo:UM3 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Vía Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		6	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	5	H	1	L	3	M
41-55	REGULAR			2	M		
26-40	POBRE			6	H		
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al: 0+210				
Fecha: 8/7/2020		Codigo:UM3 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Vía Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	11	L				
41-55	REGULAR	2	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	42.86	H	70				
8	35.71	H	39				
3	14.29	M	28				
9	78.57	L	25				
9	14.29	M	8				
3	7.14	L	7				
6	21.43	M	4				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			162	CONDICION DEL PAVIMENTO	14		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			86	Muy malo			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:8/7/2020		Codigo:UM4 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Blow up/ Bucklin	Un.	11. Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12. Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15. Cruce de Via Ferrea	Un.				
6. Sello dejunta	Un.	16. Desconchamiento	Un.				
7. Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18. Descascaramiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19. Desprendimiento de junta	Un.				
10. Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		6	
71-85	MUY BUENO	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	3	M	3	M	9	M
41-55	REGULAR	4	H	9	H		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:8/7/2020		Codigo:UM4 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9		19			
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	5	L	1	H		
41-55	REGULAR	4	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	50	H	75				
3	16.67	M	30				
8	22.22	H	30				
9	22.22	M	13				
8	16.67	M	12				
9	27.78	L	10				
19	5.56	H	8				
6	50	M	4				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			148	CONDICION DEL PAVIMENTO	18		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			82	Muy malo			

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+00	Al:0+70				
Fecha:9/7/2020		Codigo:UM1 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1. Blow up/ Bucklin	Un.	11. Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12. Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15. Cruce de Via Ferrea	Un.				
6. Sello de junta	Un.	16. Desconchamiento	Un.				
7. Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18. Descascaramiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19. Desprendimiento de junta	Un.				
10. Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		9	
71-85	MUY BUENO	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD	Nº DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	8	M	6	M	2	L
41-55	REGULAR					1	M
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO			
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+00	Al:0+70
Fecha:9/7/2020		Codigo:UM1 B	
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14	
Metodo: VANT			
TIPO DE FALLAS			
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.
10.Parcheo (pequeño)	Un.		
TIPO DE FALLAS EXISTENTE			
86-100	EXCELENTE	10	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M
41-55	REGULAR		
26-40	POBRE		
11-25	MUY POBRE		
0-10	FALLADO		
TOTAL			
BAJA (L)			
MEDIA(M)			
ALTA (H)			
CALCULO DEL PCI			
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO
3	42.86	M	52
8	57.14	M	29
9	7.14	M	4
9	14.29	L	3
10	7.14	M	2
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			88
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			61
CONDICION DEL PAVIMENTO		39	
		Malo	



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO					
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140		
Fecha:9/7/2020		Codigo:UM2 B			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14			
Metodo: VANT					
TIPO DE FALLAS					
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.		
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.		
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.		
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.		
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.		
6.Sello dejunta	Un.	16.Desconchamiento	Un.		
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.		
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.		
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.		
10.Parcheo (pequeño)	Un.				
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100	EXCELENTE	8	3	9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	2 L	11 M	3 M	
41-55	REGULAR	1 M			
26-40	POBRE				
11-25	MUY POBRE				
0-10	FALLADO				
TOTAL					
BAJA (L)					
MEDIA(M)					
ALTA (H)					
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
3	78.57	M	69		
9	21.43	M	13		
8	14.29	L	8		
8	7.14	M	6		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			96	CONDICION DEL PAVIMENTO	25
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			75	Muy malo	



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al:0+210				
Fecha:9/7/2020		Codigo:UM3 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascaramiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	3		6		9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	L	13	M	3	L
41-55	REGULAR	8	M			6	M
26-40	POBRE	5	H			3	H
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al:0+210				
Fecha:9/7/2020		Codigo:UM3 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M				
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	35.71	H	67				
3	57.14	M	60				
9	21.43	H	31				
9	42.86	M	29				
9	21.43	L	7				
3	7.14	L	7				
6	92.86	M	4				
10	7.14	M	2				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			187	CONDICION DEL PAVIMENTO	3		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			97	Fallado			

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:9/7/2020		Codigo: UM4 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	7	M	1	L	3	L
41-55	REGULAR	1	H	9	M	2	M
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:9/7/2020		Codigo: UM4 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: VANT							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello dejunta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M				
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	50	M	57				
8	38.89	M	23				
8	5.56	H	11				
9	11.11	M	7				
3	5.56	L	6				
9	16.67	L	4				
10	5.56	M	2				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			104	CONDICION DEL PAVIMENTO	35		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			65	Malo			

ANEXO 6. MEMORIA DE CÁLCULO DE PCI MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL PAVIMENTO RÍGIDO.

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO																											
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+00	Al:0+70																								
Fecha:11/7/2020		Codigo:UM1 A																									
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14																									
Metodo: INSPECCION VISUAL																											
TIPO DE FALLAS																											
1. Blow up/ Bucklin	Un.	11. Pulimiento de agregados	Un.																								
2. Grieta de esquina	Un.	12. Popuuts	Un.																								
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.																								
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.																								
5. Escala	Un.	15. Cruce de Via Ferrea	Un.																								
6. Sello de junta	Un.	16. Desconchamiento	Un.																								
7. Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.																								
8. Grieta lineal	Un.	18. Descascamiento de esquina	Un.																								
9. Parcheo (grande)	Un.	19. Desprendimiento de junta	Un.																								
10. Parcheo (pequeño)	Un.																										
TIPO DE FALLAS EXISTENTE																											
<table border="1"> <tr> <td>86-100</td> <td>EXCELENTE</td> <td style="background-color: green;"></td> </tr> <tr> <td>71-85</td> <td>MUY BUENO</td> <td style="background-color: lightgreen;"></td> </tr> <tr> <td>56-70</td> <td>BUENO</td> <td style="background-color: yellow;"></td> </tr> <tr> <td>41-55</td> <td>REGULAR</td> <td style="background-color: orange;"></td> </tr> <tr> <td>26-40</td> <td>POBRE</td> <td style="background-color: red;"></td> </tr> <tr> <td>11-25</td> <td>MUY POBRE</td> <td style="background-color: darkred;"></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td>FALLADO</td> <td style="background-color: gray;"></td> </tr> </table>	86-100	EXCELENTE		71-85	MUY BUENO		56-70	BUENO		41-55	REGULAR		26-40	POBRE		11-25	MUY POBRE		0-10	FALLADO		8		9		3	
	86-100	EXCELENTE																									
	71-85	MUY BUENO																									
	56-70	BUENO																									
	41-55	REGULAR																									
	26-40	POBRE																									
	11-25	MUY POBRE																									
	0-10	FALLADO																									
	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD																					
	4	H	4	L	2	L																					
			1	M	9	M																					
TOTAL																											
BAJA (L)																											
MEDIA (M)																											
ALTA (H)																											
CALCULO DEL PCI																											
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO																								
3	64.29	M	64																								
8	28.57	H	35																								
3	14.29	L	14																								
9	28.57	L	11																								
9	7.14	M	4																								
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			128	CONDICION DEL PAVIMENTO	28																						
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			72	Malo																							

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha: 11/7/2020		Codigo:UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		6	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M	1	L	4	M
41-55	REGULAR	2	H	11	M		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha: 11/7/2020		Codigo:UM2 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello dejunta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	L				
41-55	REGULAR	4	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	78.57	M	70				
8	14.29	H	24				
9	28.57	M	19				
3	7.14	L	7				
8	7.14	M	7				
6	28.57	M	4				
9	7.14	L	2				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			120	CONDICION DEL PAVIMENTO	24		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			76	Muy malo			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al: 0+210				
Fecha: 11/7/2020		Codigo:UM3 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		6	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	4	H	1	L	2	M
41-55	REGULAR	1	M	3	M		
26-40	POBRE			5	H		
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al: 0+210				
Fecha: 11/7/2020		Codigo:UM3 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello dejunta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	10	L				
41-55	REGULAR	3	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	35.71	H	66				
3	21.43	M	37				
8	28.57	H	35				
9	71.43	L	24				
9	21.43	M	13				
3	7.14	L	7				
8	7.14	M	7				
6	14.29	M	4				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			175	CONDICION DEL PAVIMENTO	12		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			88	Muy malo			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:11/7/2020		Codigo:UM4 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		6	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	2	M	2	M	9	M
41-55	REGULAR	5	H	10	H		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:11/7/2020		Codigo:UM4 A					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	9		19			
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	4	L	1	H		
41-55	REGULAR	5	M				
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	55.56	H	77				
8	27.78	H	34				
3	11.11	M	23				
9	27.78	M	18				
8	11.11	M	9				
19	5.56	H	8				
9	22.22	L	7				
6	50	M	4				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			152	CONDICION DEL PAVIMENTO	17		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			83	Muy malo			



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+00	Al:0+70				
Fecha:12/7/2020		Codigo:UM1 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	2	L	4	M	3	L
41-55	REGULAR	6	M	2	H		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+00	Al:0+70				
Fecha:12/7/2020		Codigo:UM1 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M				
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	28.57	M	43				
3	14.29	H	42				
8	42.86	M	25				
8	14.29	L	7				
9	21.43	L	7				
10	7.14	M	2				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			124	CONDICION DEL PAVIMENTO	30		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			70	Malo			

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+70	Al:0+140				
Fecha:12/7/2020		Codigo:UM2 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas: 14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	L	1	L	3	M
41-55	REGULAR	2	M	10	M		
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	71.43	M	67				
9	21.43	M	13				
8	14.29	M	11				
3	7.14	L	7				
8	7.14	L	4				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			102	CONDICION DEL PAVIMENTO		25	
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			75	Muy malo			

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al:0+210				
Fecha:12/7/2020		Codigo:UM3 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	3		6		9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	8	M	1	L	2	L
41-55	REGULAR	6	H	12	M	7	M
26-40	POBRE					3	H
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+140	Al:0+210				
Fecha:12/7/2020		Codigo:UM3 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:14					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	10					
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	1	M				
41-55	REGULAR						
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							
CALCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO				
3	42.86	H	70				
3	57.14	M	61				
9	50	M	33				
9	21.43	H	31				
9	14.29	L	4				
6	85.71	M	4				
6	7.14	L	2				
10	7.14	M	2				
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			195	CONDICION DEL PAVIMENTO	1		
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			99	Fallado			

EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO							
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210	Al:0+300				
Fecha:12/7/2020		Codigo: UM4 B					
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18					
Metodo: INSPECCION VISUAL							
TIPO DE FALLAS							
1.Blow up/ Bucklin	Un.	11.Pulimiento de agregados	Un.				
2. Grieta de esquina	Un.	12.Popuuts	Un.				
3. Losa dividida	Un.	13. Bombeo	Un.				
4. Grieta de durabilidad (D)	Un.	14. Punzamiento	Un.				
5. Escala	Un.	15.Cruce de Via Ferrea	Un.				
6.Sello de junta	Un.	16.Desconchamiento	Un.				
7.Desnivel Carril/Berma	Un.	17. Retraccion	Un.				
8. Grieta lineal	Un.	18.Descascamiento de esquina	Un.				
9. Parcheo (grande)	Un.	19.Desprendimiento de junta	Un.				
10.Parcheo (pequeño)	Un.						
TIPO DE FALLAS EXISTENTE							
86-100	EXCELENTE	8		3		9	
71-85	MUY BUENO	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	SEVERIDAD
56-70	BUENO	8	M	2	L	4	L
41-55	REGULAR			8	M	1	M
26-40	POBRE						
11-25	MUY POBRE						
0-10	FALLADO						
TOTAL							
BAJA (L)							
MEDIA(M)							
ALTA (H)							



EVALUACION DE PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO					
Proyecto: Carretera panamericana (CA-1) Km 152		Del:0+210		Al:0+300	
Fecha:12/7/2020		Codigo: UM4 B			
Responsable: Grupo de tesis UES FMO		Numero de losas:18			
Metodo: INSPECCION VISUAL					
TIPO DE FALLAS					
1.Blow up/ Bucklin		Un.		11.Pulimiento de agregados Un.	
2. Grieta de esquina		Un.		12.Popuuts Un.	
3. Losa dividida		Un.		13. Bombeo Un.	
4. Grieta de durabilidad (D)		Un.		14. Punzamiento Un.	
5. Escala		Un.		15.Cruce de Via Ferrea Un.	
6.Sello dejunta		Un.		16.Desconchamiento Un.	
7.Desnivel Carril/Berma		Un.		17. Retraccion Un.	
8. Grieta lineal		Un.		18.Descascamiento de esquina Un.	
9. Parcheo (grande)		Un.		19.Desprendimiento de junta Un.	
10.Parcheo (pequeño)		Un.			
TIPO DE FALLAS EXISTENTE					
86-100 EXCELENTE		10			
71-85 MUY BUENO		N° DE LOSAS SEVERIDAD		N° DE LOSAS SEVERIDAD	
56-70 BUENO		1 M			
41-55 REGULAR					
26-40 POBRE					
11-25 MUY POBRE					
0-10 FALLADO					
TOTAL					
BAJA (L)					
MEDIA(M)					
ALTA (H)					
CALCULO DEL PCI					
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO		
3	44.44	M	54		
8	44.44	M	26		
3	11.11	L	11		
9	22.22	L	7		
9	5.56	M	3		
10	5.56	M	2		
VALOR TOTAL DE DEDUCCION			101	CONDICION DEL PAVIMENTO	38
VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO-VDC			62	Malo	



ANEXO 7. LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana de Prueba de Materiales
CONREVIAl	Consortio de Rehabilitación Vial
DNIT	Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte
DSM	Modelo Digital de Superficie
GCP	Puntos de Control de Tierra
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GSD	Distancia de Muestreo de Tierra
H	Severidad Alta (HIGH)
HMA	Mezcla de Asfalto Caliente
L	Severidad Baja (LOW)
M	Severidad Media (MEDIUM)
m	Número máximo admisible de valores deducidos
MDS	Escalamiento Multidimensional
MTP	Punto de Amarre Manual
PASER	Evaluación Superficial y Rango de Pavimento
PCI	Índice de Condición del Pavimento
TIFF	Formato de Archivo de Imágenes con Etiquetas
UM	Unidad de Muestreo
VANT	Vehículo Aéreo No Tripulado
VD	Valor Deducido

VDC	Valor Deducido Corregido
VDT	Valor Deducido Total
VIZIR	Inspección Visual de Daños en Carreteras

ANEXO 8. CATÁLOGO DE FALLAS

MANUAL DE DAÑOS EN VÍAS CON SUPERFICIE DE CONCRETO ASFÁLTICO

1. Piel de cocodrilo.

Descripción: Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga). La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Niveles de severidad

L (Low: Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

M (Medium: Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

H (High: Alto): Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción.

2. Exudación.

Descripción: La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Niveles de severidad.

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

H: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

3. Agrietamiento en bloque.

Descripción: Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad.

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

Opciones de reparación

L: Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello.

M: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

4. Abultamientos (bumps) y hundimientos (sags).

Descripción: Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”).

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

Niveles de severidad

L: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.

H: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

Medida

Se miden en pies lineales (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.

5. Corrugación.

Descripción: La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

6. Depresión.

Descripción: Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidropneumático.

Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Más de 51.0 mm.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) del área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

7. Grieta de borde.

Descripción: Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (ó metros lineales).

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.

8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland).

Descripción: Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.

2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15.0 m puede tener 3.0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión este también debe registrarse.

Opciones de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

9. Desnivel carril / berma.

Descripción: El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad.

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.

M: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.

H: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.

Medida

El desnivel carril / berma se miden en pies lineales (ó metros lineales).

Opciones de reparación

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de Concreto de cemento pórtland).

Descripción: Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (ó metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, estos deben registrarse.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

11. Parcheo y acometidas de servicios públicos.

Descripción: Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

Niveles de Severidad.

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

H: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m² puede tener 0.9 m² de severidad media y 1.35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.

12. Pulimento de agregados.

Descripción: Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al

tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad.

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

13. Huecos.

Descripción: Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Cuadro 13.1.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

Cuadro 13.1. Niveles de severidad para huecos.

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

Medida

Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta, y registrándolos separadamente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.

14. Cruce de vía férrea.

Descripción: Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

Medida

El área del cruce se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

H: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

15. Ahuellamiento.

Descripción: El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

Medida

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

16. Desplazamiento.

Descripción: El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.

Niveles de severidad

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

17. Grietas parabólicas (slippage).

Descripción: Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

Nivel de severidad

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

18. Hinchamiento.

Descripción: El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba.

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

19. Meteorización / desprendimiento de agregados.

Descripción: La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Niveles de severidad

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.

M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

Medida

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

MANUAL DE DAÑOS EN VÍAS CON SUPERFICIE EN CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND

21. Blowup - buckling.

Descripción: Los blowups o buckles ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles en el espacio de la junta. Cuando la expansión no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (Buckling) o fragmentación en la vecindad de la junta. También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.

Niveles de Severidad

L: Causa una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Causa una calidad de tránsito de severidad media.

H: Causa una calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

En una grieta, un blowup se cuenta como presente en una losa. Sin embargo, si ocurre en una junta y afecta a dos losas se cuenta en ambas. Cuando la severidad del blowup deja el pavimento inutilizable, este debe repararse de inmediato.

Opciones de Reparación

L: No se hace nada. Parcheo profundo o parcial.

M: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

H: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

22. Grieta de esquina.

Descripción: Una grieta de esquina es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, una losa con dimensiones de 3.70 m por 6.10 m presenta una grieta a 1.50 m en un lado y a 3.70 m en el otro lado, esta grieta no se considera grieta de esquina sino grieta diagonal; sin embargo, una grieta que intercepta un lado a 1.20 m y el otro lado a 2.40 m si es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo. Generalmente, la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte y los esfuerzos de alabeo originan las grietas de esquina.

Niveles de Severidad

L: La grieta está definida por una grieta de baja severidad y el área entre la grieta y las juntas está ligeramente agrietada o no presenta grieta alguna.

M: Se define por una grieta de severidad media o el área entre la grieta y las juntas presenta una grieta de severidad media (M)

H: Se define por una grieta de severidad alta o el área entre la junta y las grietas esta muy agrietada.

Medida

La losa dañada se registra como una (1) losa si:

1. Sólo tiene una grieta de esquina.

2. Contiene más de una grieta de una severidad particular.
3. Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de severidad. Por ejemplo, una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una de severidad media, deberá contabilizarse como una (1) losa con una grieta de esquina media.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de más de 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo profundo.

H: Parcheo profundo.

23. Losa dividida.

Descripción: La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

Niveles de severidad

En el Cuadro 23.1 se anotan los niveles de severidad para losas divididas.

Cuadro 23.1. Niveles de Severidad para Losa Dividida

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos en la losa agrietada		
	4 a 5	6 a 8	8 ó más
L	L	L	M
M	M	M	H
H	M	M	H

Medida

Si la losa dividida es de severidad media o alta, no se contabiliza otro tipo de daño.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor de 3mm.

M: Reemplazo de la losa.

H: Reemplazo de la losa.

24. Grieta de durabilidad “d”.

Descripción: Las grietas de durabilidad “D” son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

Niveles de severidad

L: Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unas pocas piezas pueden haberse desprendido.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse con facilidad.
2. Las grietas “D” cubren más del 15% del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

H: Las grietas “D” cubren más del 15% del área y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

Medida

Cuando el daño se localiza y se califica en una severidad, se cuenta como una losa. Si existe más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si grietas “D” de baja y media severidad están en la misma losa, la losa se registra como de severidad media únicamente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas.

H: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas. Reemplazo de la losa.

25. Escala.

Descripción: Escala es la diferencia de nivel a través de la junta. Algunas causas comunes que la originan son:

1. Asentamiento debido una fundación blanda.
2. Bombeo o erosión del material debajo de la losa.
3. Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura o humedad.

Niveles de Severidad

Se definen por la diferencia de niveles a través de la grieta o junta como se indica en el Cuadro 25.1.

Cuadro 25.1 Niveles de Severidad para Escala.

Nivel de severidad	Diferencia en elevación
L	3 a 10 mm
M	10 a 19 mm
H	Mayor que 19 mm

Medida

La escala a través de una junta se cuenta como una losa. Se cuentan únicamente las losas afectadas. Las escalas a través de una grieta no se cuentan como daño, pero se consideran para definir la severidad de las grietas.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado.

H: Fresado.

26. Daño del sello de la junta.

Descripción: Es cualquier condición que permite que suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que lo anterior ocurra. Los tipos típicos del daño de junta son:

1. Desprendimiento del sellante de la junta.
2. Extrusión del sellante.
3. Crecimiento de vegetación.
4. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
5. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
6. Falta o ausencia del sellante en la junta.

Niveles de Severidad

L: El sellante está en una condición buena en forma general en toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor.

M: Está en condición regular en toda la sección, con uno o más de los tipos de daño que ocurre en un grado moderado. El sellante requiere reemplazo en dos años.

H: Está en condición generalmente buena en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, los cuales ocurren en un grado severo. El sellante requiere reemplazo inmediato.

Medida

No se registra losa por losa, sino que se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Resellado de juntas.

H: Resellado de juntas.

27. Desnivel carril / berma.

Descripción: El desnivel carril / berma es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de niveles puede constituirse como una amenaza para la seguridad. También puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua.

Nivel de severidad

L: La diferencia entre el borde del pavimento y la berma es de 25.0 mm a 51.0 mm.

M: La diferencia de niveles es de 51.0 mm a 102.0 mm.

H: La diferencia de niveles es mayor que 102.0 mm.

Medida

El desnivel carril / berma se calcula promediando los desniveles máximo y mínimo a lo largo de la losa. Cada losa que exhiba el daño se mide separadamente y se registra como una losa con el nivel de severidad apropiado.

Opciones de reparación

L, M, H: Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.

28. Grietas lineales (Grietas longitudinales, transversales y diagonales).

Descripción: Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad.

Las losas divididas en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes. Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción.

Niveles de severidad

Losas sin refuerzo:

L: Grietas no selladas (incluye llenante inadecuado) con ancho menor que 12.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con ancho entre 12.0 mm y 51.0 mm.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 51.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con ancho mayor que 51.0 mm.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho con escala mayor que 10.0 mm.

Losas con refuerzo:

L: Grietas no selladas con ancho entre 3.0 mm y 25.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con un ancho entre 25.0 mm y 76.0 mm y sin escala.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 76.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala hasta de 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada de más de 76.0 mm de ancho.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho y con escala mayor que 10.0 mm.

Medida

Una vez se ha establecido la severidad, el daño se registra como una losa. Si dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se cuenta dicha losa como una poseedora de grieta de alta severidad. Las losas divididas en cuatro o más pedazos se cuentan como losas divididas. Las losas de longitud mayor que 9.10 m se dividen en “losas” de aproximadamente igual longitud y que tienen juntas imaginarias, las cuales se asumen están en perfecta condición.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas más anchas que 3.0 mm.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

29. Parche grande (mayor de 0.45 m²) y acometidas de servicios públicos.

Descripción: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo. Una excavación de servicios públicos (utility cut) es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de instalaciones subterráneas. Los niveles de severidad de una excavación de servicios son los mismos que para el parche regular.

Niveles de severidad

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

M: El parche esta moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable.

H: El parche está muy dañado. El estado de deterioro exige reemplazo.

Medida

Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una

losa con el mayor nivel de severidad. Si la causa del parche es más severa, únicamente el daño original se cuenta.

Opciones para Reparación

L: No se hace nada.

M: Sellado de grietas. Reemplazo del parche.

H: Reemplazo del parche.

30. Parche pequeño (menor de 0.45 m²).

Descripción: Es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno.

Niveles de Severidad

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

M: El parche está moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo.

H: El parche está muy deteriorado. La extensión del daño exige reemplazo.

Medida

Si una losa presenta uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se registra como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se registra como una losa con el mayor nivel de daño. Si la causa del parche es más severa, únicamente se contabiliza el daño original.

Opciones para Reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reemplazo del parche.

H: Reemplazo del parche.

31. Pulimento de agregados.

Descripción: Este daño se causa por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito. Cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto, se reduce considerablemente la adherencia con las llantas. Cuando la porción del agregado que se extiende sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados que se extiende sobre el concreto es despreciable y suave al tacto. Este tipo de daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a evaluaciones previas.

Niveles de Severidad

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de incluirlo en un inventario de la condición y calificarlo como un defecto.

Medida

Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa.

Opciones de reparación

L, M y H: Ranurado de la superficie. Sobrecarpeta.

32. Popouts.

Descripción: Un popout es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo. Puede deberse a partículas blandas o fragmentos de madera rotos y desgastados por el tránsito. Varían en tamaño con diámetros entre 25.0 mm y 102.0 mm y en espesor de 13.0 mm a 51.0 mm.

Niveles de severidad

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el popout debe ser extenso antes que se registre como un daño. La densidad promedio debe exceder aproximadamente tres por metro cuadrado en toda el área de la losa.

Medida

Debe medirse la densidad del daño. Si existe alguna duda de que el promedio es mayor que tres popout por metro cuadrado, deben revisarse al menos tres áreas de un metro cuadrado elegidas al azar. Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, debe contabilizarse la losa.

Opciones de reparación

L, M y H: No se hace nada.

33. Bombeo.

Descripción: El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual generan una pérdida progresiva del soporte del pavimento. El bombeo puede identificarse por manchas en la superficie y la evidencia de material de base o subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas. El bombeo cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta e indica la pérdida de soporte. Eventualmente, la repetición de cargas producirá grietas. El bombeo también puede ocurrir a lo largo del borde de la losa causando pérdida de soporte.

Niveles de Severidad

No se definen grados de severidad. Es suficiente indicar la existencia.

Medida

El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como dos losas. Sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa tienen bombeo, se agrega una losa por junta adicional con bombeo.

Opciones de reparación

L, M y H: Sellado de juntas y grietas. Restauración de la transferencia de cargas.

34. Punzonamiento.

Descripción: Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes, pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1.52 m entre sí. Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto (por ejemplo, hormigueros).

Niveles de Severidad

Cuadro 34.1. Niveles de Severidad para Punzonamiento

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos		
	2 a 3	4 a 5	Más de 5
L	L	L	M
M	L	M	H
H	M	H	H

Medida

Si la losa tiene uno o más punzonamientos, se contabiliza como si tuviera uno en el mayor nivel de severidad que se presente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas.

M: Parcheo profundo.

H: Parcheo profundo.

35. Cruce de vía férrea.

Descripción: El daño de cruce de vía férrea se caracteriza por depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Se registra el número de losas atravesadas por los rieles de la vía férrea. Cualquier gran abultamiento producido por los rieles debe contarse como parte del cruce.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

H: Parcheo parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

36. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado.

Descripción: El mapa de grietas o craquelado (crazing) se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados. Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6.0 mm a 13.0 mm. El descamado también puede ser causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad.

Niveles de severidad

L: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con solo un descamado menor presente.

M: La losa está descamada, pero menos del 15% de la losa está afectada.

H: La losa esta descamada en más del 15% de su área.

Medida

Una losa descamada se contabiliza como una losa. El craquelado de baja severidad debe contabilizarse únicamente si el descamado potencial es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han salido.

Opciones para reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reemplazo de la losa.

H: Parcheo profundo o parcial. Reemplazo de la losa. Sobrecarpeta.

37. Grietas de retracción.

Descripción: Son grietas capilares usualmente de unos pocos pies de longitud y no se extienden a lo largo de toda la losa. Se forman durante el fraguado y curado del concreto y generalmente no se extienden a través del espesor de la losa.

Niveles de severidad

No se definen niveles de severidad. Basta con indicar que están presentes.

Medida

Si una o más grietas de retracción existen en una losa en particular, se cuenta como una losa con grietas de retracción.

Opciones de reparación

L, M y H: No se hace nada.

38. Descascaramiento de esquina.

Descripción: Es la rotura de la losa a 0.6 m de la esquina aproximadamente. Un descascaramiento de esquina difiere de la grieta de esquina en que el descascaramiento usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, mientras que la grieta se extiende verticalmente a través de la esquina de losa. Un descascaramiento menor que 127 mm medidos en ambos lados desde la grieta hasta la esquina no deberá registrarse.

Niveles de severidad

En el Cuadro 38.1 se listan los niveles de severidad para el descascaramiento de esquina. El descascaramiento de esquina con un área menor que 6452 mm² desde la grieta hasta la esquina en ambos lados no deberá contarse.

Cuadro 38.1 Niveles de Severidad para Descascaramiento de Esquina.

Profundidad del Descascaramiento	Dimensiones de los lados del descascaramiento	
	127.0 x 127.0 mm a 305.0 x 305.0 mm	Mayor que 305.0 x 305.0 mm
Menor de 25.0 mm	L	L
> 25.0 mm a 51.0 mm	L	M
Mayor de 51.0 mm	M	H

Medida

Si en una losa hay una o más grietas con descascaramiento con el mismo nivel de severidad, la losa se registra como una losa con descascaramiento de esquina. Si ocurre más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

39. Descascaramiento de junta.

Descripción: Es la rotura de los bordes de la losa en los 0.60 m de la junta. Generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa si no que intercepta la junta en ángulo. Se origina por:

1. Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.
2. Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

Niveles de Severidad

En el Cuadro 39.1 se ilustran los niveles de severidad para descascaramiento de junta. Una junta desgastada, en la cual el concreto ha sido desgastado a lo largo de toda la junta se califica como de baja severidad.

Cuadro 39.1 Niveles de Severidad Descascaramiento de Junta

Fragmentos del Descascaramiento	Ancho del descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		< 0.6m	> 0.6 m
Duros. No puede removerse fácilmente (pueden faltar algunos pocos fragmentos).	< 102 mm	L	L
	> 102 mm	L	L
Suelos. Pueden removerse y algunos fragmentos pueden faltar. Si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial, menos de 25.0 mm.	< 102 mm	L	M
	>102 mm	L	M
Desaparecidos. La mayoría, o todos los fragmentos han sido removidos.	< 102 mm	L	M
	> 102 mm	M	H

Medida

Si el descascaramiento se presenta a lo largo del borde de una losa, esta se cuenta como una losa con descascaramiento de junta. Si está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa. El descascaramiento de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes. Si este es el caso, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta.

Opciones para Reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial. Reconstrucción de la junta.

ANEXO 9. CUADROS DE TIEMPOS Y COSTOS

TIEMPOS.

Cálculo de tiempo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Flexible utilizando imágenes obtenidas del VANT.

ACTIVIDAD	TIEMPO
Ubicación, señalización y obtención de coordenadas de puntos de apoyo terrestre	2 h
Adquisición de fotografías	9min:50 s
Procesamiento inicial	10h:51min:55 s
Nube de puntos y malla, MDS, Ortomosaico	5 h:19 min:21 s
Limpieza de obstáculos	36 min
Identificación y metrado de fallas en Ortofoto y modelo 3D	3h: 33 min
Tiempo total de inspección	22h:38 min:10s

Cálculo de tiempo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Flexible mediante inspección visual.

ACTIVIDAD	TIEMPO
Colocación de quipo de señalización	15 min
Delimitación de unidades de muestreo carril A	30 min
Delimitación de unidades de muestreo carril B	30 min
Identificación y metrado de fallas carril A	5 horas
Identificación y metrado de fallas carril B	5 horas
Tiempo total de inspección	11horas:15min

Cálculo de tiempo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Rígido utilizando imágenes obtenidas del VANT.

ACTIVIDAD	TIEMPO
Ubicación, señalización y obtención de coordenadas de puntos de apoyo terrestre	N/A
Adquisición de fotografías	7 min:24 s
Procesamiento inicial	14 h:51min:00 s
Nube de puntos y malla, MDS, Ortomosaico	4h:53min:35 s
Limpieza de obstáculos	32 min
Identificación y metrado de fallas en Ortofoto y modelo 3D	1h:20 min
Tiempo total de inspección	21h:25min:59 s

Cálculo de tiempo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Rígido mediante inspección visual.

ACTIVIDAD	TIEMPO
Colocación de quipo de señalización	15 min
Delimitación de unidades de muestreo carril A	30 min
Delimitación de unidades de muestreo carril B	30 min
Identificación y metrado de fallas carril A	5 horas
Identificación y metrado de fallas carril B	5 horas
Tiempo total de inspección	11 horas: 15 min

COSTOS.

Cálculo de costo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Flexible utilizando imágenes obtenidas del VANT.

ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO
Alquiler estación total	1	U	\$25.00
Alquiler drone Dji Mavic 2 pro	1	U	\$225.00
Pintura en Spray	2	U	\$5.00
Compra e instalación de software Pix4d Mapper Pro	1	U	\$70.00
PRECIO TOTAL			\$325.00

Cálculo de costo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Flexible mediante inspección visual.

ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO
Pintura en Spray	2	U	\$5.00
Equipo de señalización alquiler	1	U	\$25.00
Cinta métrica 30 m (STANLEY)	1	U	\$18.95
Cinta métrica 4m	1	U	\$4.65
PRECIO TOTAL			\$53.60

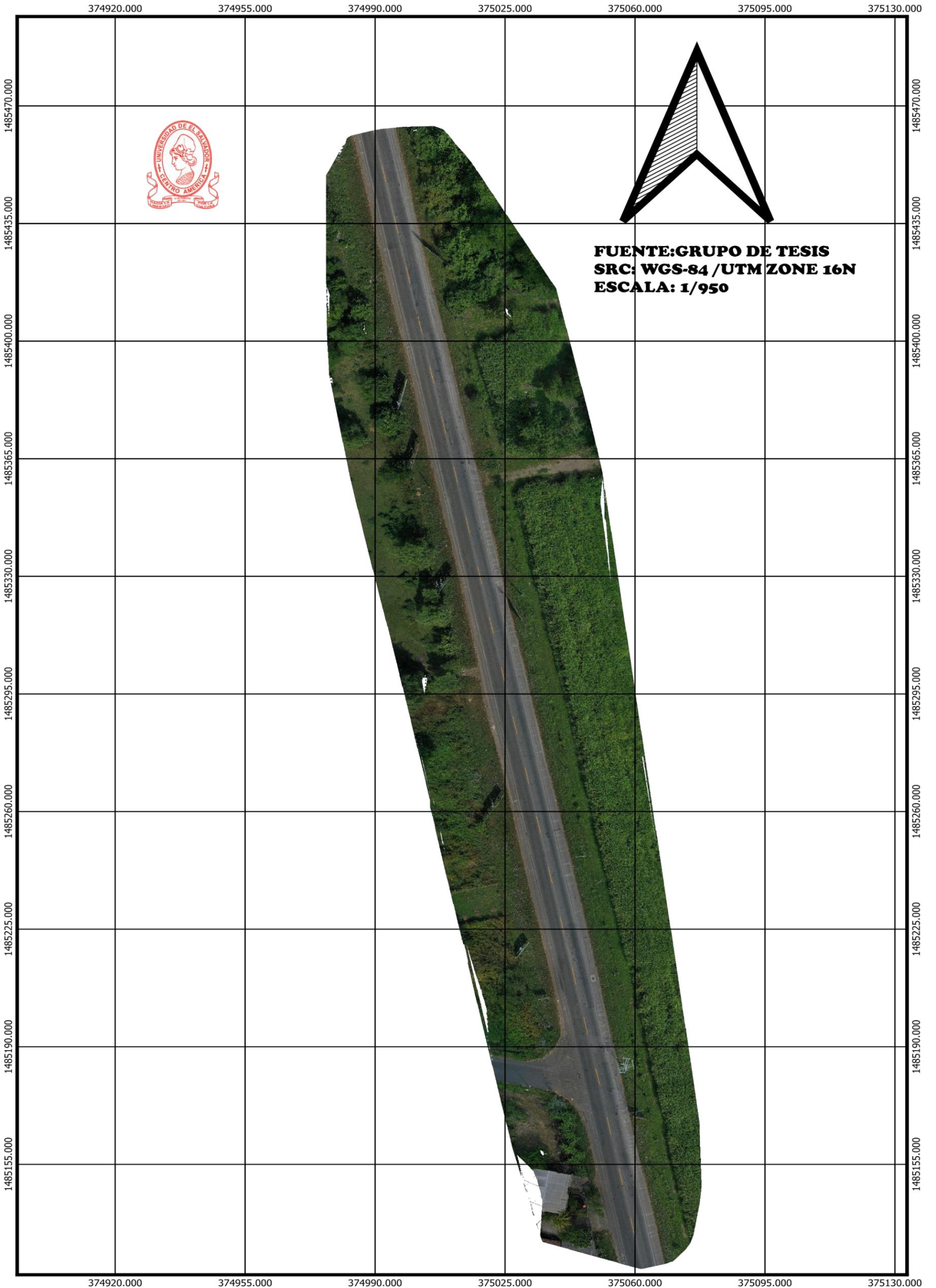
Cálculo de costo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Rígido utilizando imágenes obtenidas del VANT.

ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO
Alquiler estación total	1	U	\$25.00
Alquiler drone Dji Mavic 2 pro	1	U	\$225.00
Pintura en Spray	2	U	\$5.00
Compra e instalación de software Pix4d Mapper Pro	1	U	\$70.00
PRECIO TOTAL			\$325.00

Cálculo de costo total empleado en la identificación y medición de fallas para Pavimento Rígido mediante inspección visual.

ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO
Pintura en Spray	2	U	\$5.00
Equipo de señalización alquiler	1	U	\$25.00
Cinta métrica 30 m (STANLEY)	1	U	\$18.95
Cinta métrica 4m	1	U	\$4.65
PRECIO TOTAL			\$53.60

ANEXO 10. PRODUCTOS FOTOGRAFÉRICOS
ORIGEN MOSAICO DEL TRAMO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
Carretera San Miguel - El Delirio Km 144. (RN-17)



FUENTE: GRUPO DE TESIS
SRC: WGS-84 / UTM ZONE 16N
ESCALA: 1/950

0 10 20 30 m

ORTOMOSAICO TRAMO DE PAVIMENTO RIGIDO

Carretera panamericana Km 152 (CA-1)

