

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE
PARA EVITAR UN DESGASTE PREMATURO EN VÍAS URBANAS

TESIS
PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. SAAVEDRA RUIZ, FÉLIX DANKO

Bach. SARMIENTO PALOMINO, ALONSO BRYAN

ASESOR: PhD. Ing. ESTRADA MENDOZA, MIGUEL LUIS

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Félix Enrique y Norte Nery por haberme apoyado en todo momento durante la carrera y nunca perder las esperanzas en mí. A mi hermano Enrique Manuel por haberme apoyado también siempre en todo lo que podía. A mi novia Milagros del Rocío por su apoyo incondicional en todo momento, y a todos aquellos que de alguna u otra manera me apoyaron a cumplir esta meta.

Félix Danko Saavedra Ruiz

Esta tesis está dedicada a mis padres René y Norma, quienes me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi carrera. A mi hermano Fabricio, por brindarme su ayuda siempre que pudo. Y a mi enamorada Sandra, por motivarme a seguir avanzando.

Alonso Bryan Sarmiento Palomino

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Ricardo Palma, a todos los docentes que nos guiaron en nuestra preparación académica, a nuestros compañeros de estudios y a nuestros asesores: Ph. D Carlos Magno Chavarry Vallejos y el PhD. Ing. Miguel Luis Estrada Mendoza.

Félix Saavedra y Alonso Sarmiento

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Delimitación de la investigación	2
1.4.1. Geográfica	2
1.4.2. Temporal	2
1.4.3. Temática	3
1.4.4. Muestral.....	3
1.5. Justificación del estudio.....	3
1.5.1. Conveniencia.....	3
1.5.2. Relevancia social.....	3
1.5.3. Aplicaciones prácticas	3
1.5.4. Utilidad metodológica	3
1.5.5. Valor teórico.....	4
1.6. Importancia del estudio.....	4
1.6.1. Nuevos conocimientos	4
1.6.2. Aporte.....	4
1.7. Limitaciones del estudio	4
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación	4
1.7.2. Metodológicos o prácticos	4
1.7.3. Medidas para la recolección de datos.....	5
1.7.4. Obstáculos en la investigación	5
1.8. Alcance	5

1.9. Viabilidad del estudio	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Marco histórico	6
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	6
2.2.1. Investigaciones internacionales	6
2.2.2. Investigaciones nacionales	7
2.2.3. Artículos relacionados con el tema	7
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	8
2.3.1. IMDA	8
2.3.2. Clasificación de las vías según su función.	9
2.3.3. Pavimentos	10
2.3.4. Tipos de pavimentos.....	10
2.3.5. Métodos de evaluación de la condición del pavimento.....	12
2.3.5.1. Metodología VIZIR.....	12
2.3.5.2. Identificación de los deterioros con el método VIZIR.....	13
2.3.5.3. Flujo grama para el cálculo del Índice de Deterioro Superficial	17
2.3.5.4. Metodología PCI	20
2.3.6. Daños y medidas correctivas en pavimentos flexibles.....	26
2.3.7. Conservación de pavimento flexible en calzada y berma	43
2.3.7.1. Actividades de conservación rutinaria	43
2.3.7.2. Actividades de conservación periódica.....	44
2.3.8. Daños en carreteras con pavimento rígido.	44
2.3.9. Conservación de pavimentos rígidos en calzada y berma.....	59
2.3.9.1. Actividades de conservación rutinaria	59
2.3.9.2. Actividades de conservación periódica.....	59
2.3.10. Índice medio diario anual de tránsito (IMDA)	60
2.3.11. Sistemas de información geográfica	61
2.4. Definición de términos básicos.....	62
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis	65
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.	66
3.1. Hipótesis	66
3.1.1. Hipótesis general	66
3.1.2. Hipótesis específicas	66

5.3. Contrastación de resultados	157
DISCUSIÓN.....	175
CONCLUSIONES	177
RECOMENDACIONES	178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Degradación del tipo A.....	14
Tabla 2. Degradación del tipo B.	15
Tabla 3. Niveles de gravedad de los deterioros del tipo A.	16
Tabla 4. Niveles de gravedad de los deterioros del tipo B.	17
Tabla 5. Calificación del estado de la superficie del pavimento - VIZIR.	19
Tabla 6. Rangos de calificación del PCI.....	20
Tabla 7. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie en concreto hidráulico.	21
Tabla 8. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV.	26
Tabla 9. Daños en pavimentos flexibles.	27
Tabla 10. Daños en pavimentos rígidos.....	45
Tabla 11. Operacionalización de las variables.....	73
Tabla 12. Conteo de vehículos en la estación A en la Av. Villa María.....	80
Tabla 13. Conteo de vehículos en la estación B en la Av. Villa María.	82
Tabla 14. Conteo de vehículos en la estación C en la Av. Villa María.	84
Tabla 15. Conteo de vehículos en la estación A en la Av. Santa Rosa.....	87
Tabla 16. Conteo de vehículos en la estación B en la Av. Santa Rosa.	89
Tabla 17. IMD para vías transversales a las avenidas intervenidas.....	91
Tabla 18. Tramo 1 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	93
Tabla 19. Tramo 2 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	94
Tabla 20. Tramo 3 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	95
Tabla 21. Tramo 4 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	96
Tabla 22. Tramo 5 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	97
Tabla 23. Tramo 6 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	98
Tabla 24. Tramo 7 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	99
Tabla 25. Tramo 8 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	100
Tabla 26. Tramo 9 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.	101
Tabla 27. Resumen del índice de deterioro superficial de la Av. Sta. Rosa.	102
Tabla 28. Análisis cuadra 1 de la Av. Villa María por el método del PCI.	107
Tabla 29. Análisis cuadra 2 de la Av. Villa María por el método del PCI.	108
Tabla 30. Análisis cuadra 3 de la Av. Villa María por el método del PCI.	109
Tabla 31. Análisis cuadra 4 de la Av. Villa María por el método del PCI.	110

Tabla 32. Análisis cuadra 5 de la Av. Villa María por el método del PCI.	111
Tabla 33. Análisis cuadra 6 de la Av. Villa María por el método del PCI.	112
Tabla 34. Análisis cuadra 7 de la Av. Villa María por el método del PCI.	113
Tabla 35. Análisis cuadra 8 de la Av. Villa María por el método del PCI.	114
Tabla 36. Análisis cuadra 9 de la Av. Villa María por el método del PCI.	115
Tabla 37. Análisis cuadra 10 de la Av. Villa María por el método del PCI.	116
Tabla 38. Análisis cuadra 11 de la Av. Villa María por el método del PCI.	117
Tabla 39. Análisis cuadra 12 de la Av. Villa María por el método del PCI.	118
Tabla 40. Análisis cuadra 13 de la Av. Villa María por el método del PCI.	119
Tabla 41. Análisis cuadra 14 de la Av. Villa María por el método del PCI.	120
Tabla 42. Análisis cuadra 15 de la Av. Villa María por el método del PCI.	121
Tabla 43. Análisis cuadra 16 de la Av. Villa María por el método del PCI.	122
Tabla 44. Análisis cuadra 17 de la Av. Villa María por el método del PCI.	123
Tabla 45. Análisis cuadra 18 de la Av. Villa María por el método del PCI.	124
Tabla 46. Análisis cuadra 19 de la Av. Villa María por el método del PCI.	125
Tabla 47. Análisis cuadra 20 de la Av. Villa María por el método del PCI.	126
Tabla 48. Resumen del procesamiento en Pix4Dmapper para la Av. Villa María.	127
Tabla 49. Chequeo de calidad.	128
Tabla 50. Detalles de calibración.	128
Tabla 51. Incertidumbres absolutas de posición y orientación de la cámara.	130
Tabla 52. Detalles del ajuste del bloque de paquetes.	131
Tabla 53. Parámetros internos de la cámara.	131
Tabla 54. Tabla de keypoints 2D.	133
Tabla 55. Puntos 3D desde concordancias de 2d keypoints.	134
Tabla 56. Posición relativa de la cámara e incertidumbres de orientación.	135
Tabla 57. Detalles de geolocalización. varianza absoluta de ubicación geográfica.	135
Tabla 58. Varianza de geolocalización relativa. Las imágenes X, Y, Z representan el porcentaje de imágenes con un error de geolocalización relativo en X, Y, Z.	135
Tabla 59. Error RMS de geolocalización de los ángulos de orientación dado por la diferencia entre los ángulos de orientación de la imagen inicial y calculada.	136
Tabla 60. Detalles de procesamiento inicial. Información del sistema.	136
Tabla 61. Sistema de coordenadas.	136

Tabla 62. Opciones de procesamiento	136
Tabla 63. Detalles de la densificación de nubes de puntos. Opciones de procesamiento.	137
Tabla 64. Resultados.....	137
Tabla 65. Detalles del DMS, ortomosaico e índice.	138
Tabla 66.. Resumen del procesamiento en Pix4Dmapper para la Av. Santa Rosa.....	140
Tabla 67. Tabla de costos de tipos de mantenimiento de pavimento rígido.	156
Tabla 68. Resumen del costo para realizar el proyecto de mantenimiento preventivo en las zonas determinadas como aptas para el mismo.	156
Tabla 69. Resumen de fallas encontradas en la Av. Villa María y la Av. El Triunfo. .	157
Tabla 70. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: PIEL DE COCODRILO.....	159
Tabla 71. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: FISURA LONGITUDINAL.....	160
Tabla 72. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: REPARACIONES O BACHEO.	161
Tabla 73. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: GRIETA DE ESQUINA.	162
Tabla 74. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: LOSA DIVIDIDA.	163
Tabla 75. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: GRIETAS LINEALES.....	164
Tabla 76. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: PARCHEO.	165
Tabla 77. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: PULIMIENTO DE AGREGADOS.	166
Tabla 78. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: DESCONCHAMIENTO.....	167
Tabla 79. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: DESCARAMIENTO DE ESQUINA.....	168
Tabla 80. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: DESCARAMIENTO DE JUNTA.....	169
Tabla 81. Mantenimientos preventivos recomendados para fallas en pavimento flexible en la Av. Sta. Rosa.	172

Tabla 82. Mantenimientos preventivos recomendados para fallas en pavimento rígido en la Av. Villa María.....	172
Tabla 83. Cuadras de la avenida Villa María (pavimento rígido) en las que se podrán llevar a cabo proyectos de mantenimiento preventivo en pavimento rígido.	173
Tabla 84. Evaluación por método VIZIR de la avenida Santa Rosa evidenciando una necesidad de un proyecto de reconstrucción antes que uno preventivo.....	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conformación típica del pavimento como elemento estructural.....	10
Figura 2 Principio de distribución de presiones en pavimentos.	11
Figura 3. Flujo grama para determinar el Índice deterioro Superficial (Is).....	18
Figura 4. Daños en pavimentos flexibles.....	28
Figura 5. Gravedad 1: Malla Grande (>0.5 mm) sin material suelto.....	30
Figura 6. Gravedad 2: Malla mediana (entre 0.30 mm y 0.5 mm) sin o con material suelto	30
Figura 7. Gravedad 3: Malla pequeña (<0.3 m) sin o con material suelto.....	30
Figura 8. Gravedad 1: Fisuras finas en las huellas del tránsito.....	31
Figura 9. Gravedad 2: Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material	32
Figura 10. Gravedad 3: Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material.....	32
Figura 11. Gravedad 1: Profundidad sensible al usuario (>0.5 cm) pero <2 cm.....	33
Figura 12. Profundidad entre 2 cm. y 4 cm.	34
Figura 13. Profundidad \geq 4 cm.	34
Figura 14. Gravedad 2: Profundidad entre 2 cm. y 4 cm.....	34
Figura 15. Gravedad 3: Profundidad \geq 4 cm.	34
Figura 16. Gravedad 1: Profundidad sensible al usuario (>0.5 cm) pero < 1 cm. Se observa una marcación del trazado de las ruedas.	36
Figura 17. Gravedad 2: Profundidad \geq 1 cm. Se observa un levantamiento de materiales formando cordones a lo largo del trazado de las ruedas.....	36
Figura 18. Gravedad 1: Reparación o bacheo para daños superficiales.	37
Figura 19. Gravedad 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado.....	37
Figura 20. Gravedad 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.....	37
Figura 21. Gravedad 1: Puntual sin aparición de la base granular (tratamiento superficial)	38
Figura 22. Gravedad 1: Puntual sin aparición de la base granular (concreto asfáltico)..	39
Figura 23. Gravedad 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular.....	39
Figura 24. Gravedad 1: Diámetro < 0.2 m.....	40
Figura 25. Gravedad 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m	40

Figura 26. Gravedad 3: Diámetro > 0.5 m.....	40
Figura 27. Gravedad 1: Finas.....	41
Figura 28. Gravedad 2: Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material	42
Figura 29. Gravedad 3: Continúa con superficie viscosa	43
Figura 30. Daños en pavimentos rígidos	46
Figura 31. Gravedad 1: Sensible al usuario sin reducción de la velocidad	47
Figura 32. Gravedad 2: Resulta en una reducción significativa de la velocidad	47
Figura 33. Gravedad 3: Resulta en una reducción drástica de la velocidad	48
Figura 34. Gravedad 1: Finas.....	49
Figura 35. Gravedad 2: Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material	49
Figura 36. Gravedad 3: Abiertas y ramificadas con pérdida de material.	49
Figura 37. Gravedad 1: Finas.....	50
Figura 38. Gravedad 2: Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material.	50
Figura 39. Gravedad 3: Abiertas y ramificadas con pérdida de material	51
Figura 40. Gravedad 2: Dos esquinas quebradas.....	52
Figura 41. Gravedad 1: Finas.....	53
Figura 42. Gravedad 2: Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material..	53
Figura 43. Gravedad 3: Abiertas y ramificadas con pérdida de material.	53
Figura 44. Gravedad 1: Puntuales (menos que el 10% de la superficie)	54
Figura 45. Gravedad 2: Puntuales (entre el 10% y 30% de la superficie de la losa afectada)	54
Figura 46. Gravedad 3: Continúas (más que el 30% de la superficie de la losa afectada)..	54
Figura 47. Gravedad 1: Fracturamiento o desintegración de bordes en menos que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta	55
Figura 48. Gravedad 2: Fracturamiento o desintegración de bordes en más que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta.	56
Figura 49. Gravedad 3: Fracturamiento o desintegración hasta una distancia superior a 5 cm de la junta.....	56
Figura 50. Gravedad 1: Perdida de material en menos que el 10% de la superficie de losa.	57
Figura 51. Gravedad 1: Desprendimiento en menos que el 10% de la superficie de losa afectada.	59

Figura 52. Gravedad 2: Desprendimiento entre el 10% y 50% de la superficie de losa afectada.....	59
Figura 53. Zonas o sectores del distrito de Villa María del Triunfo.....	76
Figura 54. Mapa temático de las estaciones para toma de datos en la Av. Villa María y la Av. Santa Rosa..	79
Figura 55. Distribución de vehículos para IMD en estación A de la Av. Villa María ...	81
Figura 56. Distribución de vehículos para IMD en estación B de la Av. Villa María....	83
Figura 57. Distribución de vehículos para IMD en estación C de la Av. Villa María....	85
Figura 58. Distribución de vehículos para IMD en estación A de la Av. Santa Rosa. ...	88
Figura 59. Distribución de vehículos para IMD en estación B de la Av. Santa Rosa. ...	90
Figura 60. Mapa temático de puntos de toma de datos para hallar el estado de la Av. Sta. Rosa por el método VIZIR.....	92
Figura 61. Cuadra 1 de la Av. Villa María. Desprendimiento severo, fisuras y huecos.....	103
Figura 62. Cuadra 6 de la Av. Villa María. Desprendimiento del bacheo.....	103
Figura 63. Cuadra 4 de la Av. Villa María. Fisuras longitudinales, oblicuas y transversales	104
Figura 64. Cuadra 5 de la Av. Villa María. Fisura de esquina	104
Figura 65. Cuadra 5 de la Av. Villa María. Fisura transversal.....	105
Figura 66. Cuadra 2 de la Av. Villa María. Hueco y daño severo en el pavimento	105
Figura 67. Mapa temático de puntos de toma de datos para hallar el PCI de la Av. Villa María..	106
Figura 68. Vista previa – Ortomosaico y el correspondiente modelo de superficie digital dispersa (DSM) antes de la densificación	128
Figura 69. Posiciones iniciales de las fotos – Vista en planta.	129
Figura 70. Imágenes calculadas/GCPs/Posiciones manuales de los puntos de amarre. 130	
Figura 71. Superposición.	131
Figura 72. La correlación entre los parámetros internos de la cámara determinada por el ajuste del paquete	132
Figura 73. La barra de escala indica la magnitud del error de 1 píxel.....	133
Figura 74. Concordancias de puntos clave 2D	134
Figura 75. Inicio de la Av. Villa María luego del segundo proceso en Pix4Dmapper..	137
Figura 76. Ortomosaico de la Av. Villa María	139
Figura 77. Modelo digital de superficie (DSM) de la AV. Villa María.	139

Figura 78. Modelo digital de terreno (MDT) de la Av. Villa María.....	140
Figura 79. Ortomosaico de la Av. Santa Rosa.	141
Figura 80. Modelo digital de superficie (DSM) de la AV. Santa Rosa.	142
Figura 81. Modelo digital de terreno (MDT) de la Av. Santa Rosa.	143
Figura 82. Falla en la cuadra 1 de la Av. Santa Rosa..	144
Figura 83. Vista de planta de una falla en ArcgisPro.	144
Figura 84. Análisis de una falla modificando la desviación estándar.....	145
Figura 85. Acotamiento del perfil de la zona de falla.....	145
Figura 86. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla	146
Figura 87. Falla en la cuadra 4 de la Av. Santa Rosa	147
Figura 88. Vista de planta de una falla en ArcgisPro	147
Figura 89. Análisis de una falla modificando la desviación estándar.....	148
Figura 90. Acotamiento del perfil de la zona de falla.....	148
Figura 91. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla.	149
Figura 92. Falla en la cuadra 1 de la Av. Villa María.....	150
Figura 93. Vista de planta de una falla en ArcgisPro	150
Figura 94. Análisis de una falla modificando la desviación estándar.....	151
Figura 95. Acotamiento del perfil de la zona de falla.....	151
Figura 96. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla..	152
Figura 97.. Falla en la cuadra 4 de la Av. Villa María.....	153
Figura 98. Vista de planta de una falla en ArcgisPro	153
Figura 99. Análisis de una falla modificando la desviación estándar.....	154
Figura 100. Acotamiento del perfil de la zona de falla.....	154
Figura 101. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla.	155

RESUMEN

El presente trabajo de investigación que tiene como título, “MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE PARA EVITAR UN DESGASTE PREMATURO EN VÍAS URBANAS” tuvo como zona de estudio el cercado del distrito de Villa María del Triunfo, provincia y departamento de Lima, eligiendo dos vías representativas, una colectora que fue la Av. Villa María siendo ésta de pavimento rígido y una local que fue la Av. Santa Rosa siendo ésta de pavimento flexible.

Se utilizó un método deductivo teniendo un enfoque cualitativo identificando vehículos y sus características, así como los tipos de mantenimiento en las vías intervenidas. El diseño de la investigación fue observacional además de transversal y retrospectivo. Se identificó inicialmente la cantidad de vehículos que circularon por cada avenida y se halló el Índice Medio Diario Anual con lo cual se tuvo una referencia del tipo y cantidad de carga que soportaba cada vía, luego se ubicaron las fallas con dos métodos: el visual en campo y el de ortofotos con un dron fotogramétrico, se compararon ambos mostrando su fiabilidad

Finalmente se sistematiza la información usando el programa ArcGIS Pro ® y se proponen los métodos de mantenimiento preventivos para cada tipo de pavimento después de haberse analizado cual es el más apropiado económicamente.

Palabras clave: IMD, geomática, análisis fotogramétrico, fallas en pavimento, sistematización, mantenimiento de pavimento.

ABSTRACT

The present research work entitled, "MAINTENANCE OF RIGID AND FLEXIBLE PAVING TO AVOID PREMATURE WEAR ON URBAN ROADS" had as a study area the fencing of the district of Villa María del Triunfo, province and department of Lima, choosing two roads representative, a collector that was Av. Villa María being this rigid pavement and a local that was Av. Santa Rosa being this one with flexible pavement.

A deductive method was used having a mixed approach identifying vehicles and their characteristics, as well as the types of maintenance on the intervened roads. The research design was observational as well as cross-sectional and retrospective. The number of vehicles that circulated on each avenue was initially identified and the Annual Average Daily Index was found, with which a reference was made of the type and amount of load that each road supported, then the faults were located with two methods: visual in field and orthophotos with a photogrammetric drone, both were compared showing their reliability

Finally, the information is systematized using the ArcGIS Pro ® program and preventive maintenance methods are proposed for each type of pavement after having analyzed which is the most economically appropriate.

Keywords: imd, geomatics, photogrammetric analysis, pavement faults, systematization, pavement maintenance.

INTRODUCCIÓN

El uso del pavimento está generalizado, tanto en el Perú como en el mundo y por este mismo uso masivo se produce un desgaste natural que se ve influenciado por muchos factores: clima, tipo, cantidad y frecuencia de vehículos, posibles errores durante el proceso constructivo, etc. Para controlar y/o corregir este desgaste existen los procesos de mantenimiento preventivo-rutinario, correctivo y de rehabilitación. Este proyecto de investigación está enfocado en los procesos de mantenimiento preventivo para vías urbanas que después de haber sido evaluadas pueden someterse a estos procedimientos para alargar su vida útil.

La gestión municipal del distrito de Villa María del Triunfo, así como la de muchos distritos de Lima Metropolitana, carece de proyectos de mantenimiento vial, por lo que esta investigación busca proponer métodos viables para preservar las vías urbanas basado en una evaluación previa en campo y con herramientas SIG, posteriormente se procesa la información recopilada con el software ArcGis Pro ® y PIX4D Mapper ® donde se logra identificar el tipo de fallas en el pavimento. Finalmente se analizan los métodos de identificación de fallas, sus ventajas y desventajas y se elige el más adecuado para la zona del proyecto.

La presente investigación consta de cinco capítulos: El capítulo I está dedicado al planteamiento del problema donde se describe la realidad problemática, se formulan el problema general y específicos, se plantean el objetivo general y los específicos, se delimita la investigación, se expone la justificación, importancia, limitaciones, alcance y viabilidad del estudio. El capítulo II corresponde al marco teórico donde se exponen antecedentes históricos, así como la base teórica en la que se basa la presente investigación. El capítulo III es del sistema de hipótesis, tanto la general como específicas y el sistema de variables. El capítulo IV es de la metodología de la investigación, tipo, nivel y diseño de la misma, este capítulo indica la población y muestra, técnicas de recolección de datos y descripción del procesamiento de análisis. El capítulo V desarrolla la investigación mostrando los datos tomados en campo, su procesamiento tanto manualmente como en software para luego analizar y mostrar resultados contrastándolos con las hipótesis. Finalmente se discuten los tópicos encontrados con investigaciones similares y se exponen las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto de tesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Descripción de la realidad problemática

La construcción de vías con pavimento flexible es una práctica que se ha dado tradicionalmente a lo largo de los años en los diferentes distritos de Lima Metropolitana debido a la practicidad y algunos beneficios en su proceso constructivo, principalmente el costo. El uso normal de estas vías deriva en un desgaste natural que se puede cuantificar con diferentes métodos como por ejemplo la metodología VIZIR, el cual puede ser aminorado con un mantenimiento periódico y adecuado del mismo. Hay diferentes tipos de mantenimiento de pavimento flexible, pero para hablar con mayor propiedad, podemos decir, que existen diferentes “técnicas” que ayudan a preservar, corregir y mantener un pavimento flexible en buenas condiciones. Para realizar un buen diagnóstico (por ende, una correcta aplicación de técnica de mantenimiento), debe realizarse una buena evaluación del pavimento flexible, de ser posible desde su etapa de construcción.

A nivel nacional el estado de los pavimentos tanto flexibles como rígidos presentan diferentes problemas en su infraestructura vial que evitan que conserve su nivel de servicio durante su uso en su infraestructura vial, es decir presentan diferentes tipos de fallas y/o deterioros en su estructura. (Paucar 2019)

Hoy en día existen un sin número de medios de transporte los cuales son: transporte terrestre, aéreo y marino; de estos el transporte marino no utiliza los pavimentos para su desplazamiento. Debido a la importancia y al uso diario, que tienen los sistemas de transporte terrestre y aéreo se hace necesario tener un sistema que permita cuantificar los daños, que se producen a través del tiempo o por el incremento de las cargas aplicadas a estos pavimentos. Pero el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave. (Zevallos 2018)

El distrito de Villa María del Triunfo donde se encuentra la zona de estudio se caracteriza por poseer un clima húmedo en su mayor parte del año, con presencia de precipitaciones que discurren a lo largo de las carreteras de primera clase del distrito, siendo este uno de los principales factores que inciden sobre el pavimento, ya sea rígido o flexible. Se debe señalar que el tipo de suelo del distrito es en su mayor presenta importante presencia de finos (limos y arcillas) los cuales son transportados

por las precipitaciones, erosionando el pavimento de las avenidas por donde discurren.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la sistematización de la información del desgaste prematuro en vías urbanas de pavimento flexible y rígido ayuda en la elección de un mantenimiento adecuado en el distrito de Villa María del Triunfo?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué tipos de daños se pueden encontrar en vías de pavimento flexible y rígido?
- b) ¿Qué procedimiento de medición es el más apropiado para identificar las fallas en el pavimento?
- c) ¿Cuáles son los tipos de mantenimiento preventivo que se realizan en la actualidad para los pavimentos evaluados?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Sistematizar la información según el deterioro cuantificado en vías urbanas debido al tránsito vehicular, tipos de vehículos, clima y otros agentes que favorecen el desgaste prematuro del pavimento rígido y flexible, utilizando el programa ArcGIS Pro ®.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Identificar los tipos de fallas en el pavimento según la norma técnica peruana vigente para pavimento rígido y flexible.
- b) Determinar el método de medición adecuado para identificar fallas en pavimento rígido y flexible.
- c) Determinar los tipos de mantenimiento preventivo en los pavimentos evaluados para mantener su usabilidad.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

El estudio se llevará a cabo en el distrito de Villa María del Triunfo en la temporada de invierno/primavera.

1.4.2. Temporal

El proyecto de investigación se llevará a cabo entre los meses de mayo de 2021 y noviembre de 2021.

1.4.3. Temática

Campo: Métodos de mantenimiento de pavimento rígido y flexible.

Área académica: Ingeniería civil

Línea de investigación: Geomática

Sub línea de investigación: Herramientas geomáticas.

1.4.4. Muestral

Se tomarán fotografías en la zona de estudio que servirán de punto de comparación con material ya documentado digitalmente, tomando ambas bases de datos se ingresarán al software para su evaluación.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

El uso de métodos y técnicas de mantenimiento propuestas en esta investigación ayudaran a preservar el pavimento rígido y flexible, alargando su vida útil, sirviendo de referencia para futuros proyectos ya sea en el distrito de Villa María del Triunfo o en otro con similares características.

1.5.2. Relevancia social

Este estudio permitirá alargar la vida útil del pavimento beneficiando a los pobladores del distrito de Villa María del Triunfo especialmente a los del sector Cercado, así como a cualquier empresa ya sea privada o pública encargada de algún proyecto similar en la zona.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

El desgaste del pavimento en las avenidas involucradas en la zona de estudio es visible al poco tiempo de haber sido construidas, se espera que, al proponer métodos óptimos de mantenimiento, el mejoramiento de las vías sea notorio a corto y mediano plazo.

1.5.4. Utilidad metodológica

Haciendo un trabajo de campo con un rango de años variable entre avenida y avenida desde su construcción, se podrá tomar como referencia este estudio para futuros proyectos que requieran esta información sistematizada. Tomando datos catastrales, geometría de las avenidas alternas en caso de

desvío vehicular para la posterior creación de mapas temáticos en el software de sistema de información geográfica a utilizar.

1.5.5. Valor teórico

Teniendo en Lima, distritos con similares características a los de Villa María del Triunfo, este estudio permitirá tomar como referencia estos datos a recolectarse para futuros proyectos en otros distritos de la capital.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

Se propone utilizar los métodos más óptimos para darle mantenimiento a una vía de pavimento flexible. Es sabido que existen diferentes tipos de mantenimientos, pero también se debe tener en cuenta las variables que afectan a la zona del proyecto, es decir, el clima, cantidad de habitantes, tipos de vehículos que transitan por la vía y otros similares. Teniendo en cuenta todos estos factores se podrá hallar un tipo de mantenimiento apropiado para la zona en estudio además de servir, la evaluación previa, como guía para otros proyectos similares.

1.6.2. Aporte

Mediante un estudio de la zona se realizarán mapas temáticos que servirán como modelo para el sistema de desvío vehicular más óptimo que podría ser utilizado en caso de realizarse alguna obra futura en la zona de estudio. Además de procedimientos para el uso de nuevas herramientas como por ejemplo planes de desvío vehicular mientras duren los trabajos de mantenimiento.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

El distrito de Villa María del Triunfo al ser uno relativamente nuevo comparado con los distritos tradicionales de la capital, carece de estudios similares al tema de investigación de esta tesis.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

Debido a la pandemia en la que nos encontramos, la investigación de forma presencial en bibliotecas especializadas se ha visto anulada en su gran mayoría. Aun así, se usará material bibliográfico que se pueda encontrar de

manera virtual, así como algún material físico que se pueda conseguir durante el proceso de investigación.

1.7.3. Medidas para la recolección de datos

La recolección de datos será en la municipalidad distrital de Villa María del Triunfo, en el Instituto Nacional de Estadística e Informática, en el ministerio de Transportes y Comunicaciones y de manera particular con trabajo de campo in situ.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

Se pueden presentar algunos obstáculos a la hora de realizar el trabajo de campo sobre todo por factores climáticos, cierre de avenidas cercanas por proyectos actuales en ejecución, además de casos fortuitos de falta de acceso físico o virtual a las plataformas de las instituciones relacionadas con la investigación.

1.8. Alcance

El estudio realizado se enfocará en analizar el aspecto geotécnico, tipología del pavimento y el análisis del tránsito vehicular de la zona, siendo aplicable en otras vías con las mismas características ya sea dentro del mismo distrito o en otro.

1.9. Viabilidad del estudio

De manera virtual se puede acceder a material bibliográfico pertinente para nuestra investigación, además de poder hacer trabajo de campo debido a la cercanía de la zona de estudio.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

Las autopistas y carreteras de los distritos de Lima Metropolitana han venido siendo construidas de pavimento flexible a lo largo de todo el siglo XX, esta tecnología ingreso al Perú a principios de ese siglo, teniendo múltiples ventajas frente a las trochas y caminos afirmados que existían hasta ese entonces. Poco a poco debido a la masificación de este tipo de vías, se empezaron a notar las principales fallas que se daban en las mismas, derivándose así los primeros métodos y/o técnicas de mantenimiento de pavimento rígido y flexible.

El diseño de pavimentos ha sido gradualmente desarrollado en base a conocimientos empíricos - científicos, sin embargo, hasta el día de hoy juegan un rol importante. En 1920 el espesor de un pavimento era calculado puramente con la experiencia constructiva, de tal manera que, con la mayor experiencia ganada con los años, diferentes personajes desarrollaron métodos de diseño para calcular el espesor del pavimento. (Sarmiento & Arias 2015)

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Cogollos y Martínez (2020) en su tesis “Implementación de SIG en Tramo Vial de Bogotá Para Recomendación de Intervención” concluyen que, al emplear una herramienta de procesamientos geoespaciales, o sistema de información geográfica, se puede identificar, interpretar y visualizar los daños categorizados en las vías incluyendo su respectiva geolocalización, pudiéndose determinar la frecuencia de daños ubicados en una avenida seleccionada.

Silva, Daza & López (2018), publicaron un artículo basado en un trabajo de investigación titulado “Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica para la red vial de Boyacá” desarrollado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en el año 2017. Aquí se plantea una alternativa de mejoramiento para el mantenimiento de redes viales de pavimentos flexibles. Asimismo, afirman que el uso de sistemas de información geográfica es aceptado por la facilidad que brindan al momento de administrar los datos, optimizando la gestión de los pavimentos.

Castro (2021) en su tesis “Detección de fallas tipo en pavimentos asfálticos mediante teledetección remota basada en RPAS y SIG” utiliza drones incorporados con sensores con tecnología GPS además de cámaras fotográficas y de video para evaluar la condición del pavimento en el departamento de Cochabamba, estado plurinacional de Bolivia, logrando identificar 4 tipos de falla validando así el uso de estos equipos para la evaluación del estado de pavimento asfáltico.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Cule y Solier (2019) en su tesis “La carga vehicular que soporta la estructura del pavimento urbano de la urb. Prolongación Benavides y su relación con los parámetros de la norma CE 0.10” concluyen que se debe definir de manera más precisa la clasificación de las vías arteriales, colectoras y locales, ya que dentro de las vías se pueden sub dividir de varias maneras dependiendo de las características (ubicación, número de carriles, acceso a buses... etc.)

Lapa y Mendoza (2020) en su tesis “Sistematización de la información para mejorar la condición y conservación de la red vial vecinal” utiliza herramientas geomáticas para sistematizar la información y así proponer tipos de mantenimiento según el estado del pavimento en el distrito de Ate, departamento de Lima. Al finalizar su investigación logran su objetivo usando principalmente imágenes georreferenciadas procesadas por software luego de haber sido tomadas en campo.

2.2.3. Artículos relacionados con el tema

Existen diversos conceptos básicos que deben tenerse en cuenta al analizar el comportamiento de un pavimento. En este sentido es importante tener presente que su estructura sufrirá –con el tiempo– daño y deterioro aun cuando sea adecuadamente diseñado y construido de acuerdo con todas las especificaciones y normas de calidad. Mientras las demás obras de ingeniería tienen una vida indefinida, los pavimentos viales tienen una vida definida; aún con un mantenimiento óptimo alcanzarán un punto de falla. Los pavimentos son probablemente la única estructura de ingeniería que se diseña para que falle dentro de un periodo específico de tiempo. (Jugo 2005)

Desde los antepasados los seres humanos han tenido la necesidad de comunicarse, motivo por el cual se han venido abriendo brechas, carreteras hasta las grandes autopistas por medio de diversas técnicas o métodos para

mejorar la construcción de las vías a través del tiempo, desde las construcciones a base de piedra como también de aglomerantes, hasta diseños más perfeccionados de acuerdo a las diferentes experiencias, en lo que se refiere a los tipos se ha modificado estructuralmente, donde se encuentran autopistas. Los pavimentos flexibles y rígidos que proporcionan caminos seguros y consistentes para el desarrollo de un país. (Quintero & Ortiz & Sánchez 2015)

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. IMDA

Según el MTC (2016) la demanda del tráfico es un aspecto esencial que el Ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino. El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Según Colier & Solier (2019) para el cálculo del IMDA se necesita lo siguiente:

- Resumir los conteos de tránsito a nivel del día y tipo de vehículo
- Determinar los factores de corrección promedio de una estación de peaje cercano al camino.
- Aplicar la siguiente fórmula, para un conteo de 7 días

$$\text{IMDA} = \text{IMDS} * \text{FC}$$

$$\text{IMDS} = \Sigma \frac{V_i}{7}$$

IMDS = Índice Medio Diario Semanal de la muestra vehicular tomada.

IMDA = Índice Medio anual.

V_i = Volumen vehicular diario de cada uno de los días de conteo.

FC = Factores de corrección estacional otorgados por el MTC.

2.3.2. Clasificación de las vías según su función.

Según Yachiyo Engineering Co. Ltd. (2005) indica que el Instituto Metropolitano de Planificación ha clasificado las vías de acuerdo a sus funciones como se muestra a continuación.

- 1) Vías Locales. Las vías locales sirven a los distritos y su función principal es permitir el acceso a las propiedades urbanas. La mayoría de las vías locales tienen dos carriles para ambas direcciones y generalmente son llamadas calles o jirones.
- 2) Vías Colectoras. Las vías colectoras están conectadas con las vías locales por intersecciones a nivel para las entradas y las salidas a nivel generalmente no semaforizadas y su función es conectar el tránsito de estas vías con las vías arteriales. Generalmente se llaman avenidas y tienen un total de 4 carriles para ambas direcciones.
- 3) Vías Arteriales Las vías arteriales tienen la función de servir al tránsito originado en las vías colectoras y son llamadas Avenidas o Corredores Viales. Las intersecciones de las vías arteriales con las vías expresas o entre dos vías arteriales son a desnivel. Sin embargo, actualmente la mayoría de las intersecciones existentes son a nivel, y aunque existen semáforos, no funcionan adecuadamente, recayendo en los policías de tránsito el ordenamiento del tránsito.
- 4) Vías Expresas Las vías expresas son para el tránsito de paso, altos volúmenes y considerable velocidad en las que las entradas y salidas son controladas por intercambios, que se conectan con otras vías expresas o vías arteriales por intersecciones a desnivel. De acuerdo a las características de uso, existen 3 tipos de vías expresas como se explica a continuación.
 - Nacional/Regional : Vías Expresas de función nacional o regional que sirven además al tránsito de camiones de carga pesada entre las ciudades.
 - Sub-Regional: Vías que, circunvalan el área metropolitana para poder mejorar el acceso a las cuencas, interconectando las áreas aledañas y también permitiendo mejorar su desarrollo.
 - Metropolitana: Vías Expresas que conectan áreas importantes dentro de la ciudad.

2.3.3. Pavimentos

Un pavimento es un “elemento estructural multicapa, apoyado en toda su superficie, diseñado y construido para soportar cargas estáticas y/o móviles durante un periodo de tiempo predeterminado, durante el que necesariamente deberá recibir algún tipo de tratamiento tendiente a prolongar su vida de servicio” (Vivar 1995)

Un pavimento puede definirse como el conjunto de capas, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistentes a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito. (Rico & Del Castillo 2005)

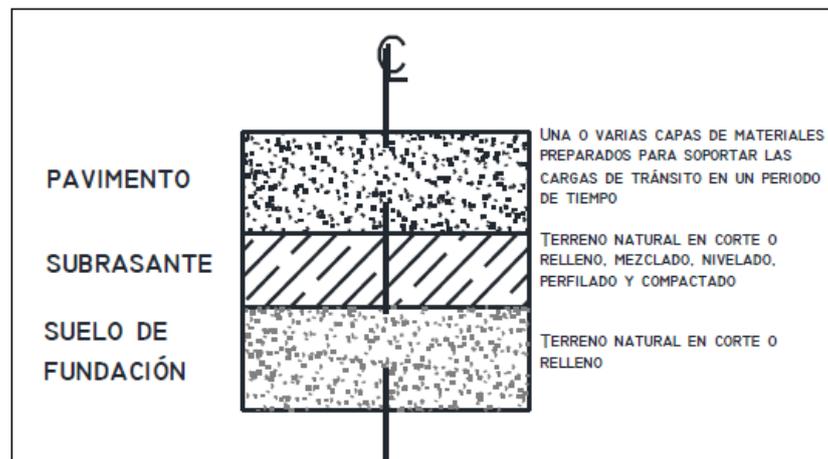


Figura 1. Conformación típica del pavimento como elemento estructural.
Fuente (Vivar 1995)

2.3.4. Tipos de pavimentos

Según Vivar (1995), los pavimentos pueden clasificarse, de manera genérica, de acuerdo a los siguientes parámetros:

1. La calidad de los materiales empleados en su construcción: afirmados, estabilizados, aglomerados o mezclas asfálticas y de cemento Portland.
2. El tipo de sollicitación que soportarán a lo largo de su vida de servicio o el uso al que estarán destinados: urbanos, industriales, de carreteras, de aeropuertos, o deportivos.
3. El periodo de vida para el que son diseñados y construidos: temporales y definitivos.

4. La forma en que distribuyen las cargas al terreno: Rígidos, flexibles y semirrígidos.

Pese a que las denominaciones de rígido y flexible parecieran guardar relación con las calidades de los aglomerantes de cemento Portland y asfalto utilizados en la fabricación de ambos pavimentos respectivamente, es posible encontrar pavimentos asfálticos de gran espesor, el cual les confiere una rigidez mucho mayor a la normal; así como también es posible apreciar en los pavimentos de concreto reforzado y en ciertas losas de concreto de cemento Portland, grietas, lo cual indica un comportamiento flexible que difiere grandemente del comportamiento rígido para el que supuestamente fueron diseñadas y construidas. Vivar (1995).

Por ello, según Menéndez (2012): “los pavimentos se denominan flexibles o rígidos por la forma en que transmiten los esfuerzos y deformaciones a las capas inferiores que dependen de la relación de rigideces relativas de las capas. Un pavimento flexible transmite esfuerzos concentrados en una pequeña área, mientras que un pavimento rígido distribuye los esfuerzos en una mayor área”. En la figura 2 se ilustra el principio de distribución de presiones en los pavimentos flexibles y rígidos. Se conoce que en términos de módulo de elasticidad la relación entre un pavimento flexible y el suelo de subrasante que lo soporta es del orden de 4 a 1, mientras que esa misma relación sube a aproximadamente 265 a 1 en el caso de los pavimentos rígidos.

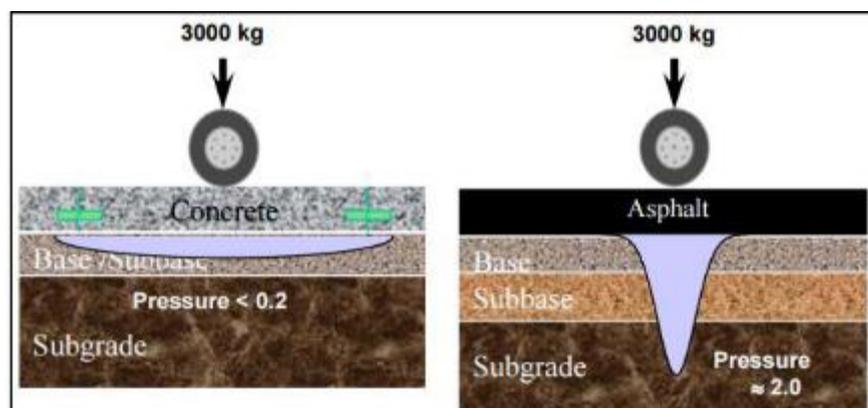


Figura 2 Principio de distribución de presiones en pavimentos.
Fuente: Cement Association of Canada (2016)

2.3.5. Métodos de evaluación de la condición del pavimento

2.3.5.1. Metodología VIZIR

El método clasifica los deterioros de los pavimentos asfálticos en dos grandes categorías, A y B, Los deterioros del tipo A caracterizan una condición estructural del pavimento, sea que ella esté ligada a las condiciones de las diversas capas del pavimento y el suelo de subrasante o, simplemente, a las capas asfálticas. Se trata de degradaciones debidas a insuficiencia en la capacidad estructural de la calzada, cuyo remedio suele requerir el conocimiento de otros criterios de valoración (ensayos de resistencia o de respuesta, deflexiones, etc.). Estos deterioros comprenden las deformaciones y los fusilamientos ligados a la fatiga del pavimento. (Patarroyo 2019)

Los deterioros del tipo B, en su mayoría de tipo funcional, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada. Su origen se encuentra, más bien, en deficiencias constructivas y en condiciones locales particulares que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Entre los deterioros del tipo B se pueden citar los fusilamientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los desprendimientos y los afloramientos. (Patarroyo 2019)

Los deterioros se representan en el esquema de itinerario por medio de rectángulos cuyo fondo (blanco, gris o negro) indica el nivel de gravedad (1, 2 o 3), en tanto que los lados de ellos determinan el comienzo y el fin de cada una de las secciones en las cuales se divide el proyecto para este tipo de evaluación. Para los estudios destinados al diseño de obras de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, cada sección deberá tener una longitud de 100 metros, salvo instrucción diferente del INVÍAS. En el caso de carreteras de doble calzada, se deberán efectuar inventarios independientes para cada calzada. En el interior del rectángulo, se coloca un número, el cual expresa la extensión que ocupa el deterioro dentro de la 32 sección evaluada. La extensión corresponde al porcentaje de la longitud de la zona inventariada que se encuentra afectada por el deterioro respectivo. (Patarroyo 2019)

El sistema no considera, para efectos de diagnóstico, algunos deterioros del pavimento, a veces espectaculares, que no están ligados directamente al comportamiento del mismo y de la subrasante. Estos defectos, frecuentes en algunas carreteras nacionales y de efecto relevante en su comportamiento, deben ser analizados y resueltos con un enfoque geotécnico mucho más amplio, el cual supera el alcance de este método. (Patarroyo 2019)

2.3.5.2. Identificación de los deterioros con el método VIZIR

El uso de este método es muy importante para identificar las fallas presentes en un pavimento, para analizar su severidad y posibles formas de corregirlas, razón por la cual se han creado los sistemas auscultación, que permiten a través de un muestreo, reconocer las fallas existentes y con ello caracterizar el tramo estudiado.

Dentro de los métodos de auscultación, los más usados son los métodos visuales, que consisten en una visita a terreno por parte de personal capacitado que desarrolla una metodología específica para hacer el estudio.

Tipos de fallas: Existen muchos tipos de deterioros en los pavimentos básicos y diferentes niveles de gravedad para cada tipo. Estos deterioros se deben identificar considerando tres factores: tipo, gravedad y extensión.

a) Tipo. Los deterioros se agrupan esencialmente en categorías, de acuerdo con los mecanismos que los originan. Como un primer paso, se pueden clasificar de acuerdo con su causa primaria posible, sea ésta la acción del tránsito, sea la acción climática, sean los materiales o el proceso de construcción. El método VIZIR clasifica el deterioro del pavimento en dos grandes grupos: Degradaciones Tipo A y B

Degradación tipo A

Son las fallas que caracterizan una deficiencia estructural del pavimento, ligadas a las condiciones de las diversas capas y el suelo de subrasante, o simplemente a las capas asfálticas, entre ellas se encuentran deformaciones y fisuración por fatiga.

Tabla 1. Degradación del tipo A.

NOMBRE DEL DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Ahuellamiento.	AH	m
Depresiones o hundimientos longitudinales.	DL	m
Depresiones o hundimientos transversales.	DT	m
Fisuras longitudinales por fatiga	FLF	m
Fisuras piel de cocodrilo	FPC	m
Bacheos y zanjas reparadas	BZR	m

Fuente: Apolinario, 2012.

Degradación tipo B

Son de carácter funcional, y por tanto su reparación no está relacionada con la capacidad estructural del pavimento. El origen de este último tipo de degradaciones está vinculado a la mala calidad de algunos procedimientos constructivos y las condiciones locales de servicio, así como a la evolución misma de los materiales.

Tabla 2. Degradación del tipo B.

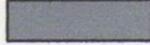
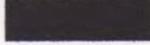
NOMBRE DEL DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Fisura longitudinal de junta de construcción	FLJ	m
Fisura transversal de junta de construcción	FTJ	m
Fisuras de contracción térmica	FCT	m
Fisuras parabólicas	FP	m
Fisura de borde	FB	m
Huecos	H	m
Desplazamiento o abultamiento o ahuellamiento de la mezcla	DM	m
Pérdida de la película de ligante	PL	m
Pérdida de agregados	PA	m
Descascaramiento	D	m
Pulimiento de agregados	PU	m
Exudación	EX	m
Afloramiento de mortero	AM	m
Afloramiento de agua	AA	m
Desintegración de los bordes de pavimento	DB	m
Escalonamiento entre calzada y berma	ECB	m
Erosión de las bermas	EB	m
Segregación	S	m

Fuente: Apolinario, 2012

b) Gravedad. Representa el nivel de severidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el deterioro, más importantes deberán ser las medidas para su corrección.

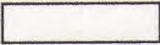
c) Extensión. Se refiere a la proporción del tramo evaluado que es afectada por un determinado tipo de deterioro. Esta proporción puede estar referida a longitud o área, dependiendo de la metodología de evaluación que se utilice y del tipo de deterioro identificado. Así mismo, la extensión de algunos deterioros se define por el número de veces en que ellos se presentan en el tramo sometido a evaluación.

Tabla 3. Niveles de gravedad de los deterioros del tipo A.

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
			
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante. Flecha < 20 mm	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos 20 mm ≤ Flecha ≤ 40 mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios Flecha > 40 mm
Grietas longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la banda de rodamiento	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas (grietas). Bordes de fisuras ocasionalmente degradados
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas grandes (> 500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales	Mallas más densas (< 500 mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (< 200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas

Fuente: Apolinario, 2012.

Tabla 4. Niveles de gravedad de los deterioros del tipo B.

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD				
	1		2		3
					
Grieta longitudinal de junta de construcción	Fina y única		<ul style="list-style-type: none"> Ancha (10 mm o más) sin desprendimiento o Fina ramificada 		Ancha con desprendimientos o ramificada
Grietas de contracción térmica	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas con desprendimientos
Grietas parabólicas	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos
Grietas d borde	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos
Abultamientos	F < 20 mm		20 mm ≤ F ≤ 40 mm		F > 40 mm
Ojos de pescado* (por cada 100 metros)	cantidad	< 5	5 a 10	< 5	> 10
	Diametro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300
Desprendimientos: <ul style="list-style-type: none"> Perdida de pel cula de ligante Perdida de agregados 	Perdidas aisladas		Perdidas continuas		Perdidas generalizadas y muy marcadas
Descascaramiento	Prof.(mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25
	Area (m ²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8
Pulimento agregados	No se definen niveles de gravedad				
Exudación	Puntual		Continua sobre la banda de rodamiento		Continua y muy marcada
Afloramientos: <ul style="list-style-type: none"> de mortero de agua 	Localizados y apenas perceptibles		Intensos		Muy intensos
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración		La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico
Escalonamiento entre calzada y berma	Desnivel de 10 a 50 mm		Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100 mm
Erosión de las bermas	Erosión incipiente		Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios

Fuente: Apolinario, 2012.

2.3.5.3. Flujo grama para el cálculo del Índice de Deterioro Superficial

En la Figura 3 se presenta un diagrama de flujo para el cálculo del índice de deterioro superficial (Is.):

Para el cálculo del Is se combina los índices de fisura (If) e índice de deformación (Id), los que entregan un primer índice de calificación del pavimento, el cuál debe ser corregido en función a la extensión y calidad de los trabajos de bacheo realizados en el pavimento evaluado.

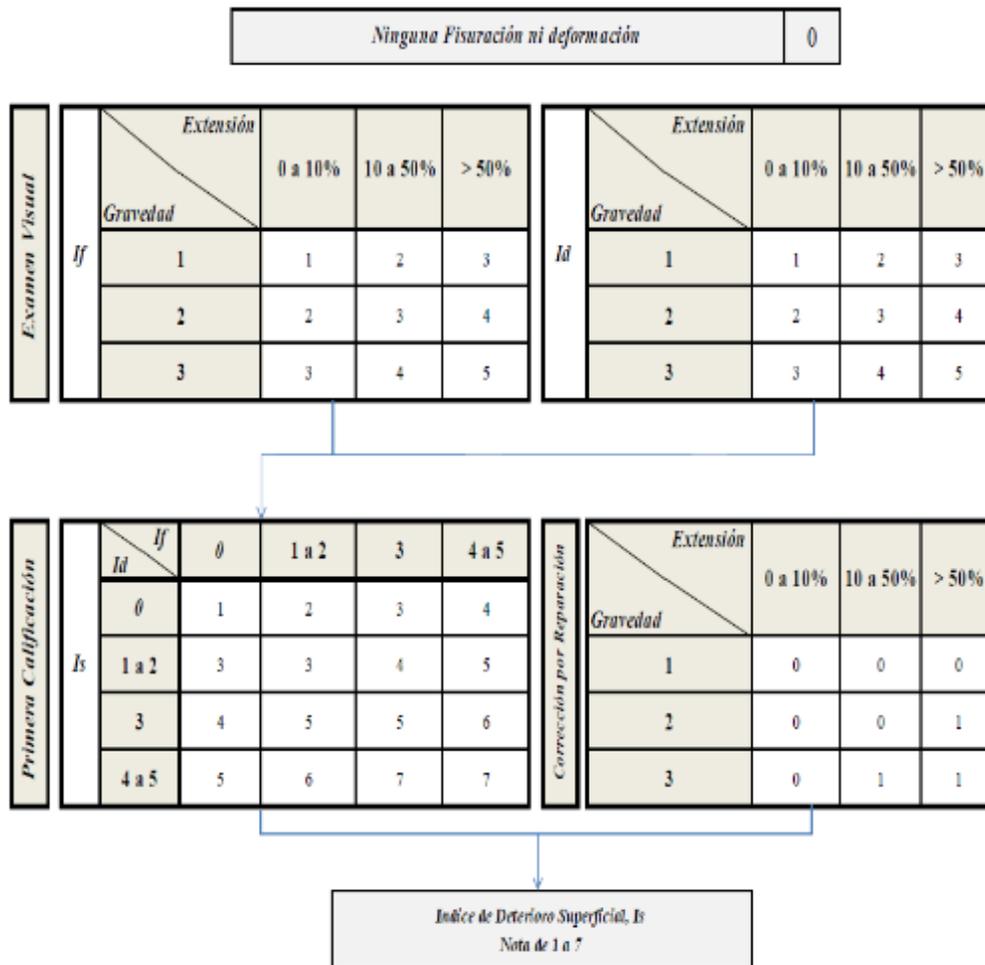


Figura 3. Flujo grama para determinar el Índice deterioro Superficial (*Is*). Fuente: Apolinario (2012).

La metodología VIZIR plantea dos índices para calificar el deterioro superficial de un pavimento: el índice de fisuración (*If*), referido a los agrietamientos de tipo estructural, y el índice de deformación (*Id*), referido a los deterioros o deformaciones de tipo estructural, ellos permiten determinar, de acuerdo con las características de extensión y severidad, un valor numérico con el cual es posible hallar un índice de deterioro superficial (*Is*).

Índice de Fisuración (*If*):

El cálculo del índice de fisuración, el cual depende de la gravedad y la extensión de las fisuraciones y agrietamientos de tipo estructural en cada zona evaluada. Es decir, se mide en función de su extensión y gravedad, pero solo de las fallas del tipo A, que tengan relación con la fisuración del pavimento, es por eso que se hace la cuantificación del área dañada por este tipo de fallas.

Índice de Deformación (Id): El índice de deformación, el cual también depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural. Es decir, se mide en función de la extensión y gravedad de las fallas del Tipo A, que impliquen deformación del pavimento. Es decir: Ahuellamientos, Hundimientos o depresiones longitudinales y transversales.

Índice de Deterioro Superficial (Is): Se define de manera numérica la condición general de la superficie de pavimento y suministra pautas para la elección de alternativas de intervención.

La combinación del If e Id, permite obtener lo que se conoce como la primera nota de degradación, valor que varía entre uno y siete, siendo mayor a medida que la estructura tenga más cantidad y/o severidad y extensión de daños. La primera nota de degradación, debe ser corregida de acuerdo con la extensión y severidad de las intervenciones a la estructura de pavimento que se hayan encontrado en el tramo de análisis. Dicha corrección, puede generar un incremento del Is.

En la tabla 5 a partir del índice de deterioro superficial (Is), se define tres situaciones generales en relación con la probable capacidad del pavimento en el instante de la evaluación aplicada.

Tabla 5. Calificación del estado de la superficie del pavimento - VIZIR.

Intervalo de Is	Estado de superficie
1-2	Bueno
3-4	Regular
5-7	Malo

Fuente: Apolinario, 2012.

a) Valores del “Is” de 1 y 2.- Representan pavimentos con limitados fisuramientos y deformaciones, que presentan un buen aspecto general y que, probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario.

b) Valores del “Is” 3 y 4.- Representan pavimentos con fisuramientos de origen estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos sin fisuramientos, pero con deformaciones de alguna

importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad.

c) Valores del “Is” 5, 6 y 7.- Son indicativos de pavimentos con abundantes fisuramientos y deformaciones de origen estructural, cuyo deficiente estado superficial posiblemente exija la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación.

2.3.5.4. Metodología PCI

Según Vásquez (2002) indica que el deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Se introdujeron los “valores reducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la 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. En el Cuadro 1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 6. Rangos de calificación del PCI

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

Fuente: Vásquez (2002)

Procedimiento de evaluación según la condición del pavimento

En primer lugar, se realiza el trabajo de campo donde se halla los daños teniendo en cuenta la clase, nivel de severidad y densidad y se registra en un formato dado por la Norma ASTM D6433. En la Tabla 7 se muestra el formato para la inspección de pavimentos de concreto.

Tabla 7. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie en concreto hidráulico.

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO										
ZONA		ABSCISA INICIAL			UNIDAD DE MUESTREO					
CÓDIGO VÍA		ABSCISA FINAL			NÚMERO DE LOSAS					
INSPECCIONADA POR				FECHA						
No.	Daño	No.	Daño	No.	Daño					
21	Blow up / Buckling.	27	Desnivel Carril / Berma.	34	Punzonamiento.					
22	Grieta de esquina.	28	Grieta lineal.	35	Cruce de vía férrea					
23	Losa dividida.	29	Parqueo (grande).	36	Desconchamiento					
24	Grieta de durabilidad "D".	30	Parqueo (pequeño)	37	Retracción					
25	Escala.	31	Pulimento de agregados	38	Descascaramiento de esquina					
26	Sello de junta.	32	Popouts	39	Descascaramiento de junta					
		33	Bombeo							
Daño	Severidad	No. Losas	Densidad (%)	Valor deducido	ESQUEMA					
					o	o	o	o	o	10
					o	o	o	o	o	9
					o	o	o	o	o	8
					o	o	o	o	o	...
					o	o	o	o	o	
					1	2	3	4		

Fuente: Vasquez (2002)

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%.

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

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.

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

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:

- El intervalo de muestreo (i) se expresa:

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

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.

- 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.

Evaluación de la Condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona siguiendo estrictamente las siguientes condiciones:

- 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.

Cálculo del Pavimento con Capa de Rodadura en Concreto de Cemento Portland

Luego de inspeccionar el campo, los datos de los daños se usan para realizar el cálculo del PCI, basándose en los Valores Deducidos de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas. (Vásquez, 2002)

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 la tabla 7.
1. b. Se divide el número de LOSAS contabilizado en 1.a. entre el número de LOSAS de la unidad y se expresa el resultado como porcentaje (%) Esta es la DENSIDAD por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.
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”*

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

- 2.a. Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la *Etapa 4*. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.
- 2.b. Se hace una lista de los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- 2.c. Se determina el *“Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m)*, utilizando la ecuación:

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

Donde:

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

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

2.d. El número de valores individuales deducidos se reduce a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

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

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

3. a. Se determina el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.

3. b. Se determina el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.

3. c. Se determina el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

3. d. Se reduce a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y se repite las etapas 3.a. a 3.c. hasta que q sea igual a 1.

3. e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Etapa 4. Se calcula el PCI restando de 100 el máximo CDV.

En la tabla 8 se presenta un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

Tabla 8. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV.

No.	Valores Deducidos										Total	q	CDV
1													
2													
3													
4													

Fuente: Vásquez (2002)

2.3.6. Daños y medidas correctivas en pavimentos flexibles

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) los daños de los pavimentos flexibles son indicadores básicos para el diagnóstico de la condición de los mismos. Se presentan en forma de Catálogo y provienen del método “VIZIR” desarrollado en Francia a partir de los años 60 y actualmente es utilizado en varios países del mundo. Dicho Catálogo tiene por objeto la clasificación y cuantificación de los daños de pavimentos flexibles, y define tres niveles de gravedad o severidad para cada tipo de daño.

Los daños en calzadas pueden clasificarse en dos grandes categorías: daños estructurales y daños superficiales. Los de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto, mientras que los de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico como carpetas delgadas de concreto asfáltico, tratamientos superficiales, entre otros.

A continuación, la Tabla 9 presenta la lista de daños y los criterios de calificación considerados por la metodología; se muestra además los daños para bermas de pavimento flexible. (MTC, 2016)

Tabla 9. Daños en pavimentos flexibles.

Clasificación de los daños	Código de daño	Daños	Gravedad
Daños estructurales	1	Piel de cocodrilo	1. Malla grande (> 0,5 m) sin material suelto 2. Malla mediana (entre 0,3 y 0,5 m) con material suelto o sin él 3. Malla pequeña (< 0,3 m) con material suelto o sin él
	2	Fisuras longitudinales	1. Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho < 1 mm) 2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	3	Deformación por deficiencia estructural	1. Profundidad sensible al usuario pero < 2 cm 2. Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3. Profundidad ≥ 4 cm
	4	Ahuellamiento visco-elástico	1: Profundidad sensible al usuario pero < 1 cm 2: Profundidad > 1 cm
	5	Reparaciones o bacheo	1. Reparación o bacheo para daños superficiales 2. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado 3. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado
Daños superficiales	6	Desprendimiento	1. Puntual sin aparición de la base granular 2. Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular 3. Continuo con aparición de la base granular
	7	Huecos	1. Diámetro < 0.2 m 2. Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3. Diámetro > 0.5 m
	8	Fisuras transversales	1. Finas (ancho < 1 mm) 2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	9	Exudación	1. Puntual 2. Continua 3. Continua con superficie viscosa
Daños en bermas	10	Daños	1. Daños puntuales 2. Daños en menos del 30 % de la longitud 3. Daños en más del 30 % de la longitud
	11	Desnivel	1. Desnivel significativo pero menor que 5 cm 2. Desnivel entre 5 y 10 cm 3. Desnivel ≥ 10 cm

Fuente: MTC (2016)



Figura 4. Daños en pavimentos flexibles. Fuente: MTC (2016)

Según menciona el MTC (2016), el objetivo del Catálogo es describir los daños que influyen de manera significativa en los costos de obras de mantenimiento al nivel de la red y que se toman en cuenta para el planeamiento y la administración del mantenimiento. No es suministrar una descripción minuciosa de la superficie de los pavimentos.

Como complemento se considera el uso de la metodología de evaluación de pavimentos PCI (Índice de Condición del Pavimento), desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano, para tipificar y cuantificar con mayor detalle los daños superficiales en la vía. Para el relevamiento de los daños contemplados en esta metodología americana se siguen los lineamientos de la norma ASTM D-6433 que expone el procedimiento para clasificación y cuantificación de los daños superficiales en pavimentos flexibles.

El numeral (referenciar normatividad) referido al “Catálogo de Daños en Pavimentos Flexibles” describe detalladamente los tipos de daños, los conceptos para la calificación de la gravedad y también las causas probables de los daños tanto para la metodología VIZIR como PCI.

Daño 1: Piel de cocodrilo: Como indica el MTC (2016), la piel de cocodrilo está constituida por fisuras que forman polígonos irregulares de ángulos agudos. Puede ser en su principio poco grave, ya que muestra polígonos incompletos dibujados en la superficie por fisuras cerradas (es decir, de ancho nulo). El tamaño de la malla disminuye luego bajo el efecto de las condiciones climáticas y del tráfico; las fisuras se abren y se observan pérdidas de material en sus bordes. El daño tipo piel de cocodrilo es una consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a lo permitido y es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas, después la fisuración se propaga a la superficie. Para clasificar los niveles de gravedad se usa como criterio principal el orden de magnitud de la malla.

1. Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto
2. Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto
3. Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto

El nivel 1 corresponde a la aparición de la red en la superficie. Las fisuras no tienen,

generalmente, un ancho significativo y se abren en los niveles siguientes.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de la piel de cocodrilo y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

1. Ninguna medida
2. Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente
3. Sello o carpeta asfáltica
4. Rehabilitación o reconstrucción.



Figura 5. Gravedad 1: Malla Grande (>0.5 mm) sin material suelto. Fuente: MTC (2016).



Figura 6. Gravedad 2: Malla mediana (entre 0.30 mm y 0.5 mm) sin o con material suelto. Fuente: MTC (2016).



Figura 7. Gravedad 3: Malla pequeña (<0.3 m) sin o con material suelto. Fuente: MTC (2016).

Daño 2: Fisuras longitudinales: Como indica el MTC (2016), en este rubro se incluyen las fisuras longitudinales de fatiga. Discontinuas y únicas al inicio, evolucionan rápidamente hacia una fisuración continua –y muchas veces ramificada– antes de multiplicarse a causa del tráfico y convertirse en muy cerradas. El daño tipo fisura longitudinal es una consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del

pavimento. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas, después la fisuración se propaga a la superficie. los niveles de gravedad de este tipo de falla pueden ser:

- 1: Fisuras finas en las huellas del tránsito tránsito (ancho < 1 mm)
- 2: Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm)
- 3: Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm).

Fisuras longitudinales y transversales: El nivel 1 corresponde al concepto del AASHTO de hairline crack («fisura como un cabello»), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a un milímetro. En cuanto a las fisuras abiertas de gravedad 2, se considera que su ancho es generalmente superior a un milímetro y tiene bordes verticales (sin desintegración de bordes). Se vuelven de gravedad 3 cuando los bordes se desintegran. Las posibles medidas correctivas se darán según la gravedad de las fisuras y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

1. Ninguna medida
2. Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente
3. Sello o carpeta asfáltica
4. Rehabilitación o reconstrucción.

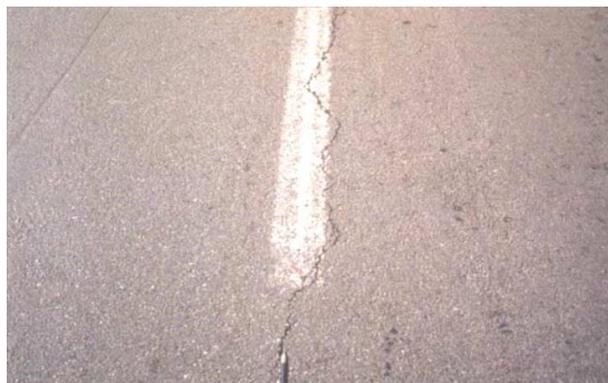


Figura 8. Gravedad 1: Fisuras finas en las huellas del tránsito. Fuente: MTC (2016)



Figura 9. Gravedad 2: Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material. Fuente: MTC (2016)



Figura 10. Gravedad 3: Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material. Fuente: MTC (2016)

Daños 3: Deformación por deficiencia estructural: Según el MTC (2016) las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:

1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (daño 3a) o localizadas (daño 3b).
2. El ahuellamiento visco-elástico (daño 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1,50 m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por deficiencia estructural.

La depresión continua aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho superior a 0,8 m, sobre los laterales del pavimento de 0,5 a 0,8 m del borde, debido al asentamiento de los materiales de una o varias capas del pavimento y de la subrasante bajo un tráfico pesado y canalizado. La depresión localizada es un hundimiento de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. Concierno generalmente a la totalidad del borde del

pavimento. Es una consecuencia de defectos de soporte o de estabilidad que se deben a una mala calidad de los materiales o a un contenido de agua excesivo. Los daños 3a y 3b son consecuencias del fenómeno de fatiga de una o varias capas del

pavimento y de la subrasante sometidas a una repetición de cargas superior a la permitido. Es un indicador de la insuficiencia estructural del pavimento.

Los niveles de gravedad de este tipo de falla pueden ser:

1. Profundidad sensible al usuario (> 0.5 cm) pero < 2 cm
2. Profundidad entre 2 cm y 4 cm
3. Profundidad ≥ 4 cm

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de las deformaciones (ahuellamiento y hundimiento) y su extensión, así como otros elementos de diagnóstico (fisuraciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

1. Ninguna medida.
2. Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente.
3. Carpeta asfáltica.
4. Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).

Deformaciones (3a depresión continua longitudinal)



Figura 11. Gravedad 1: Profundidad sensible al usuario (>0.5 cm) pero <2 cm. Fuente: MTC (2016)

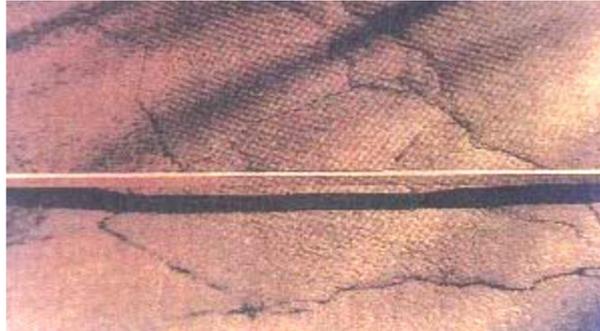


Figura 12. Profundidad entre 2 cm. y 4 cm. Fuente: MTC (2016)



Figura 13. Profundidad \geq 4 cm. Fuente: MTC (2016).

Deformaciones (3b hundimiento)



Figura 14. Gravedad 2: Profundidad entre 2 cm. y 4 cm. Fuente: MTC (2016)



Figura 15. Gravedad 3: Profundidad \geq 4 cm. Fuente: MTC (2016)

Daño 4: Ahuellamiento visco-elástico: Según el MTC (2016) las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:

1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (daño 3a) o localizadas (daño 3b).
2. El ahuellamiento visco-elástico (daño 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1,50 metros de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura (daño 4). La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0,8 metros, sobre los laterales del pavimento de 0,5 m a 0,8 m del borde, debido a un comportamiento visco elástico de las de la capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado. Este tipo de falla puede provenir de las siguientes causas probables:

1. Defecto de dosificación del asfalto
2. Inadecuación entre el tipo de asfalto y la temperatura de la capa de rodadura
3. Inadecuación entre la gradación de los agregados y la temperatura de la capa de rodadura
4. Inadecuación entre la gradación de los agregados y la clase de tránsito.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar como:

1. Profundidad sensible al usuario (> 0.5 cm) pero < 1 cm
2. Profundidad ≥ 1 cm

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de las deformaciones y su extensión, así como otros elementos de diagnóstico (deflexión y rugosidad), se consideran:

1. Ninguna medida
2. Reparaciones con mezcla en caliente
3. Carpeta asfáltica
4. Fresado y carpeta asfáltica
5. Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).



Figura 16. Gravedad 1: Profundidad sensible al usuario (>0.5 cm) pero < 1 cm. Se observa una marcación del trazado de las ruedas. Fuente: MTC (2016)



Figura 17. Gravedad 2: Profundidad ≥ 1 cm. Se observa un levantamiento de materiales formando cordones a lo largo del trazado de las ruedas. Fuente: MTC (2016)

Daño 5: Reparaciones o bacheo: Según el MTC (2016), en ciertos métodos de levantamiento de daños, las reparaciones no se toman en cuenta (por ejemplo, manual del OCDE, método AASHTO o CONREVIAl), puesto que estas solo están destinadas a mitigar los defectos del pavimento de manera provisional o definitiva; su número, su extensión y su frecuencia son elementos del diagnóstico. Una reparación reciente enmascara un problema, reparaciones frecuentes lo subrayan. Las reparaciones deben ser calificadas en el momento del examen visual, pues algunas de ellas son tomadas en cuenta para determinar el estado estructural del pavimento. Si la reparación se aplica a daños superficiales y erradica el defecto, no se usará para calificar el estado estructural del pavimento. Si se aplica a la fisuración estructural, se considera como factor agravante. Las reparaciones son indicadores de insuficiencia estructural del pavimento o de daños superficiales. No requieren medidas correctivas. los niveles de gravedad se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Reparación o bacheo para daños superficiales

2. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales en buen estado.
3. Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales en mal estado.



Figura 18. Gravedad 1: Reparación o bacheo para daños superficiales. Fuente: MTC (2016)



Figura 19. Gravedad 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado. Fuente: MTC (2016)



Figura 20. Gravedad 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado. Fuente: MTC (2016)

Daño 6: Desprendimiento: Según el MTC (2016), este daño incluye:

1. La desintegración superficial de la carpeta asfáltica debida a la pérdida del ligante bituminoso o del agregado
2. La pérdida total o parcial de la capa de rodadura.

Esta falla indica las siguientes causas probables:

1. Defecto de adherencia del asfalto o de dosificación del mismo
2. Asfalto defectuoso o endurecido y perdiendo sus propiedades ligantes
3. Agregados defectuosos (sucios o muy absorbentes)
4. Defectos de construcción
5. Efecto de agentes agresivos (solventes, agua, etc.).

Los niveles de gravedad de este tipo de falla pueden clasificarse de la siguiente forma:

1. Puntual sin aparición de la base granular
2. Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular
3. Continuo con aparición de la base granular

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de los desprendimientos y su extensión se consideran las siguientes medidas correctivas:

1. Ninguna medida
2. Reparaciones con mezcla en caliente o tratamiento superficial
3. Carpeta asfáltica, tratamiento superficial



Figura 21. Gravedad 1: Puntual sin aparición de la base granular (tratamiento superficial).
Fuente: MTC (2016)



Figura 22. Gravedad 1: Puntual sin aparición de la base granular (concreto asfáltico). Fuente: MTC (2016)



Figura 23. Gravedad 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. Fuente: MTC (2016)

Daño 7: Huecos: Según el MTC (2016), los huecos o baches son normalmente consecuencia del desgaste o de la destrucción de la capa de rodadura. Cuando aparecen, su tamaño es pequeño, pero por falta de mantenimiento aumentan y se reproducen en cadena, y muchas veces a una distancia igual al perímetro de una rueda de camión. Esta falla proviene de la evolución de otros daños y carencia de mantenimiento:

1. Desprendimiento
2. Fisuración de fatiga.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar en:

1. Diámetro < 0.2 m
2. Diámetro entre 0.2 y 0.5 m
3. Diámetro > 0.5 m.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de los huecos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros daños:

1. Ninguna medida
2. Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente

3. Rehabilitación o reconstrucción.



Figura 24. Gravedad 1: Diámetro < 0.2 m. Fuente: MTC (2016)



Figura 25. Gravedad 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m. Fuente: MTC (2016)



Figura 26. Gravedad 3: Diámetro > 0.5 m. Fuente: MTC (2016)

Daño 8: Fisuras transversales: Según el MTC (2016), las fisuras transversales son fracturas del pavimento, transversales (o casi) al eje de la vía. Esta falla puede provenir de las causas siguientes:

1. Retracción térmica de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o envejecimiento del asfalto
2. Reflexión de grietas de capas inferiores y apertura de juntas de construcción defectuosas.

Los niveles de gravedad son iguales a los niveles definidos para las fisuras longitudinales

1. Finas (ancho < 1 mm)
2. Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm)
3. Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)

Fisuras longitudinales y transversales: El nivel 1 corresponde al concepto del AASHTO de hairline crack («fisura como un cabello»), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a un milímetro. En cuanto a las fisuras abiertas de gravedad 2, se considera que su ancho es generalmente superior a un milímetro con bordes verticales (sin desintegración de bordes). se vuelven gravedad 3 cuando los bordes se desintegran. las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad y extensión de las fisuras transversales y de los otros daños que pueden acompañarlas, se consideran las siguientes medidas correctivas:

1. Ninguna medida
2. Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente
3. Sello
4. Rehabilitación o reconstrucción.



Figura 27. Gravedad 1: Finas. Fuente: MTC (2016)



Figura 28. Gravedad 2: Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material. Fuente: MTC (2016)

Daño 9: Exudación: Según el MTC (2016), este daño se manifiesta por un afloramiento de material bituminoso de la mezcla a la superficie del pavimento. Forma una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa según los niveles del fenómeno. Esta falla puede provenir de las siguientes causas:

1. Excesivo contenido de asfalto en la mezcla
2. Bajo contenido de vacíos (en períodos calientes, el asfalto llena los vacíos y aflora a la superficie).

El daño se manifiesta por manchas negras aisladas. Luego el exceso de asfalto forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito. El último nivel se caracteriza por la presencia de una cantidad significativa de asfalto libre: la superficie se vuelve viscosa. Los niveles de gravedad se enumeran a continuación.

3. Puntual
4. Continua
5. Continua con superficie viscosa

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de la exudación y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros daños:

1. Ninguna medida
2. Carpeta asfáltica
3. Fresado y carpeta asfáltica.



Figura 29. Gravedad 3: Continúa con superficie viscosa. Fuente: MTC (2016)

2.3.7. Conservación de pavimento flexible en calzada y berma

Según el MTC (2018) existen diversas actividades de conservación del pavimento flexible según el grado de daño en el mismo, las cuales se pasan a listar a continuación:

2.3.7.1. Actividades de conservación rutinaria

- Sellado de fisuras y grietas en calzadas
- Sellado de fisuras y grietas en bermas
- Parchado superficial en calzada
- Parchado profundo en calzada
- Bacheo de bermas con material granular
- Nivelación de bermas con material granular
- Parchado superficial de bermas con tratamiento asfáltico
- Parchado profundo de bermas con tratamiento asfáltico.

2.3.7.2. Actividades de conservación periódica

- Sellos asfálticos
- Recapeos asfálticos
- Fresado de capa asfáltica
- Microfresado de capa asfáltica
- Reconformación de base granular en bermas
- Imprimación reforzada en bermas con material granular
- Nivelación de bermas con mezcla asfáltica

2.3.8. Daños en carreteras con pavimento rígido.

Según el MTC (2016), los daños de los pavimentos rígidos son indicadores básicos para el diagnóstico de la condición de los mismos. Se presentan en forma de Catálogo y provienen de una selección, dentro de la lista exhaustiva del método “AASHTO”, basada en la identificación de los tipos de daños representativos de la Red Nacional pavimentada con concreto de cemento.

A continuación, en la Tabla 10 se muestra la lista los daños y criterios de calificación para calzadas considerados por la metodología. Asimismo, la tabla 10 muestra los daños para bermas de pavimentos rígidos.

Tabla 10. Daños en pavimentos rígidos.

Código de daño	Daños	Gravedad
1	Desnivel entre losas	Sensible al usuario sin reducción de la velocidad Resulta en una reducción significativa de la velocidad Resulta en una reducción drástica de la velocidad
2	Fisuras longitudinales	Finas (ancho < 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, con pérdida de material (ancho > 1 mm)
3	Fisuras transversales	Finas (ancho < 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm) Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
4	Fisuras de esquina	Solamente una esquina quebrada Dos esquinas quebradas Más que dos esquinas quebradas
5	Fisuras oblicuas	Finas (ancho < 1 mm) Abiertas y/o ramificadas, sin pérdida de material (ancho > 1 mm) Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
6	Reparaciones o bacheos	Puntuales (menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas) Puntuales (entre el 10% y 30% de la superficie de las losas afectadas) Continuas (más que el 30% de la superficie de las losas afectadas)
7	Despostillamiento de juntas	Fracturamiento o desintegración de bordes en menos que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta. Fracturamiento o desintegración de bordes en más que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta Fracturamiento o desintegración hasta una distancia superior a 5 cm de la junta
8	Desprendimiento	Pérdida de material en menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas Pérdida de material entre el 10 % y 30% de la superficie de las losas afectadas Pérdida de material en más que el 30% de la superficie de las losas afectadas
9	Huecos	Diámetro < 0.2 m Diámetro entre 0.2 y 0.5 m Diámetro > 0.5 m
10	Tratamiento superficial	Desprendimiento en menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas Desprendimiento entre el 10% y 30% de la superficie de las losas afectadas Desprendimiento en más que el 30% de la superficie de las losas afectadas
11	Daños en bermas	Daños puntuales Daños en menos del 30 % de la longitud Daños en más del 30 % de la longitud
12	Desnivel en bermas	Desnivel significativo pero menor que 5 cm Desnivel entre 5 y 10 cm Desnivel >=10 cm

Fuente: MTC (2016)



Figura 30. Daños en pavimentos rígidos. Fuente: MTC (2016)

Adicionalmente, se considera el uso de la metodología de evaluación de pavimentos PCI (Índice de Condición del Pavimento), desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano, para tipificar y cuantificar con mayor detalle los daños superficiales en la vía.

Para el relevamiento de los daños contemplados en esta metodología americana se siguen los lineamientos de la norma ASTM D-6433 que expone el procedimiento para clasificación y cuantificación de los daños superficiales en pavimentos rígidos. La sección (referenciar normatividad) contiene el “Catálogo de Daños en Pavimentos Rígidos”, en el cual se presenta la descripción, causas probables, niveles de gravedad y las posibles medidas correctivas para cada uno de los tipos de daños considerados.

Daño 1: Desnivel entre losas: Según el MTC (2016), este daño se manifiesta en las juntas por una diferencia de nivel entre losas. Esta falla puede provenir de las causas siguientes:

1. Drenajes defectuosos (disminuye el soporte de la fundación)
2. Transferencia de carga deficiente en las juntas.

Los niveles de gravedad se definen cualitativamente por su influencia en el confort de los usuarios.

1. Sensible al usuario sin reducción de la velocidad
2. Resulta en una reducción significativa de la velocidad
3. Resulta en una reducción drástica de la velocidad.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad del desnivel entre losas y la extensión de otros daños que pueden acompañarlo, se consideran las siguientes medidas correctivas:

1. Ninguna medida
2. Reparación con mezcla asfáltica en caliente
3. Carpeta asfáltica
4. Reconstrucción de losa.



Figura 31. Gravedad 1: Sensible al usuario sin reducción de la velocidad. Fuente: MTC (2016)



Figura 32. Gravedad 2: Resulta en una reducción significativa de la velocidad. Fuente: MTC (2016)



Figura 33. Gravedad 3: Resulta en una reducción drástica de la velocidad. Fuente: MTC (2016)

Daño 2: Fisuras longitudinales: Este daño resulta del fracturamiento de losas, en paralelo al eje del pavimento, que las divide en varios paños. En la mayoría de los casos, las fisuras resultan de:

1. La pérdida de soporte de la fundación
2. La acción de tránsito pesado (por sobrecarga o repetición excesiva de carga)
3. La ausencia o deficiencia de juntas.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar según su ancho:

1. Finas (ancho < 1 mm)
2. Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm)
3. Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm).

Nota: El nivel 1 de las fisuras corresponde al concepto del AASHTO de hairline crack («fisura como un cabello»), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a un milímetro.

En cuanto a las fisuras abiertas de gravedad 2, se considera que su ancho es generalmente superior a un milímetro con bordes verticales (sin desintegración de bordes). Se vuelven de gravedad 3 cuando los bordes se desintegran. Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de las fisuras longitudinales y la extensión otros daños que pueden acompañarlas, se consideran las siguientes medidas correctivas:

1. Ninguna medida
2. Sello
3. Carpeta asfáltica
4. Reconstrucción de losa.



Figura 34. Gravedad 1: Finas. Fuente: MTC (2016)



Figura 35. Gravedad 2: Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material. Fuente: MTC (2016)



Figura 36. Gravedad 3: Abiertas y ramificadas con pérdida de material. Fuente: MTC (2016)

Daño 3 Fisuras transversales: Según el MTC (2016), este daño resulta del fracturamiento de losas perpendicular o casi perpendicular al eje del pavimento. En la mayoría de los casos, las fisuras resultan de:

1. La pérdida de soporte de la fundación
2. La acción de tránsito pesado (por sobrecarga o repetición excesiva de carga).
3. La ausencia o deficiencia de juntas
4. La contracción del concreto.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar según el ancho de la fisura:

1. Finas (ancho < 1 mm)
2. Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm)
3. Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm).

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de las fisuras transversales y de los otros daños que pueden acompañarlas y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas:

1. Ninguna medida.
2. Sello
3. Carpeta asfáltica
4. Reconstrucción de losa.



Figura 37. Gravedad 1: Finas. Fuente: MTC (2016)



Figura 38. Gravedad 2: Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material. Fuente: MTC (2016)



Figura 39. Gravedad 3: Abiertas y ramificadas con pérdida de material. Fuente: MTC (2016)

Daño 4: Fisuras de esquina. Según el MTC (2016), este daño resulta del fracturamiento de esquina de losas a una distancia inferior de 0,3 metros de la misma. Generalmente, las fisuras no se extienden a través del espesor total de la losa, sino que alcanzan las juntas. En la mayoría de los casos, las fisuras resultan de:

1. La pérdida de soporte de la fundación
2. La acción de tránsito pesado (por sobrecarga o repetición excesiva de carga)
3. La ausencia o deficiencia de juntas.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Solamente una esquina quebrada
2. Dos esquinas quebradas
3. Más de dos esquinas quebradas.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de las fisuras de esquinas y la extensión de otros daños que pueden acompañarlas, se consideran las siguientes medidas correctivas:

1. Ninguna medida
2. Reparación
3. Sello
4. Carpeta asfáltica
5. Reconstrucción de losa.



Figura 40. Gravedad 2: Dos esquinas quebradas. Fuente: MTC (2016)

Daño 5: Fisuras oblicuas: Según el MTC (2016), este daño resulta del fracturamiento de losas; se forman fisuras que interceptan los bordes o juntas perpendiculares de losas, a una distancia mayor de 0,3 metros de la esquina. En la mayoría de los casos, las fisuras provienen de:

1. La pérdida de soporte de la fundación
2. La acción de tránsito pesado (por sobrecarga o repetición excesiva de carga)
3. La ausencia o deficiencia de juntas.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar según el ancho de la fisura:

1. Finas (ancho < 1 mm)
2. Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm)
3. Abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm).

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de las fisuras oblicuas y de los otros daños que pueden acompañarlas y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas

1. Ninguna medida
2. Sello
3. Carpeta asfáltica
4. Reconstrucción de losa.



Figura 41. Gravedad 1: Finas. Fuente: MTC (2016)



Figura 42. Gravedad 2: Abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material. Fuente: MTC (2016).



Figura 43. Gravedad 3: Abiertas y ramificadas con pérdida de material. Fuente: MTC (2016).

Daño 6: Reparaciones o bacheos: Según el MTC (2016) los niveles de gravedad para este tipo de falla se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. Puntuales (menos que el 10% de la superficie de la losa afectada)
2. Puntuales (entre el 10% y 30% de la superficie de la losa afectada)
3. Continúas (más que el 30% de la superficie de la losa afectada).

Las reparaciones son indicativas de insuficiencia estructural del pavimento o de daños superficiales. No requieren medidas correctivas.



Figura 44. Gravedad 1: Puntuales (menos que el 10% de la superficie). Fuente: MTC (2016)



Figura 45. Gravedad 2: Puntuales (entre el 10% y 30% de la superficie de la losa afectada). Fuente: MTC (2016)



Figura 46. Gravedad 3: Continúas (más que el 30% de la superficie de la losa afectada). Fuente: MTC (2016).

Daño 7: Despostillamiento de juntas: Según el MTC (2016), el fracturamiento o desintegración de bordes de las juntas, dañadas al punto que existe la posibilidad que ingrese agua o se acumule material no compresible. Los daños provienen de:

1. Excesiva tensión en las juntas debida a las cargas
2. Infiltración de materiales incompresibles en las juntas
3. Debilidad del concreto en la proximidad de las juntas

4. Deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga entre losas
5. Acumulación de agua a nivel de las juntas.

Los niveles de gravedad se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. Fracturamiento o desintegración de bordes en menos que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta
2. Fracturamiento o desintegración de bordes en más que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta
3. Fracturamiento o desintegración hasta una distancia superior a 5 cm de la junta.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de los daños de las juntas y de los otros daños que pueden acompañarlos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, si no se observa ningún otro daño significativo:

1. Ninguna medida
2. Bacheo o reparación de concreto
3. Sello de juntas
4. Carpeta asfáltica



Figura 47. Gravedad 1: Fracturamiento o desintegración de bordes en menos que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta. Fuente: MTC (2016)



Figura 48. Gravedad 2: Fracturamiento o desintegración de bordes en más que el 50 % de la longitud dentro de los 5 cm de la junta. Fuente: MTC (2016)



Figura 49. Gravedad 3: Fracturamiento o desintegración hasta una distancia superior a 5 cm de la junta. Fuente: MTC (2016)

Daño 8: Desprendimiento: Según el MTC (2016) este tipo de falla es la pérdida de material en la superficie de las losas. Los daños resultan de:

1. Efecto de tránsito sobre concreto de calidad pobre
2. Deficiencia de la construcción
3. Materiales químicos agresivos en la superficie.

Los niveles de gravedad para este tipo de falla se pueden clasificar de la siguiente forma:

4. Pérdida de material en menos que el 10% de la superficie de las losas afectadas
5. Pérdida de material entre el 10 % y 30% de la superficie de las losas afectadas
6. Pérdida de material en más que el 30% de la superficie de las losas afectadas.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de los daños de la superficie y de los otros daños que pueden acompañarlos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, si no se observa ningún otro daño significativo:

1. Ninguna medida
2. Bacheo o reparación de concreto
3. Sello o carpeta asfáltica



Figura 50. Gravedad 1: Pérdida de material en menos que el 10% de la superficie de losa. Fuente: MTC (2016).

Daño 9: Huecos: Según el MTC (2016), los huecos o baches son consecuencia normalmente del desgaste o de la destrucción de la losa. Forman cavidades de bordes netos. Esta falla proviene de la evolución de otros daños y carencia de mantenimiento:

1. Desprendimiento
2. Fisuración
3. Deficiencia en el diseño o la construcción.

Los niveles de gravedad para este tipo de falla se pueden clasificar según su diámetro:

1. Diámetro < 0.2 m
2. Diámetro entre 0.2 y 0.5 m
3. Diámetro > 0.5 m.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de los huecos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros daños:

1. Ninguna medida
2. Bacheo
3. Reparaciones por carpeta asfáltica
4. Rehabilitación o reconstrucción.

Daño 10: Tratamiento superficial: Según el MTC (2016), este daño se refiere al desprendimiento de tratamiento superficial en la superficie de losas.

Los daños provienen:

1. Del envejecimiento del material bituminoso que pierde su capacidad de flexibilidad y adherencia
2. De un defecto de construcción.

Los niveles de gravedad para este tipo de falla se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Desprendimiento en menos que el 10% de la superficie de losa afectada
2. Desprendimiento entre el 10% y 50% de la superficie de losa afectada
3. Desprendimiento en más que el 50% de la superficie de losa afectada.

Las posibles medidas correctivas se dan según la gravedad de los daños de tratamiento superficial y de los otros daños que pueden acompañarlos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, si no se observa ningún otro daño significativo:

1. Ninguna medida
2. Reparación con tratamiento superficial
3. Tratamiento superficial o carpeta asfáltica.



Figura 51. Gravedad 1: Desprendimiento en menos que el 10% de la superficie de losa afectada. Fuente: MTC (2016)



Figura 52. Gravedad 2: Desprendimiento entre el 10% y 50% de la superficie de losa afectada. Fuente: MTC (2016)

2.3.9. Conservación de pavimentos rígidos en calzada y berma

Según el MTC (2018) existen diversas actividades de conservación del pavimento rígido según el grado de daño en el mismo, las cuales se pasan a listar a continuación:

2.3.9.1. Actividades de conservación rutinaria

- Sellado de fisuras y grietas en calzada y berma
- Reparación de losas de calzada y/o berma en espesor parcial
- Bacheo de bermas de material granular
- Nivelación de bermas de material granular

2.3.9.2. Actividades de conservación periódica

- Resellado de juntas y sellado de grietas en calzada y berma
- Reparación de losas de calzada y berma en espesor total
- Colocación de barras de transferencia de cargas
- Microfresado de losas en calzada y bermas
- Reemplazo de losas en calzada y bermas

- Reemplazo de losas por pavimento flexible en calzada y bermas

2.3.10. Índice medio diario anual de tránsito (IMDA)

En el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones –Sección Suelos y Pavimentos (2013) se indica que el estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Para cada uno de los tramos además de la demanda volumétrica actual deberá conocerse la clasificación por tipo de vehículos. El cálculo del IMDA requiere de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y puede proporcionar de los registros continuos que obtiene actualmente en las estaciones existentes de peaje y de pesaje del propio MTC y de las correspondientes a los contratos de concesiones viales. (p.73) Según la Oficina de Estadística de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones el Índice Medio Diario Anual (IMDA) es el valor numérico estimado del tráfico vehicular en un determinado tramo de la red vial en un año. El IMDA es el resultado de los conteos volumétricos y clasificación vehicular en campo en una semana, y un factor de corrección que estime el comportamiento anualizado del tráfico de pasajeros y mercancías.

El IMDA se obtiene de la multiplicación del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) y el Factor de Corrección Estacional (FC).

$$\text{IMDA} = \text{IMDS} \times \text{FC}$$

Donde:

- IMDS: representa el Índice Medio Diario Semanal o Promedio de Tráfico Diario Semanal
- FC: representa el Factor de Corrección Estacional.

El Índice Medio Diario Semanal (IMDS) se obtiene a partir del volumen de tráfico diario registrado por tipo de vehículo en un tramo de la red vial durante 7 días.

$$\text{IMDS} = \sum V_i / 7$$

Donde:

Vi: Volumen vehicular diario de cada uno de los 7 días de conteo volumétrico.

La aplicación del Factor de Corrección (FC), tiene por objeto eliminar el factor de estacionalidad que afecta los movimientos de carga y pasajeros. El factor de estacionalidad depende de una diversidad de factores exógenos como son: las épocas de vacaciones para el caso de movimientos de pasajeros; las épocas de cosecha y los factores climáticos para el transporte de productos agropecuarios; la época navideña para la demanda de todo tipo de bienes.

La determinación de la estacionalidad del tráfico debe ser analizado con atención para definir la época en la cual se están realizando los aforos y encuestas y poder expandir o proyectar los tráficos y expresarlos en términos de un tráfico promedio diario anual (IMDA), de tal forma que se eliminen los picos altos y bajos que podrían presentarse al momento de tomar la información.

Con la información de conteos recopilada en campo y las series históricas de tránsito de las estaciones de peaje ubicadas en la red de análisis, es posible caracterizar este comportamiento. (MTC, 2021)

2.3.11. Sistemas de información geográfica

Según Moran & Malma 2013, el término SIG procede del acrónimo de Sistema de Información Geográfica (en inglés GIS, Geographic Information System). Técnicamente se puede definir un SIG como una tecnología de manejo de información geográfica formada por equipos electrónicos (hardware) programados adecuadamente (software) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica), Metodología: los procedimientos, técnicas y formas de usar SIG y datos SIG en diversos tipos de aplicaciones. Y realizar análisis complejos con éstos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal). Son por tanto cinco los elementos constitutivos de un sistema de estas características:

1. Hardware.
2. Software.
3. Datos geográficos.
4. Metodología.
5. Equipo humano.

Aunque todos ellos han de cumplir con su cometido para que el sistema sea funcional, existen diferencias en cuanto a su importancia relativa. A lo largo del tiempo, el peso de cada uno de los elementos dentro de un proyecto S.I.G. ha ido cambiando mostrando una clara tendencia: mientras los equipos informáticos condicionan cada vez menos los proyectos S.I.G. por el abaratamiento de la tecnología, los datos geográficos se hacen cada vez más necesarios y son los que consumen hoy día la mayor parte de las inversiones en términos económicos y de tiempo. Así, hoy día el condicionante principal a la hora de afrontar cualquier proyecto basado en SIG lo constituye la disponibilidad de datos geográficos del territorio a estudiar, mientras que hace diez años lo era la disponibilidad de ordenadores potentes que permitieran afrontar los procesos de cálculo involucrados en el análisis de datos territoriales. (Moran & Malma 2013)

Pero además de ser un factor limitante, la información geográfica es a su vez el elemento diferenciador de un Sistema de Información Geográfica frente a otro tipo de Sistemas de Información; así, la particular naturaleza de este tipo de información contiene dos vertientes diferentes: por un lado, está la vertiente espacial y por otro la vertiente temática de los datos. Mientras otros Sistemas de Información (como por ejemplo puede ser el de un banco) contienen sólo datos alfanuméricos (nombres, direcciones, números de cuenta, etc.), las bases de datos de un S.I.G. han de contener además la delimitación espacial de cada uno de los objetos geográficos. (Moran & Malma 2013)

2.4. Definición de términos básicos

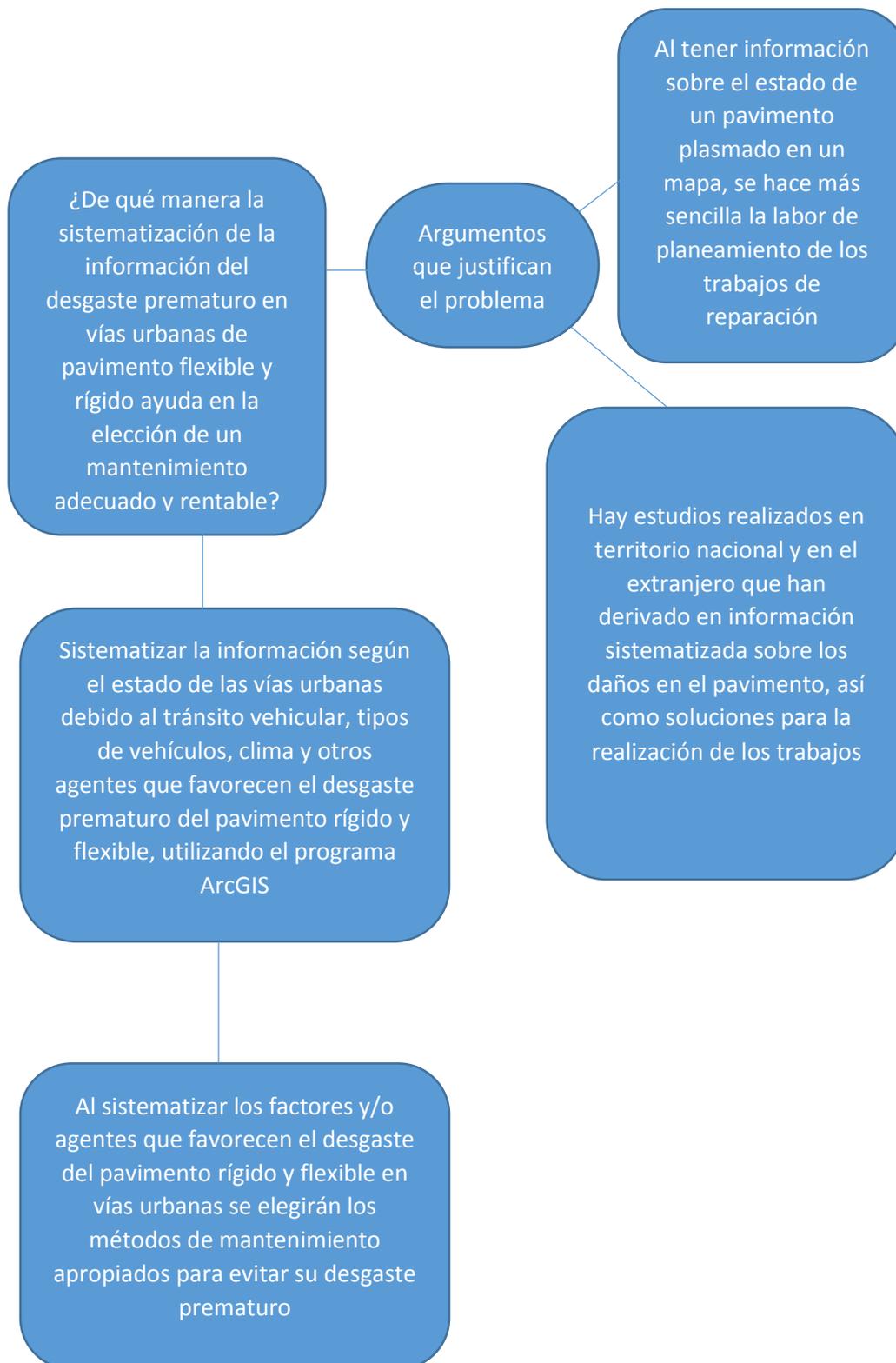
- **Piel de cocodrilo.** Es una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. Esta se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión 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. (Tacza & Rodríguez 2018)

- Este tipo de falla ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento. (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Exudación.** Es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, que forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. Esta falla 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. (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Agrietamiento en bloque.** 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. Ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito a diferencia de la piel de cocodrilo que es originada por cargas repetidas de tránsito. Las grietas en bloque difieren de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Abultamientos y hundimientos.** Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos que son causados por pavimentos inestables. (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Corrugación.** 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. (Tacza & Rodríguez 2018)

- **Depresión.** Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. 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 hidroplaneo. Los hundimientos a diferencia de las depresiones son las caídas bruscas del nivel. (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Grieta de borde.** Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60m 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). (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Grieta de reflexión de junta.** Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Portland. Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Portland, 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. (Tacza & Rodríguez 2018)
- **Vías Urbanas.** Son arterias o calles conformantes de un centro poblado, que no forman parte del Sistema Nacional de Carreteras las que se reglamentan por ordenanzas de los gobiernos locales. (MTC 2006)

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis



CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Al sistematizar los factores y/o agentes que favorecen el desgaste del pavimento rígido y flexible en vías urbanas se eligen los métodos de mantenimiento apropiados para evitar su desgaste prematuro.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a) Al identificar los tipos de fallas según la norma técnica peruana se pueden clasificar y categorizar dependiendo su intensidad.
- b) Al evaluar el estado del pavimento por distintos métodos se comparan y se elige el que mejor se adecúa a las necesidades del proyecto.
- c) Al tener una evaluación del estado del pavimento se puede elegir y proponer un mantenimiento preventivo para mantener su usabilidad.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Definición conceptual

Variables independientes:

- Desgaste prematuro
- IMD
- Tipos de vehículos

Variables dependientes:

- Propuestas de mantenimiento
- Tipos de mantenimiento de pavimento flexible
- Tipos de mantenimiento de pavimento rígido

Tabla 11. Operacionalización de las variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta
Desgaste de pavimento flexible	Consiste en alteraciones o deterioros producidos en la superficie del pavimento, las cuales perjudican la comodidad, rapidez y seguridad, tanto del tránsito vehicular como peatonal	El desgaste se puede dar por la fatiga de la carpeta debido al constante uso del pavimento, así como por su envejecimiento	Fallas operacionales	Fallas por tracción	Agrietamiento	Área	m ²	Formatos del manual ASTM D6433-07	Manual ASTM D6433-07
		También es posible que se presente un desgaste por el mal uso o mal diseño de las capas del pavimento, estas se pueden dar en cualquier momento	Fallas estructurales	Fallas por compresión	Ahuellamiento o hundimiento	Área	m ²		
Mantenimiento de pavimento flexible	Consiste en un plan que describe los procedimientos para los trabajos de mantenimiento rutinario en este tipo de pavimento.	El tipo de mantenimiento dependerá de las fallas que se encuentren en el pavimento.	Tipo de falla	Falla superficial	Grietas y fisuras	Área	m ²	Formatos del manual ASTM D6433-07	Manual de carreteras del MTC
				Falla profunda	Ahuellamiento o hundimiento	Área	m ²		
		Cada tipo de procedimiento de identificación de daños y fallas en el pavimento permitirá elegir el más apropiado dependiendo el lugar, fecha, condiciones climatológicas y tránsito vehicular así como accesibilidad a la zona del proyecto.	Tipo de método para identificar las fallas.	PCI / VIZIR	Fallas en el pavimento.	Área y/o largo.	m / m ²	Formatos del manual ASTM D6433-07 / Formatos del manual MTC	Manual ASTM D6433-07 / Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial del MTC.
				Dron fotogramétrico		Área y/o largo.	m / m ²		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.

4.1. Método de la investigación

El método a usarse en esta investigación es el deductivo, identificando y reconociendo las variables, organizándolas y hallando posibles soluciones (hipótesis) mediante una investigación de la avenida Villa María en el distrito de Villa María del Triunfo. Se evalúa la avenida en kilómetros lineales, así como el deterioro que presenta en datos porcentuales, ya sean fisuras, agrietamientos, deterioros superficiales, baches y otros que encontremos en el momento de la evaluación. Además, tiene un enfoque cualitativo, ya que se identifica el tipo de vehículos que transitan por la zona, datos que se expresaran en cantidades (cuantitativo) para luego proponer procedimientos o técnicas de mantenimiento de la vía (cualitativo). Toda esta recopilación de datos e información pasa a una posterior sistematización en el software ArcGIS con una elaboración de mapas temáticos que nos ayuda a encontrar soluciones para los problemas encontrados en campo.

4.2. Tipo de la investigación

La investigación a realizar es de tipo descriptiva además de correlacional y explicativo, partiremos de la observación en el campo de la situación actual del pavimento, relacionándolo con una situación pasada. También se describirá la tipología de vehículos que transitan por la zona. Relacionando siempre la variable independiente con las dependientes.

4.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo ya que en este proyecto de investigación se busca proponer el método óptimo de mantenimiento de una vía mediante el uso de mapas temáticos, porcentaje de indicadores y cuadros comparativos.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es observacional además de transversal y retrospectivo, ya que los datos serán sacados de campo mediante técnicas de medición y luego se procederá a describir las variables. La información se obtiene en una fecha pasada con datos establecidos sin necesidad de mediciones adicionales. Es prospectivo ya que se recoge información que se estará monitoreando hasta el final de la investigación y retrospectivo debido a que se utiliza información obtenida y documentada en la web mediante Street View. A su vez el estudio del diseño es de causa-efecto (cohorte) porque evalúa la variable independiente (tipo de

mantenimiento) para encontrar una solución óptima al problema del proyecto de estudio.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Criterios de inclusión:

- Vías urbanas en el sector Cercado del distrito de Villa María del Triunfo
- Todos los vehículos que transitan por esa vía

Criterios de exclusión:

- Vías secundarias
- Vehículos menores que no signifiquen una carga considerable en la vía

La población de estudio son las vías urbanas de pavimento rígido y flexible del sector Cercado del distrito de Villa María del Triunfo (zona amarilla en la Figura 53).

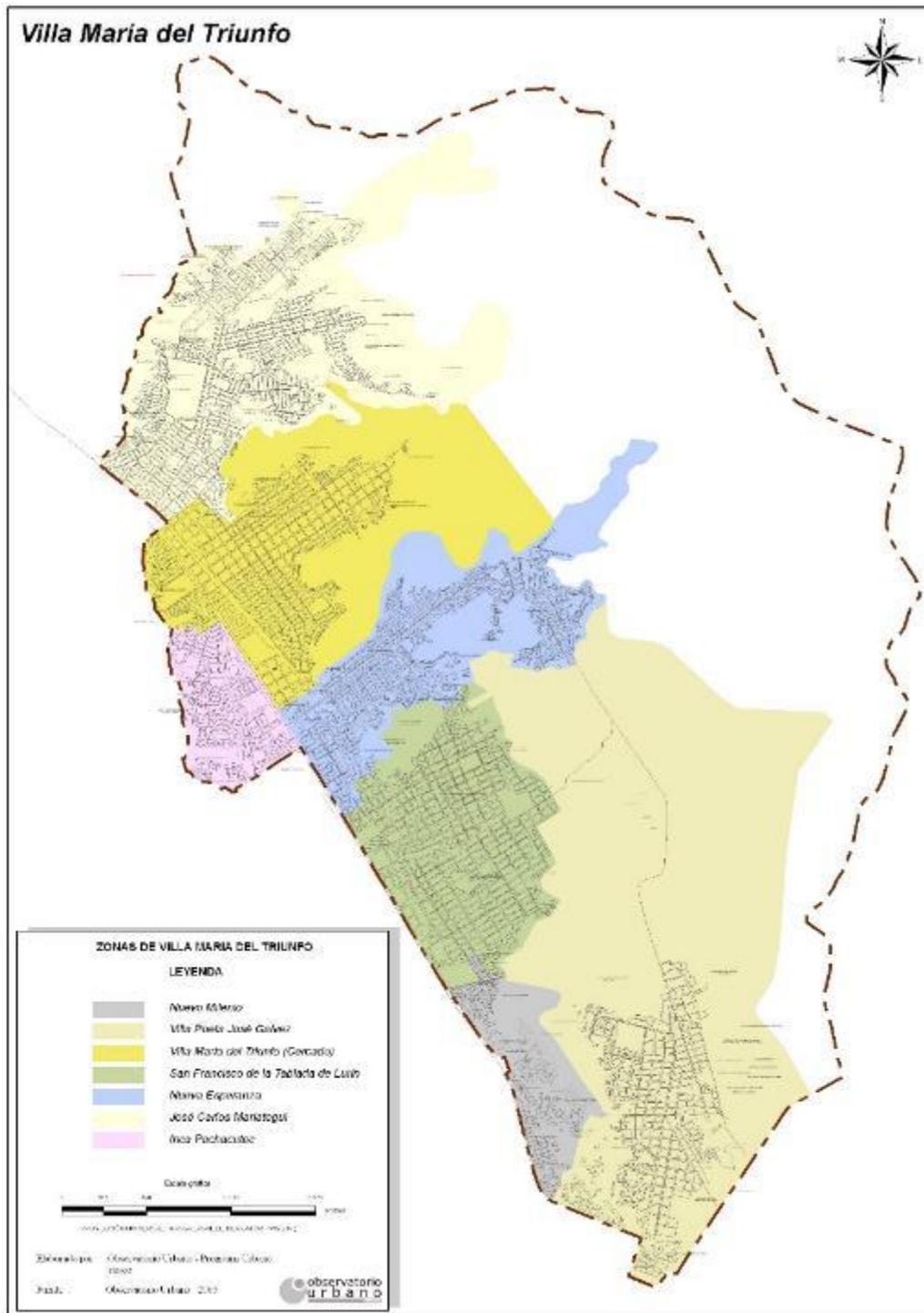


Figura 53. Zonas o sectores del distrito de Villa María del Triunfo. Fuente: <http://observatoriourbano.org.pe/project/zonas-de-vmt/>

4.5.2. Muestra

Se deriva de la población, eligiendo las avenidas o avenida.

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Instrumento de recolección de datos

Fotos y videos tomados en campo, fichas técnicas, Google Maps ®.

4.6.2. Métodos y técnicas

Se usará principalmente el modelamiento digital en ArcGIS luego de haber recopilado la información en el campo, procesando los datos para posteriormente hacer los mapas temáticos relacionándolo con bases de datos existentes en la web, nos centraremos además en el uso de material bibliográfico en su mayor parte digital, ya sean tesis con temas similares, revistas científicas, normas técnicas peruanas y artículos con información relacionada a nuestro tema de estudio. El trabajo de campo estará centrado en la toma de fotografías y videos principalmente.

4.7. Descripción de procesamientos de análisis

El procesamiento de los datos se llevará a cabo en el software ArcGIS mediante la creación de mapas temáticos, teniendo como apoyo el programa Microsoft Excel ®.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Recopilación de datos en campo

5.1.2. Obtención del IMD

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector Cercado del distrito de Villa María del Triunfo, se analizaron dos avenidas representativas:

- Av. Santa Rosa: avenida de pavimento flexible.
- Av. Villa María: avenida de pavimento rígido.

Según Yachiyo Engineering Co. Ltd. (2005) y la clasificación de vías urbanas del Instituto Metropolitano de Planificación se determina que:

- Av. Santa Rosa: vía local.
- Av. Villa María: vía colectora

Para hallar el IMD de la Av. Villa María se ubicaron tres estaciones de toma de datos que se muestran a continuación en la figura 54:

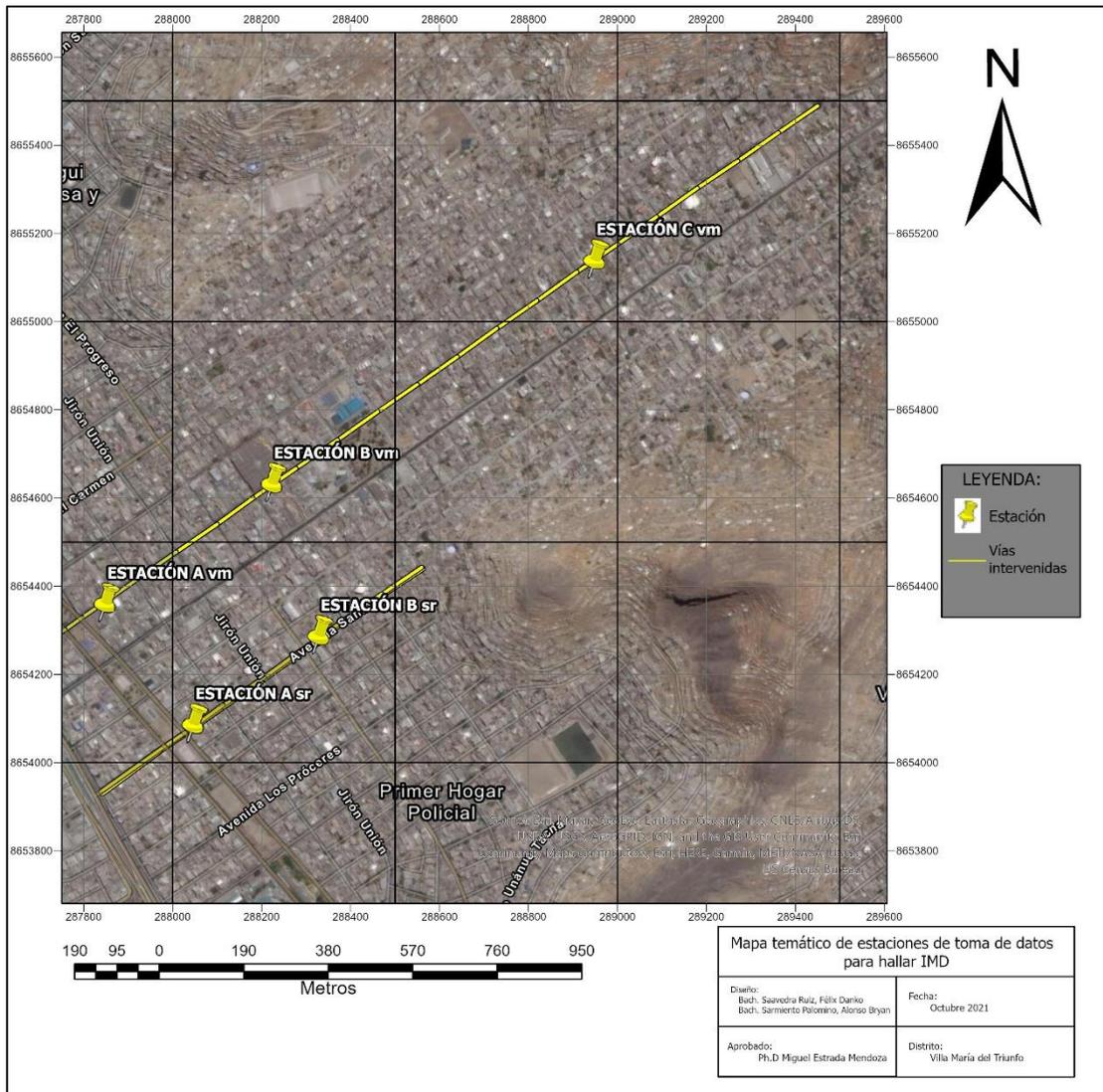


Figura 54. Mapa temático de las estaciones para toma de datos en la Av. Villa María y la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia usando ArcGIS Pro®.

Se registró el tipo y cantidad de vehículos en esas 3 estaciones en el transcurso de una semana con los resultados que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 12. Conteo de vehículos en la estación A en la Av. Villa María.

ESTACION A										
	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS			
DIA	MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION >2 EJES	
1	363	7097	2689	499	247	606	307	153	5	
2	259	7164	2633	392	138	502	207	61	4	
3	366	6437	2051	509	234	614	304	157	4	
4	263	7153	2652	386	131	503	209	76	2	
5	360	6505	2062	486	231	604	318	144	3	
6	267	7179	2650	384	117	503	208	62	4	
7	313	7472	2943	405	183	580	250	70	6	
IMDS	313	7001	2526	437	183	559	258	103	4	
FC	1									IMDA
IMDA	313	7001	2526	437	183	559	258	103	4	11384

Fuente: Elaboración propia.

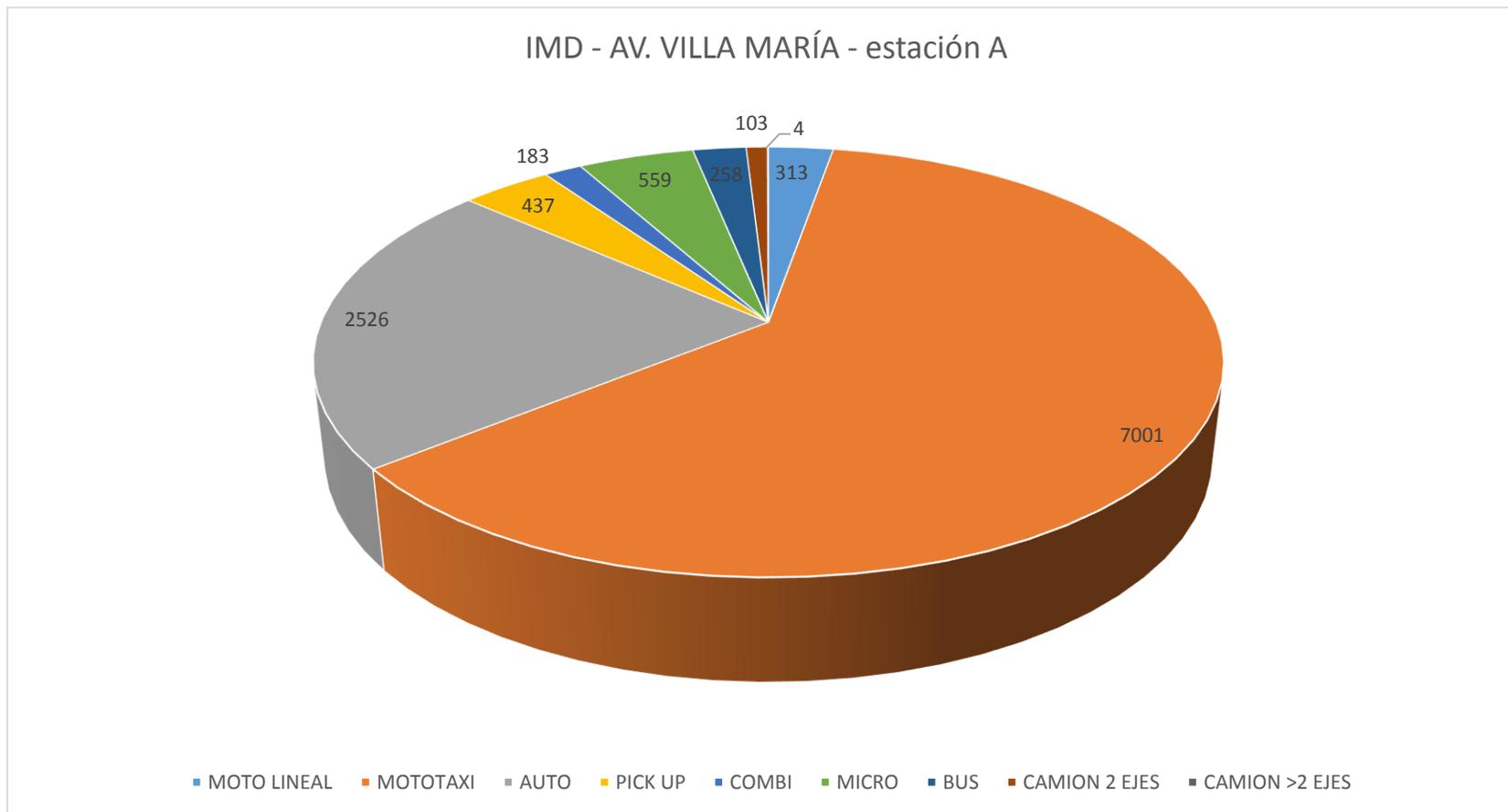


Figura 55. Distribución de vehículos para IMD en estación A de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Conteo de vehículos en la estación B en la Av. Villa María.

ESTACION B										
DIA	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS			
	MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION >2 EJES	
1	508	10936	2738	700	221	692	476	82	4	
2	499	10943	2745	692	695	469	231	83	2	
3	492	10877	2741	687	676	454	198	68	3	
4	452	11041	2823	616	697	471	245	75	4	
5	405	10971	2646	602	688	451	240	86	5	
6	404	10890	2644	600	659	434	226	80	3	
7	313	7472	2943	405	183	580	250	70	6	
IMDS	439	10447	2754	615	546	507	267	78	4	
FC	1									IMDA
IMDA	439	10447	2754	615	546	507	267	78	4	15657

Fuente: Elaboración propia

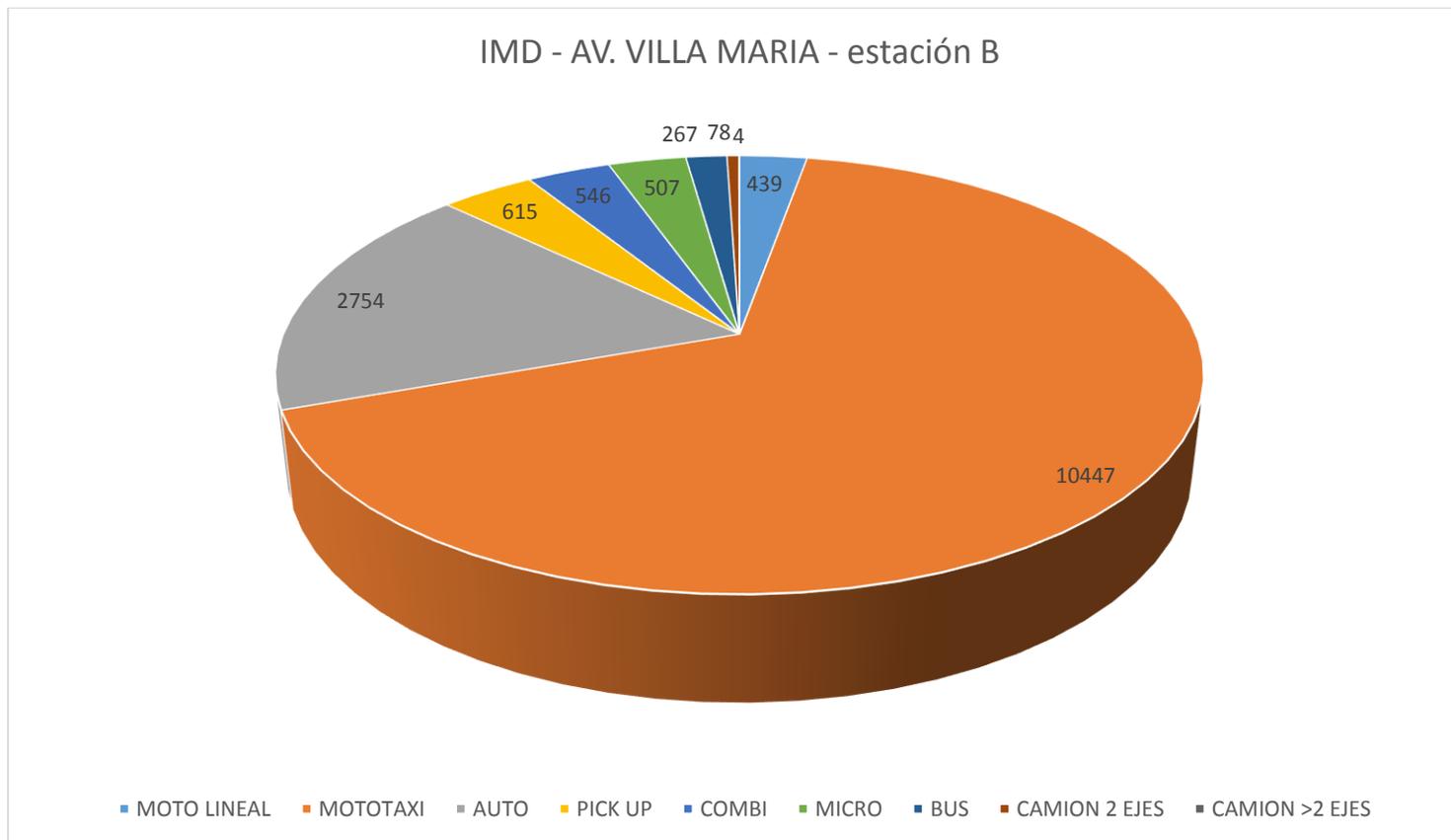


Figura 56. Distribución de vehículos para IMD en estación B de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Conteo de vehículos en la estación C en la Av. Villa María.

ESTACION C										
	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS			
DIA	MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION >2 EJES	
1	316	6832	2325	442	181	561	258	101	6	
2	339	6948	2381	498	193	572	282	115	3	
3	399	7247	2652	550	256	629	340	159	7	
4	296	6540	1969	413	138	521	238	87	5	
5	359	7224	2681	497	239	619	317	142	5	
6	261	6718	2098	383	131	509	211	62	3	
7	261	6718	2098	383	131	509	211	62	3	
IMDS	319	6890	2315	452	181	560	265	104	5	
FC	1									IMDA
IMDA	319	6890	2315	452	181	560	265	104	5	11091

Fuente: Elaboración propia.

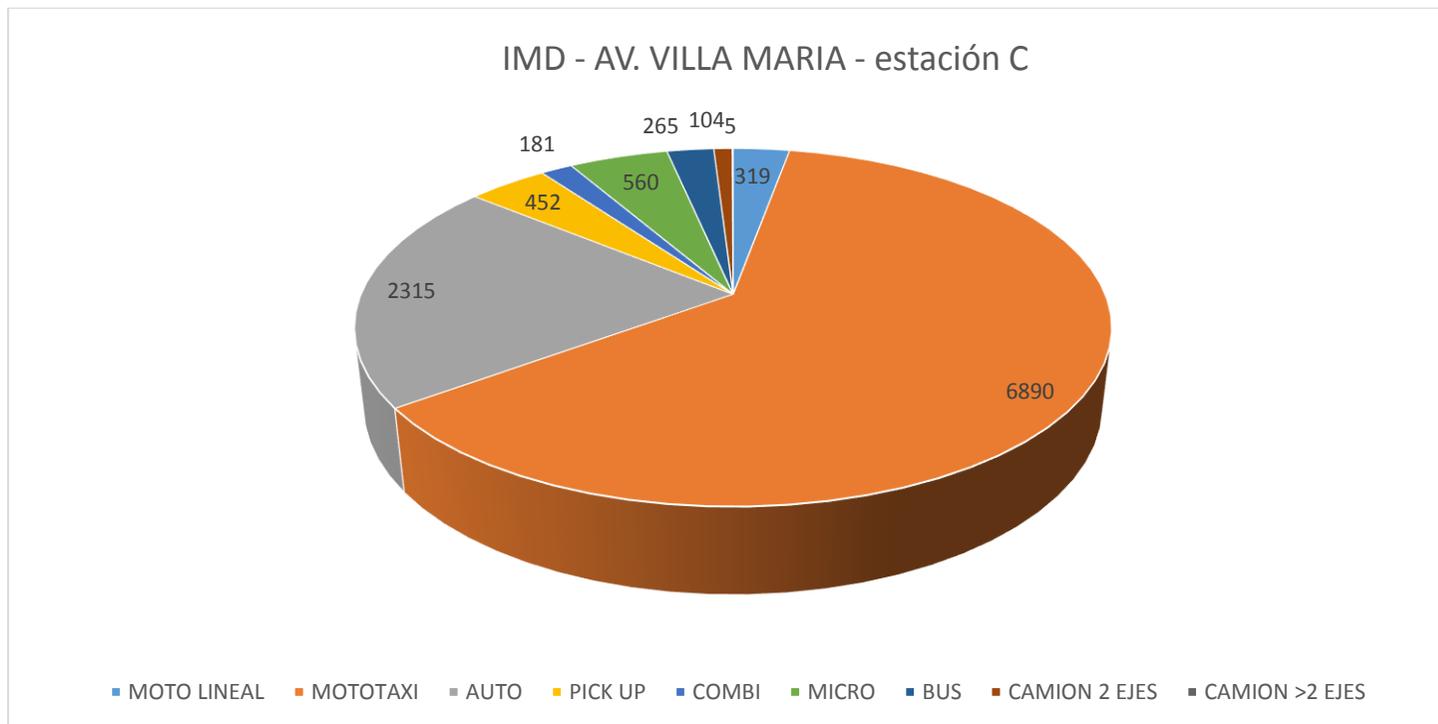


Figura 57. Distribución de vehículos para IMD en estación C de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el IMD de la Av. Santa Rosa que, a diferencia de la Av. Villa María, es una vía local por la cual transcurre una menor cantidad de vehículos, se ubicaron dos estaciones de toma de datos como se mostró en la Figura 54. Debido a su menor longitud con respecto a la Av. Villa María se ubicaron solo 2 estaciones para comparar ambos puntos. Se registraron el tipo y cantidad de vehículos en esas 2 estaciones en el transcurso de una semana con los resultados que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 15. Conteo de vehículos en la estación A en la Av. Santa Rosa.

ESTACION A										
	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS			
DIA	MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION >2 EJES	
1	34	786	169	94	20	5	5	16	4	
2	31	754	187	100	20	5	5	16	4	
3	28	732	194	83	27	6	7	13	6	
4	37	752	194	101	25	7	8	15	7	
5	52	755	226	94	24	4	13	15	9	
6	119	805	308	94	24	4	13	15	9	
7	146	833	321	108	38	5	8	13	5	
IMDS	64	774	228	96	25	5	8	15	6	
FC	1									IMDA
IMDA	64	774	228	96	25	5	8	15	6	1221

Fuente: Elaboración propia.

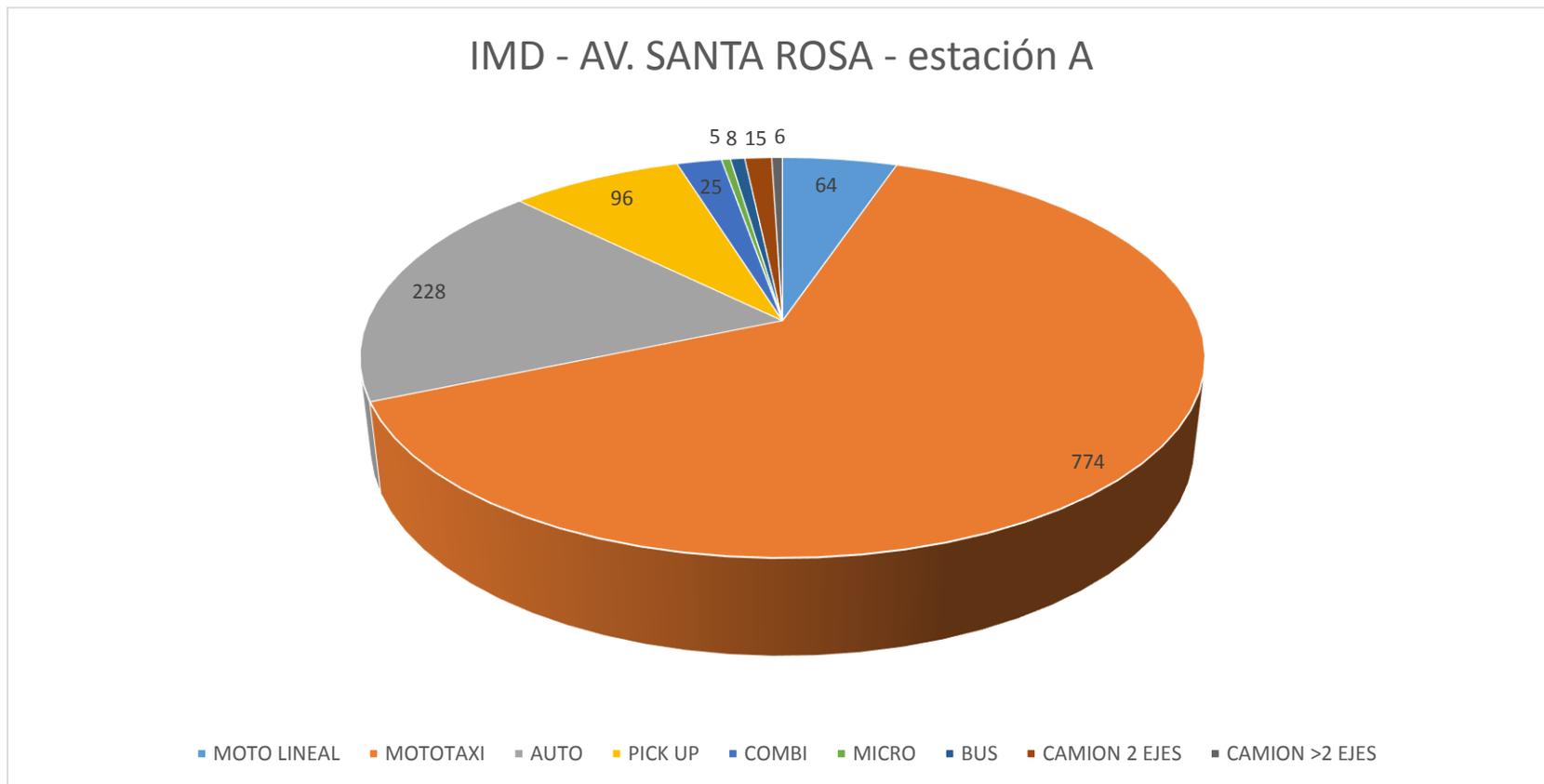


Figura 58. Distribución de vehículos para IMD en estación A de la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Conteo de vehículos en la estación B en la Av. Santa Rosa.

ESTACION B										
	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS			
DIA	MOTO LINEAL	MOTOTAXI	AUTO	PICK UP	COMBI	MICRO	BUS	CAMION 2 EJES	CAMION >2 EJES	
1	46	729	620	107	20	7	9	18	4	
2	53	734	610	118	25	8	9	24	6	
3	49	700	576	108	24	9	7	19	9	
4	41	776	615	112	27	8	8	14	7	
5	52	783	633	124	33	10	7	7	7	
6	70	912	638	143	39	17	10	14	10	
7	103	1018	696	172	56	15	10	8	10	
IMDS	59	807	627	126	32	11	9	15	8	
FC	1									IMDA
IMDA	59	807	627	126	32	11	9	15	8	1694

Fuente: Elaboración propia.

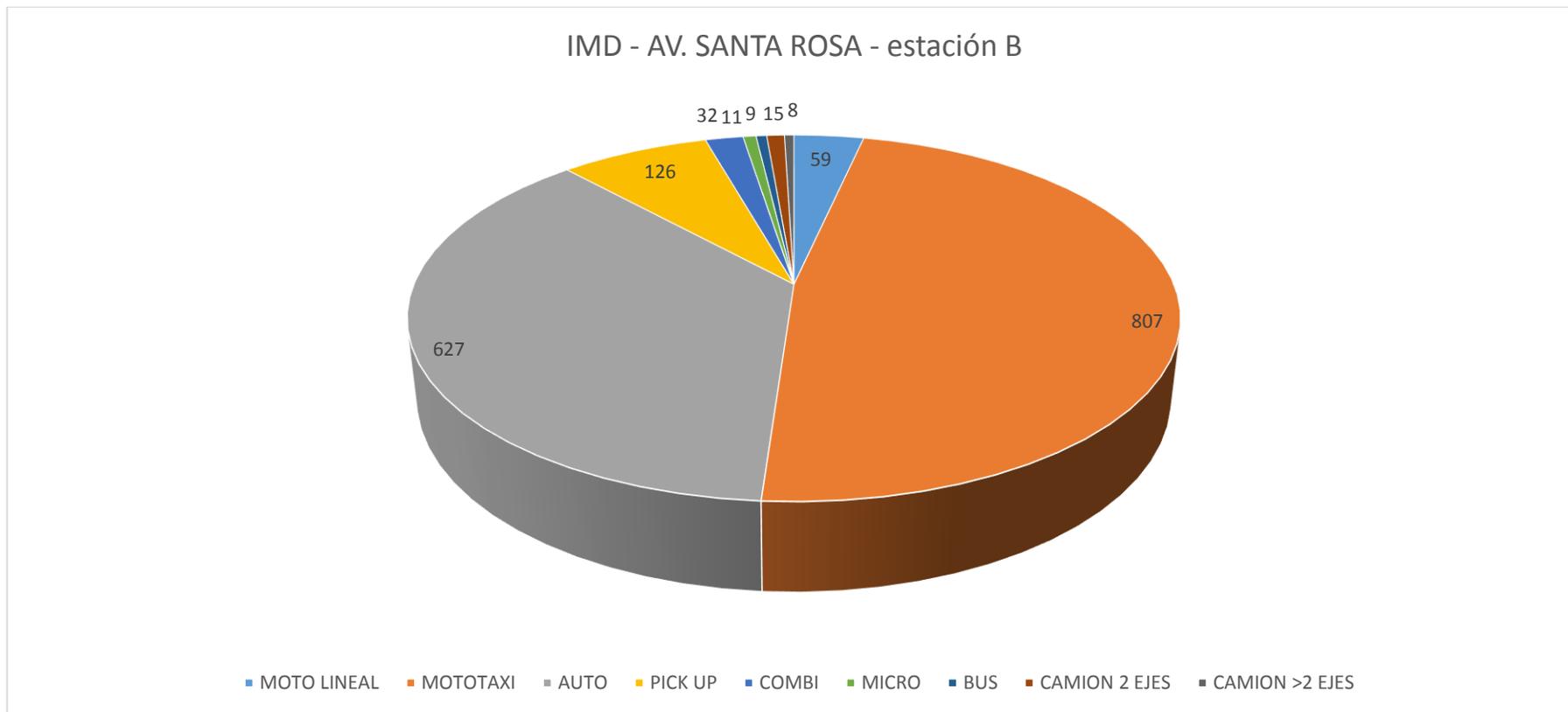


Figura 59. Distribución de vehículos para IMD en estación B de la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia.

Así mismo se halló el IMD de las vías transversales a ambas avenidas cuyos resultados se pueden ver en la siguiente tabla de resumen:

Tabla 17. IMD para vías transversales a las avenidas intervenidas.

VÍAS TRANSVERSALES	IMD
Jirón Santa Cruz	7461
Jirón Progreso	12025
Jirón Olaya	9542
Jirón Melgar	8957

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Cálculo del Índice de deterioro superficial (Is) por el método VIZIR.

Según Patarroyo (2019), el método VIZIR nos proporciona el índice de deterioro superficial del pavimento y es para uso exclusivo en pavimentos flexibles. Para la avenida Santa Rosa (pavimento flexible), hemos dividido el área a intervenir cada 100 metros lineales desde la progresiva 0 hasta la progresiva 0+879.45, los resultados del análisis se muestran a continuación:

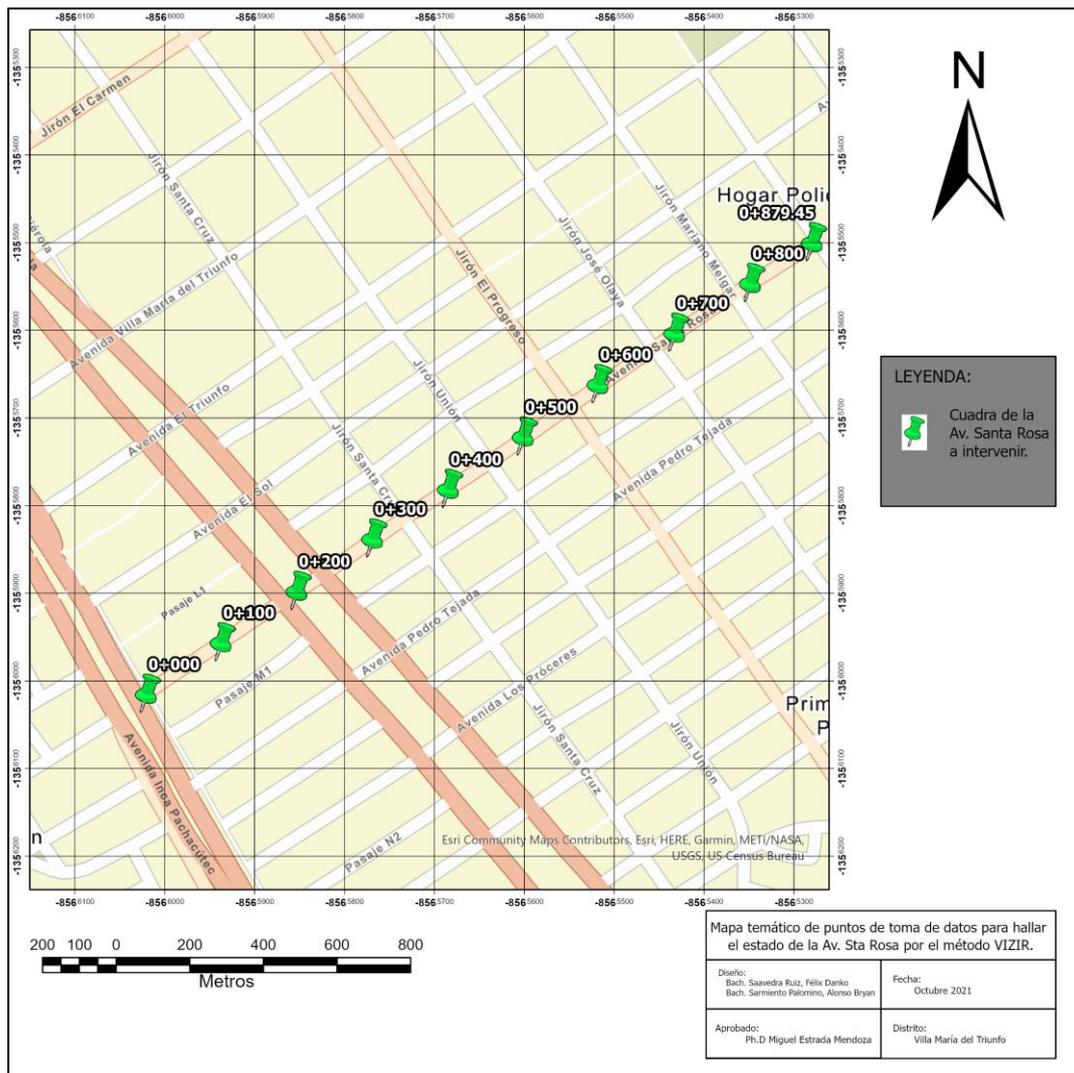


Figura 60. Mapa temático de puntos de toma de datos para hallar el estado de la Av. Sta. Rosa por el método VIZIR. Fuente: Elaboración propia usando el software ArcGIS Pro ®.

Tabla 18. Tramo 1 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 1							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	5	
	0	0+100	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	11.79	1.31%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	0.6	0.07%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		116.43	12.94%	3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Tramo 2 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 2							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	5	
	0+100	0+200	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	2.7	0.30%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	10.38	1.15%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		117.156	13.02%	3	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Tramo 3 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 3							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	5	
	0+200	0+300	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	22.22	2.47%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	2.7	0.30%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		96.265	10.70%	3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Tramo 4 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 4							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	5	
	0+300	0+400	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	4.66	0.52%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	2.28	0.25%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		113.8705	12.65%	3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Tramo 5 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 5							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	5	
	0+400	0+500	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	71.95	7.99%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	64.03	7.11%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		50.9265	5.66%	2	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Tramo 6 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 6							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	6	
	0+500	0+600	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	1.14	0.13%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	71.25	7.92%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X	X	96.45	10.72%	4	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Tramo 7 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 7							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	7	
	0+600	0+700	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	2.84	0.32%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	142.83	15.87%		4
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		131.968	14.66%	3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Tramo 8 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 8							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	900	5	
	0+700	0+800	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	9.05	1.01%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	2.55	0.28%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X	X		129.9595	14.44%	3	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Tramo 9 del análisis por el método VIZIR para la Av. Sta. Rosa.

TRAMO 9							
METODO VIZIR	PROGRESIVA		ANCHO DE LA VIA		AREA DEL TRAMO (m ²)	Is	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	715.05	5	
	0+800	0+879.45	9	9			
TIPO DE FALLA	Gravedad			Extensión		If	Id
	1	2	3	Área	Porcentaje		
Piel de cocodrilo	X	X	X	1.92	0.27%		3
Fisuras longitudinales	X	X	X	6.49	0.91%		3
Deformación por deficiencia estructural							
Ahuellamiento visco elástico							
Reparaciones o bacheo	X			48.8025	6.83%	1	

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del análisis tramo por tramo se tiene un cuadro de resumen mostrado en la Tabla 27 para el índice de deterioro superficial en cada tramo de la Av. Sta. Rosa.

Tabla 27. Resumen del índice de deterioro superficial de la Av. Sta. Rosa.

	PROGRESIVAS		Is	CALIFICACION
TRAMO 1	0	0+100	5	Malo
TRAMO 2	0+100	0+200	5	Malo
TRAMO 3	0+200	0+300	5	Malo
TRAMO 4	0+300	0+400	5	Malo
TRAMO 5	0+400	0+500	6	Malo
TRAMO 6	0+500	0+600	6	Malo
TRAMO 7	0+600	0+700	7	Malo
TRAMO 8	0+700	0+800	5	Malo
TRAMO 9	0+800	0+879.45	5	Malo

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Análisis de la condición del pavimento de la avenida Villa María.

Según detalla el MTC (2016) en el Manual de Inventarios Viales, existe una clasificación de daños que sirven como indicadores para el diagnóstico de la condición del pavimento rígido, estos daños representativos están basados en la lista del método AASHTO. De la lista de 12 tipos de daños en pavimento rígido listadas en el manual, se muestran las fallas más críticas y por ende las que, con mayor urgencia requieren algún tipo de mantenimiento, ya sea de conservación rutinaria o de conservación periódica.

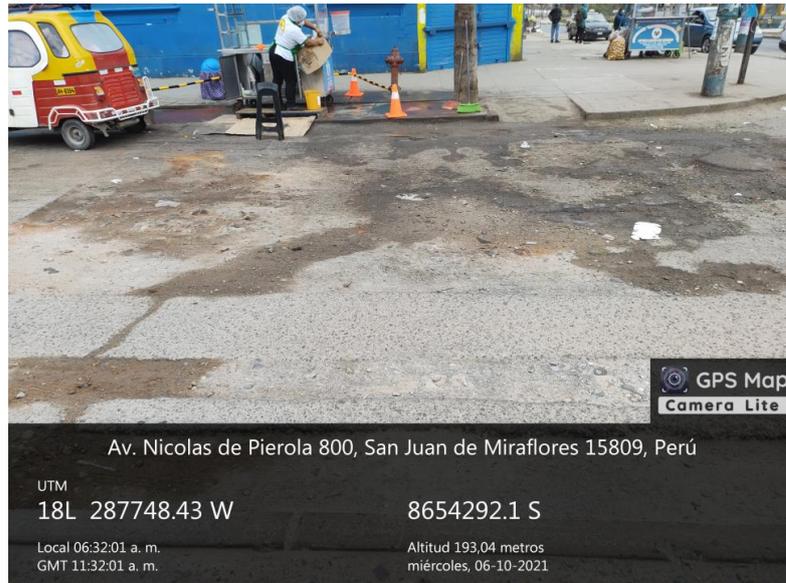


Figura 61. Cuadra 1 de la Av. Villa María. Desprendimiento severo, fisuras y huecos. Fuente: Propia con uso de la aplicación GPS Map Camera Lite.

Para el daño que se aprecia en la Figura 61 según el MTC (2016) indica que la medida correctiva a tomar es de reconstrucción de la losa, apreciándose un daño severo en la losa de concreto hasta verse afectada parte de la base del pavimento.



Figura 62. Cuadra 6 de la Av. Villa María. Desprendimiento del bacheo. Fuente: Propia con uso de la aplicación GPS Map Camera Lite.

Para el daño que se aprecia en la Figura 62 según el MTC (2016) se puede realizar un nuevo bacheo en la zona afectada.



Figura 63. Cuadra 4 de la Av. Villa María. Fisuras longitudinales, oblicuas y transversales. Fuente: Propia con uso de la aplicación GPS Map Camera Lite.

Para las fisuras mostradas en la Figura 63, el MTC (2016) recomienda el sellado de las mismas, aunque como son fisuras con un ancho menor a 1 mm el manual también recomienda que pueden quedar sin acción momentáneamente.



Figura 64. Cuadra 5 de la Av. Villa María. Fisura de esquina. Fuente: Propia con uso de la aplicación GPS Map Camera Lite.

Para la fisura de esquina mostrada en la Figura 64, el MTC (2016) recomienda el sellado de la misma



Figura 65. Cuadra 5 de la Av. Villa María. Fisura transversal. Fuente: Propia con uso de la aplicación GPS Map Camera Lite.

Para la fisura transversal mostrada en la Figura 65, el MTC (2016) recomienda un sellado de la misma.



Figura 66. Cuadra 2 de la Av. Villa María. Huevo y daño severo en el pavimento. Fuente: Propia con uso de la aplicación GPS Map Camera Lite.

Para el hueco que se muestra en la Figura 66, el MTC (2016) recomienda una reconstrucción de la losa de concreto en el tramo afectado.

5.1.4. Análisis de la condición del pavimento de la avenida Villa María por el método del PCI.

Analizando las 20 cuadras que componen la avenida Villa María por el método de “Pavement Condition Index” (PCI) para pavimento rígido regulado por la “American Society for Testing and Materials” (ASTM) en su norma D 6433 – 9903 y recomendada por el Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial elaborado por el MTC (2018) se muestra un resumen de la evaluación:

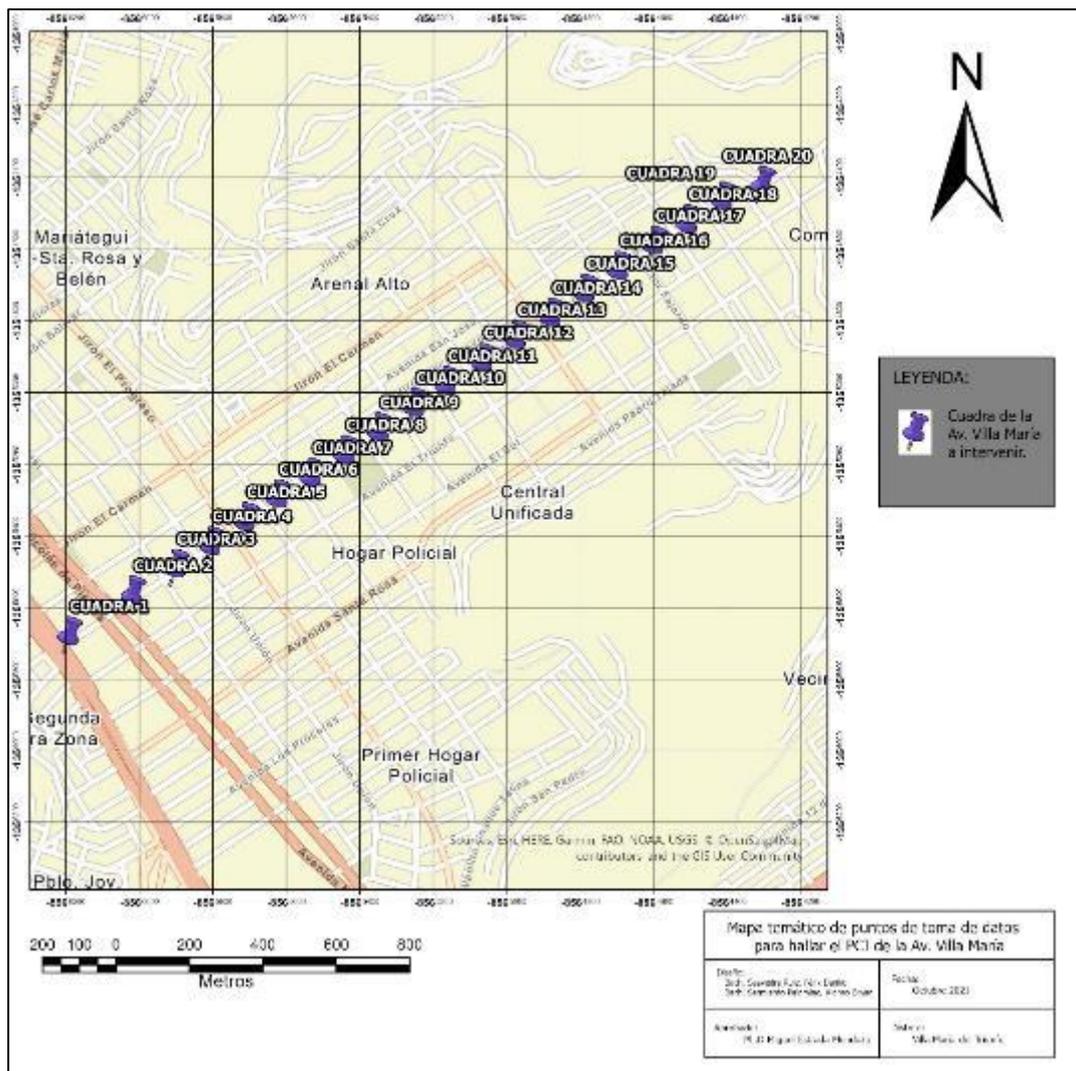


Figura 67. Mapa temático de puntos de toma de datos para hallar el PCI de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia usando ArcGIS Pro ®.

Tabla 28. Análisis cuadra 1 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 1					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	38					
22	L	18	47.3684211	36						
28	M	16	42.1052632	25						
30	L	6	15.7894737	0						
31		10	26.3157895	5						
36	H	2	5.26315789	12						
38	M	26	68.4210526	19						
maximo numero permisible de deducciones (m)				6.88						
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos						Total	q	CDV	
1	36	25	19	12	5	0	97	6	48	
2	36	25	19	12	5	2	99	5	53	
3	36	25	19	12	2	2	96	4	55	
4	36	25	19	2	2	2	86	3	54	
5	36	25	2	2	2	2	69	2	51	
6	36	2	2	2	2	2	46	1	47	
								Max CDV	55	
PCI	45									
ESTADO	REGULAR									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Análisis cuadra 2 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 2					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	48					
22	L	26	54.17	39						
28	L	30	62.50	21						
29	L	6	12.50	3						
30	M	10	20.83	4						
31		36	75.00	9						
36	L	4	8.33	2						
36	M	2	4.17	4						
maximo numero permisible de deducciones (m)					6.6					
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV
1	39	21	9	4	4	3	2	82	7	37
2	39	21	9	4	4	3	2	82	6	37
3	39	21	9	4	4	2	2	81	5	41
4	39	21	9	4	2	2	2	79	4	46
5	39	21	9	2	2	2	2	77	3	47
6	39	21	2	2	2	2	2	70	2	51
7	39	2	2	2	2	2	2	51	1	51
									Max CDV	51
PCI	49									
ESTADO	REGULAR									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Análisis cuadra 3 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 3					total losas							
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36							
22	L	16	44.44	34								
23	L	4	11.11	11								
26	L	6	16.67	12								
30	L	6	16.67	0								
31		14	38.89	6								
36	L	18	50.00	9								
38	L	20	55.56	11								
maximo numero permisible de deducciones (m)				7.06								
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO												
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV		
1	34	12	11	11	9	6	0	83	7	37		
2	34	12	11	11	9	6	2	85	6	41		
3	34	12	11	11	9	2	2	81	5	42		
4	34	12	11	11	2	2	2	74	4	43		
5	34	12	11	2	2	2	2	65	3	42		
6	34	12	2	2	2	2	2	56	2	41		
7	34	2	2	2	2	2	2	46	1	44		
									Max CDV	44		
PCI	56											
ESTADO	BUENO											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Análisis cuadra 4 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 4					total losas
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36
22	L	20	55.56	40	
28	L	24	66.67	26	
28	M	6	16.67	12	
30	L	6	16.67	0	
31		4	11.11	2	
36	L	12	33.33	7	
36	M	10	27.78	17	
38	L	20	55.56	11	
39	M	16	44.44	17	
maximo numero permisible de deducciones (m)				6.51	

OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO											
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV	
1	40	26	17	17	11	7	1.02	119.02	7	56	
2	40	26	17	17	11	7	2	120	6	56	
3	40	26	17	17	11	2	2	115	5	60	
4	40	26	17	17	2	2	2	106	4	60	
5	40	26	17	2	2	2	2	91	3	57	
6	40	26	2	2	2	2	2	76	2	55	
7	40	2	2	2	2	2	2	52	1	52	
									Max CDV	60	

PCI	40
ESTADO	REGULAR

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Análisis cuadra 5 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 5					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36					
22	L	16	44.44	34						
22	M	8	22.22	31						
28	L	28	77.78	22						
28	M	6	16.67	12						
30	M	4	11.11	2						
31		30	83.33	9						
maximo numero permisible de deducciones (m)				7.06						
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV
1	34	31	22	12	9	2		110	6	53
2	34	31	22	12	9	2		110	5	53
3	34	31	22	12	2	2		103	4	57
4	34	31	22	2	2	2		93	3	57
5	34	31	2	2	2	2		73	2	53
6	34	2	2	2	2	2		44	1	44
									Max CDV	57
PCI	43									
ESTADO	REGULAR									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Análisis cuadra 6 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 6					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36					
30	L	12	33.33	2						
31	L	12	33.33	5						
31	M	14	38.89	6						
36	L	10	27.78	6						
maximo numero permisible de deducciones (m)				9.63						
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos						Total	q	CDV	
1	6	6	5	2			19	4	5	
2	6	6	5	2			19	3	9	
3	6	6	2	2			16	2	11	
4	6	2	2	2			12	1	12	
5										
6										
								Max CDV	12	
PCI	88									
ESTADO	EXCELENTE									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Análisis cuadra 8 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 8					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36					
28	L	4	11.11	0						
30	M	2	5.56	7						
38	L	12	33.33	6						
maximo numero permisible de deducciones (m)				8.71						
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos						Total	q	CDV	
1	7	6	0				13	3	4	
2	7	6	2				15	2	11	
3	7	2	2				11	1	11	
4										
5										
6										
								Max CDV	11	
PCI	89									
ESTADO	EXCELENTE									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Análisis cuadra 12 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 12					total losas						
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36						
22	L	14	38.89	31							
28	L	10	27.78	14							
29	L	8	22.22	7							
30	M	12	33.33	7							
31		28	77.78	9							
36	L	20	55.56	9							
38	L	28	77.78	12							
maximo numero permisible de deducciones (m)				7.33							
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO											
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV	
1	31	14	12	9	9	7	7	89	7	43	
2	31	14	12	9	9	7	2	84	6	41	
3	31	14	12	9	9	2	2	79	5	41	
4	31	14	12	9	2	2	2	72	4	40	
5	31	14	12	2	2	2	2	65	3	42	
6	31	14	2	2	2	2	2	55	2	41	
7	31	2	2	2	2	2	2	43	1	43	
									Max CDV	43	
PCI	57										
ESTADO	BUENO										

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Análisis cuadra 13 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 13					total losas						
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36						
22	L	18	50.00	37							
28	L	14	38.89	17							
29	L	8	22.22	8							
30	L	10	27.78	2							
31		20	55.56	7							
36	L	18	50.00	9							
maximo numero permisible de deducciones (m)				6.79							
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO											
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV	
1	37	17	9	8	7	2		80	6	36	
2	37	17	9	8	7	2		80	5	41	
3	37	17	9	8	2	2		75	4	43	
4	37	17	9	2	2	2		69	3	44	
5	37	17	2	2	2	2		62	2	45	
6	37	2	2	2	2	2		47	1	47	
7											
PCI	53										
ESTADO	REGULAR										

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Análisis cuadra 14 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 14					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36					
22	L	26	72.22	75						
28	L	28	77.78	22						
29	L	18	50.00	19						
30	M	10	27.78	5						
31		20	55.56	8						
38	L	12	33.33	6						
39	L	8	22.22	5						
maximo numero permisible de deducciones (m)				3.3						
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos					Total	q	CDV		
1	75	22	19	2.4		118.4	4	66		
2	75	22	19	2		118	3	73		
3	75	22	2	2		101	2	70		
4	75	2	2	2		81	1	81		
5										
6										
7										
							Max CDV	81		
PCI	19									
ESTADO	MUY MALO									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Análisis cuadra 15 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 15					total losas						
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36						
22	L	10	27.78	22							
28	L	14	38.89	16							
30	L	16	44.44	3							
31		4	11.11	2							
maximo numero permisible de deducciones (m)				8.16							
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO											
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV	
1	22	16	3	2			43	4	16		
2	22	16	3	2			43	3	26		
3	22	16	2	2			42	2	29		
4	22	2	2	2			28	1	28		
5											
6											
7											
								Max CDV	29		
PCI	71										
ESTADO	MUY BUENO										

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Análisis cuadra 16 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 16					total losas							
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36							
22	M	16	44.44	49								
23	M	4	11.11	22								
29	L	10	27.78	10								
30	L	12	33.33	2								
31		8	22.22	4								
maximo numero permisible de deducciones (m)				5.68								
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO												
Nº	Valores deducidos						Total	q	CDV			
1	49	22	10	4	2		87	5	44			
2	49	22	10	4	2		87	4	50			
3	49	22	10	2	2		85	3	54			
4	49	22	2	2	2		77	2	56			
5	49	2	2	2	2		57	1	57			
6												
7												
								Max CDV	57			
PCI	43											
ESTADO	REGULAR											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Análisis cuadra 17 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 17					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36					
29	L	6	16.67	5						
30	L	8	22.22	2						
31		12	33.33	6						
maximo numero permisible de deducciones (m)				9.63						
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV
1	6	5	2				13	3	3	
2	6	5	2				13	2	9	
3	6	2	2				10	1	10	
4										
5										
6										
7										
								Max CDV	10	
PCI	90									
ESTADO	EXCELENTE									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Análisis cuadra 19 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 19					total losas						
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36						
22	L	18	50.00	37							
28	M	28	77.78	33							
30	L	22	61.11	3							
31		26	72.22	8							
36	L	10	27.78	5							
38	M	18	50.00	10							
maximo numero permisible de deducciones (m)				6.79							
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO											
Nº	Valores deducidos							Total	q	CDV	
1	37	33	10	8	5	3	96	6	46		
2	37	33	10	8	5	2	95	5	49		
3	37	33	10	8	2	2	92	4	53		
4	37	33	10	2	2	2	86	3	55		
5	37	33	2	2	2	2	78	2	57		
6	37	2	2	2	2	2	47	1	47		
7											
										Max CDV	57
PCI	43										
ESTADO	REGULAR										

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Análisis cuadra 20 de la Av. Villa María por el método del PCI.

CUADRA 20					total losas					
Daño	Severidad	Nº LOSAS	Densidad	DEDUCIDO	36					
22	M	28	77.78	60						
23	L	10	27.78	26						
28	M	30	83.33	35						
29	L	22	61.11	21						
30	M	12	33.33	7						
31		20	55.56	7						
36	L	16	44.44	8						
38	L	24	66.67	11						
39	L	14	38.89	8						
maximo numero permisible de deducciones (m)					4.67					
OBTENCION DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO										
Nº	Valores deducidos						Total	q	CDV	
1	60	35	26	21	7.37	149.37	5	76		
2	60	35	26	21	2	144	4	81		
3	60	35	26	2	2	125	3	77		
4	60	35	2	2	2	101	2	71		
5	60	2	2	2	2	68	1	68		
6										
7										
							Max CDV	81		
PCI	19									
ESTADO	MUY MALO									

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Análisis de los datos recopilados

5.2.2. Descripción de la zona del proyecto

El presente trabajo se realizó en toda la extensión de las avenidas Villa María y Santa Rosa, las cuales se encuentran ubicadas en el sector Cercado del distrito de Villa María del Triunfo.

Para la comparación de resultados de la toma de datos se tomarán en cuenta zonas críticas de la avenida Santa Rosa como de la avenida Villa María que presenten daños severos en la carpeta de rodadura.

5.2.3. Procesamiento de fotos en el software Pix4Dmapper®

Las fotos obtenidas con el dron fueron procesadas usando el programa Pix4Dmapper® siguiendo tres pasos guiados por el mismo software. El objetivo de este procesamiento de datos es la obtención de un MDS (modelo digital de superficie), un ortomosaico y un índice, pudiendo trabajarse en otro software con estos resultados obtenidos, para nuestro caso en ArcgisPro®.

5.2.4. Primer paso de procesamiento en Pix4Dmapper

El primer paso consiste en insertar las fotos georreferenciadas y crear un modelo de la zona intervenida en el programa. Al finalizar este paso se crea un reporte de calidad con información pertinente para la zona de estudio:

Tabla 48. Resumen del procesamiento en Pix4Dmapper para la Av. Villa María.

Project	tesis
Processed	2021-10-22 14:14:51
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.95 cm / 0.77 in
Area Covered	0.329 km ² / 32.8707 ha / 0.13 sq. mi. / 81.2672 acres
Time for Initial Processing (without report)	25m.33s

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper®.

Tabla 49. Chequeo de calidad.

📷 Images	median of 30717 keypoints per image	✔️
📁 Dataset	308 out of 310 images calibrated (99%), all images enabled	✔️
📷 Camera Optimization	0.19% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔️
🔍 Matching	median of 11107.9 matches per calibrated image	✔️
📍 Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠️

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper®.



Figura 68. Vista previa – Ortomosaico y el correspondiente modelo de superficie digital dispersa (DSM) antes de la densificación. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper®.

Tabla 50. Detalles de calibración.

Number of Calibrated Images	308 out of 310
Number of Geolocated Images	310 out of 310

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper®.

La línea verde sigue las posiciones de las imágenes en el tiempo empezando en el punto azul mayor.

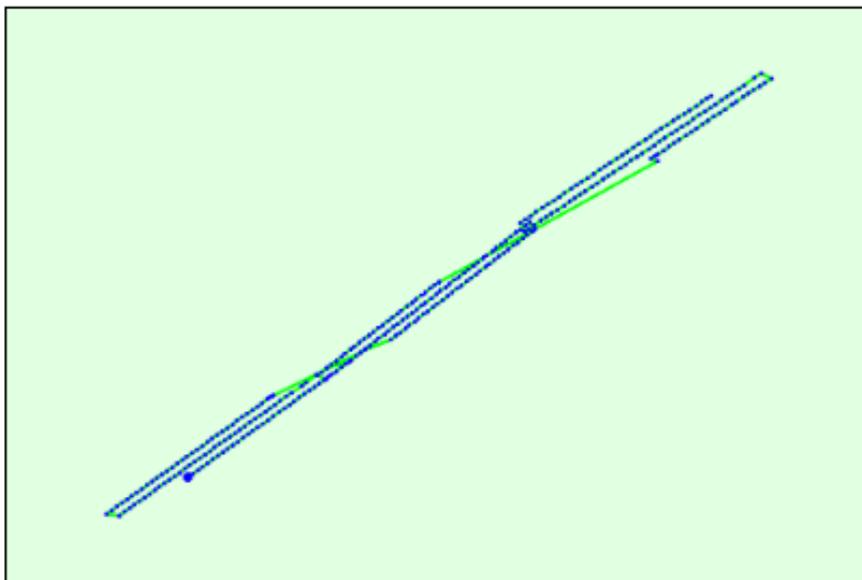


Figura 69. Posiciones iniciales de las fotos – Vista en planta. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Desplazamiento entre las posiciones de la imagen inicial (puntos azules) y calculadas (puntos verdes), así como el desplazamiento entre las posiciones iniciales de los GCP (cruces azules) y sus posiciones calculadas (cruces verdes) en la vista superior (plano XY), vista frontal (Plano XZ) y vista lateral (plano YZ). Los puntos rojos indican imágenes desactivadas o no calibradas. Las elipses de color verde oscuro indican la incertidumbre de la posición absoluta del resultado del ajuste del bloque de haz.

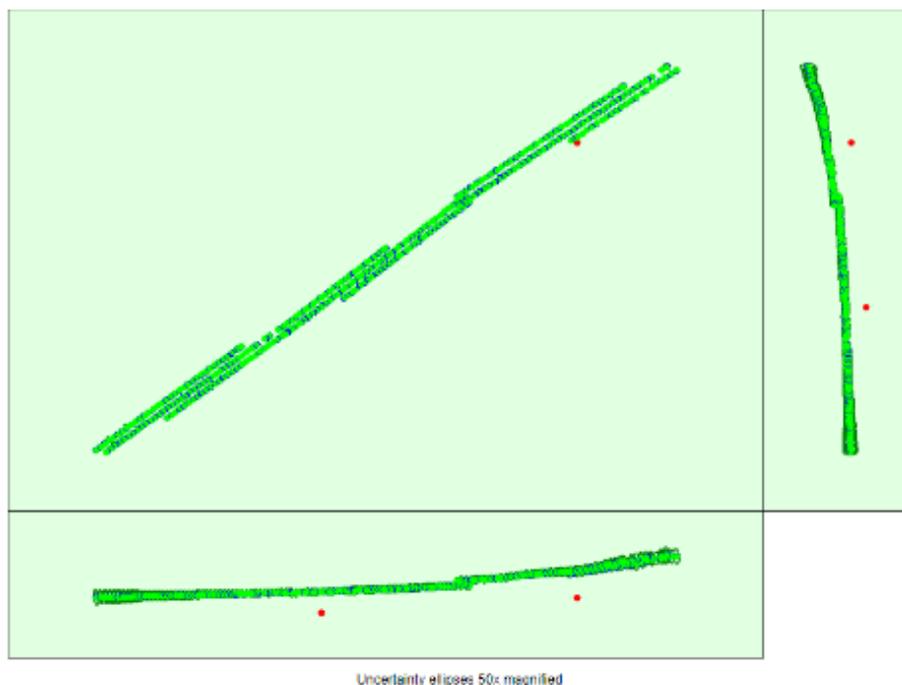


Figura 70. Imágenes calculadas/GCPs/Posiciones manuales de los puntos de amarre.
Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 51. Incertidumbres absolutas de posición y orientación de la cámara.

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.127	0.127	0.277	0.044	0.047	0.011
Sigma	0.028	0.027	0.065	0.005	0.004	0.002

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico. Las áreas rojas y amarillas indican un solapamiento bajo por lo que se pueden generar resultados deficientes. Las áreas verdes indican una superposición de más de 5 imágenes por cada píxel. Se generarán resultados de buena calidad siempre que el número de coincidencias de puntos clave también sea suficiente para estas áreas (consulte la Tabla 55 para ver las coincidencias de puntos clave).

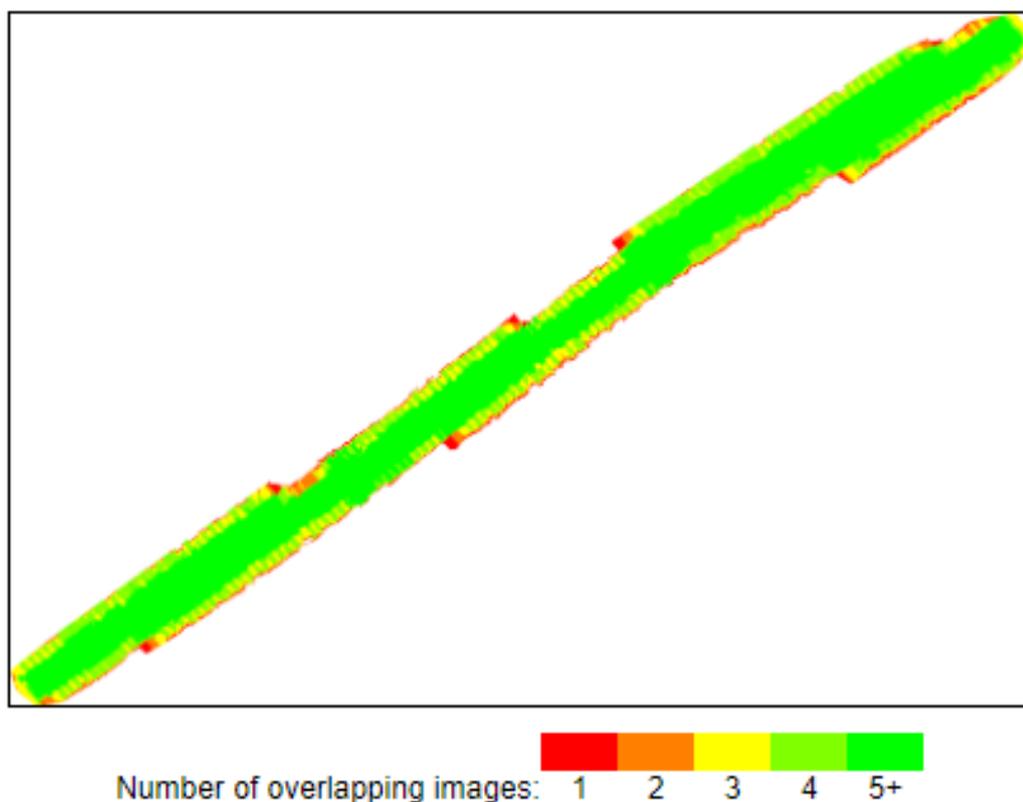


Figura 71. Superposición - Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 52. Detalles del ajuste del bloque de paquetes

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3461853
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1293759
Mean Reprojection Error [pixels]	0.176

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 53. Parámetros internos de la cámara.

FC6310_8.8_4864x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 11.407 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310_8.8_4864x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3666.955 [pixel] 8.600 [mm]	2432.001 [pixel] 5.704 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.004	-0.017	0.019	-0.000	0.000
Optimized Values	3674.232 [pixel] 8.617 [mm]	2438.840 [pixel] 5.720 [mm]	1828.265 [pixel] 4.288 [mm]	0.005	-0.023	0.023	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	2.729 [pixel] 0.006 [mm]	0.076 [pixel] 0.000 [mm]	0.112 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

El blanco indica una correlación completa entre los parámetros, es decir, cualquier cambio en uno puede ser compensado completamente por el otro. El negro indica que el parámetro es completamente independiente y no se ve afectado por otros parámetros.

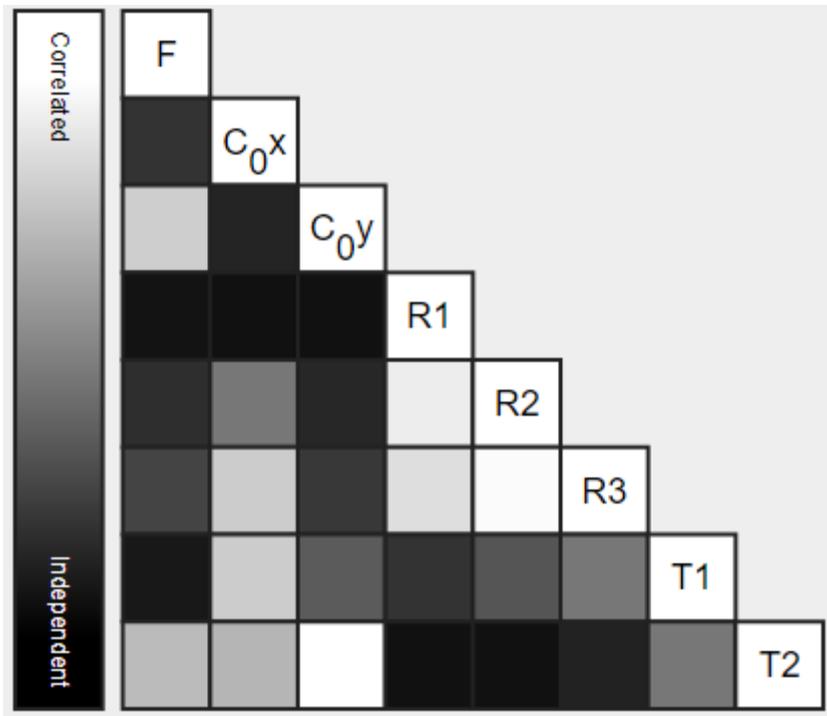


Figura 72. La correlación entre los parámetros internos de la cámara determinada por el ajuste del paquete. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper®.

El número de puntos de enlace automático (ATP) por píxel, promediado sobre todas las imágenes del modelo de cámara, está codificado por colores entre blanco y negro. El blanco indica que, en promedio, se han extraído más de 16 ATP en la ubicación del píxel. El negro indica que, en promedio, se han extraído 0 ATP en la ubicación del píxel. Haga clic en la imagen para ver la dirección promedio y la magnitud del error de reproyección para cada píxel. Tenga en cuenta que los vectores están escalados para una mejor visualización.

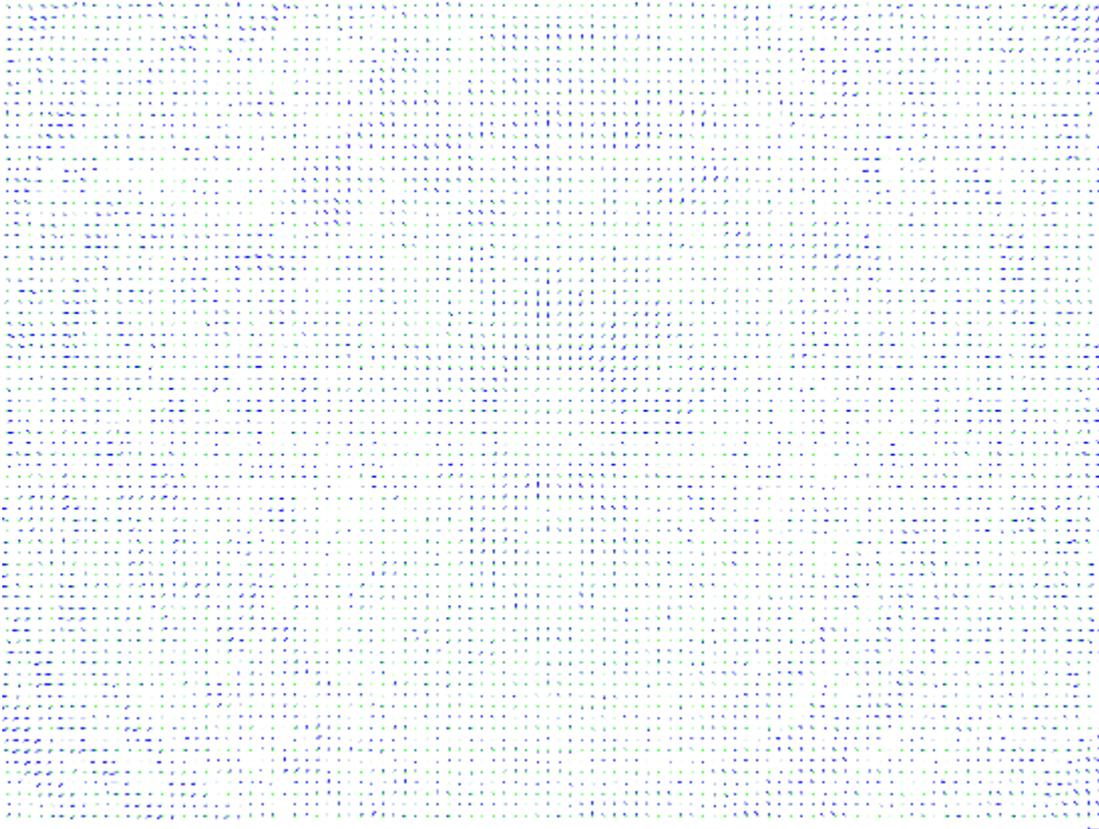


Figura 73. La barra de escala indica la magnitud del error de 1 píxel. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 54. Tabla de keypoints 2D.

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	30717	11108
Min	20005	3515
Max	61019	27956
Mean	30605	11240

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 55. Puntos 3D desde concordancias de 2d keypoints.

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	877744
In 3 Images	216231
In 4 Images	91145
In 5 Images	41697
In 6 Images	27293
In 7 Images	18005
In 8 Images	11035
In 9 Images	4520
In 10 Images	2858
In 11 Images	1851
In 12 Images	1067
In 13 Images	273
In 14 Images	40

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Posiciones de imágenes calculadas con vínculos entre imágenes coincidentes. La oscuridad de los enlaces indica el número de puntos clave 2D coincidentes entre las imágenes. Los enlaces brillantes indican enlaces débiles y requieren puntos de enlace manuales o más imágenes. Las elipses de color verde oscuro indican la incertidumbre de la posición relativa de la cámara del resultado del ajuste del bloque de haz

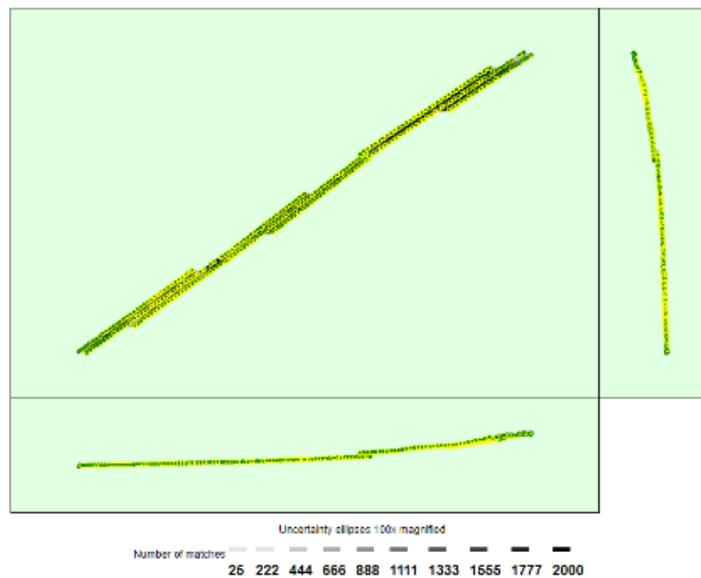


Figura 74. Concordancias de puntos clave 2D. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 56. Posición relativa de la cámara e incertidumbres de orientación.

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.042	0.040	0.046	0.040	0.045	0.008
Sigma	0.015	0.014	0.013	0.003	0.004	0.002

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

En la tabla 57 se muestra el error mínimo y el error máximo que representan intervalos de error de geolocalización entre -1,5 y 1,5 veces la precisión máxima de todas las imágenes. Las columnas X, Y, Z muestran el porcentaje de imágenes con errores de geolocalización dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las posiciones de la imagen inicial y calculada. Tener en cuenta que los errores de geolocalización de la imagen no se corresponden con la precisión de los puntos 3D observados.

Tabla 57. Detalles de geolocalización. varianza absoluta de ubicación geográfica

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	9.42	3.57	0.00
-3.00	0.00	46.10	51.95	48.38
0.00	3.00	30.84	38.31	51.62
3.00	6.00	13.64	6.17	0.00
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]		0.000004	-0.000006	0.000004
Sigma [m]		2.299828	1.893954	0.743201
RMS Error [m]		2.299828	1.893954	0.743201

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 58. Varianza de geolocalización relativa. Las imágenes X, Y, Z representan el porcentaje de imágenes con un error de geolocalización relativo en X, Y, Z.

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

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 59. Error RMS de geolocalización de los ángulos de orientación dado por la diferencia entre los ángulos de orientación de la imagen inicial y calculada.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.008
Phi	0.827
Kappa	5.238

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 60. Detalles de procesamiento inicial. Información del sistema.

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4700HQ CPU @ 2.40GHz RAM: 12GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 20.19.15.4549)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 61. Sistema de coordenadas.

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM 96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (EGM 96 Geoid)

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 62. Opciones de procesamiento

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

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

5.2.5. Segundo paso de procesamiento en Pix4Dmapper

El segundo paso consiste en crear la nube de puntos y malla.

Tabla 63. Detalles de la densificación de nubes de puntos. Opciones de procesamiento.

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: yes
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	59m:48s
Time for Point Cloud Classification	19m:26s
Time for 3D Textured Mesh Generation	33m:16s

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 64. Resultados.

Number of Generated Tiles	3
Number of 3D Densified Points	50762642
Average Density (per m ³)	296.2

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.



Figura 75. Inicio de la Av. Villa María luego del segundo proceso en Pix4Dmapper.
Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

5.2.6. Tercer paso de procesamiento en Pix4Dmapper (MDS, ortomosaico e índices)

El DSM (modelo digital de superficie) es la representación gráfica de la superficie en estudio, la cual presenta todas las formas de relieve que se encuentran en el área. Se obtiene con el procesamiento de la nube de puntos, y permite la obtención de curvas de nivel, diagramas de perfil del terreno, etc. El ortomosaico es la imagen georreferenciada formada a partir de la unión de todas las fotos tomadas durante el vuelo del dron. Luego de finalizar el proceso se muestran los siguientes resultados:

Tabla 65. Detalles del DMS, ortomosaico e índice.

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.95 [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
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.95 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 1 Elevation Interval [m]: 10 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20
Time for DSM Generation	01h:35m:16s
Time for Orthomosaic Generation	02h:39m:11s
Time for DTM Generation	04h:24m:43s
Time for Contour Lines Generation	17s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Se puede apreciar la creación del ortomosaico, el DSM y el DTM, archivos que usaremos para su procesamiento en el programa ArcGisPro ®.

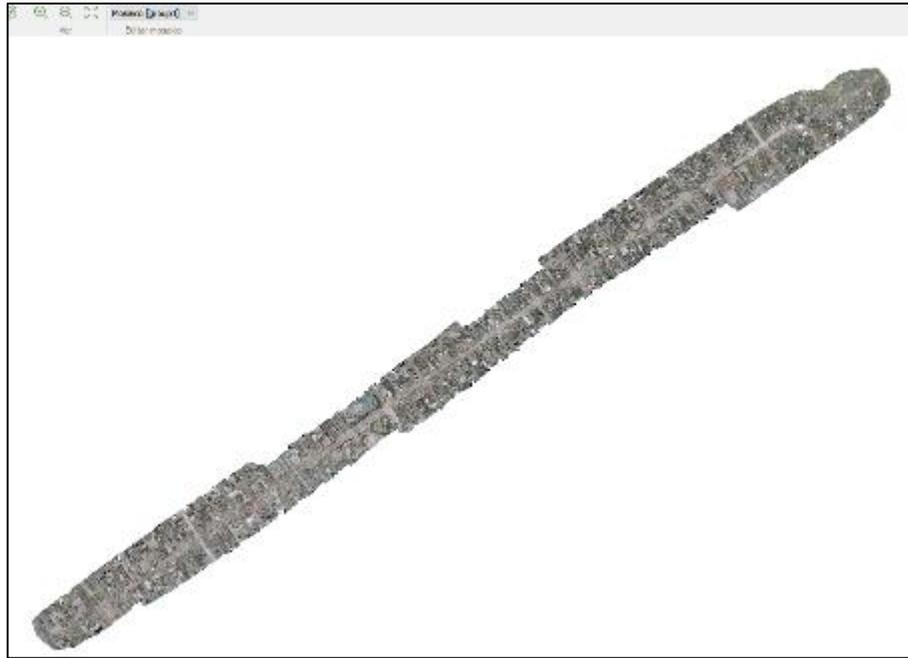


Figura 76. Ortomosaico de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

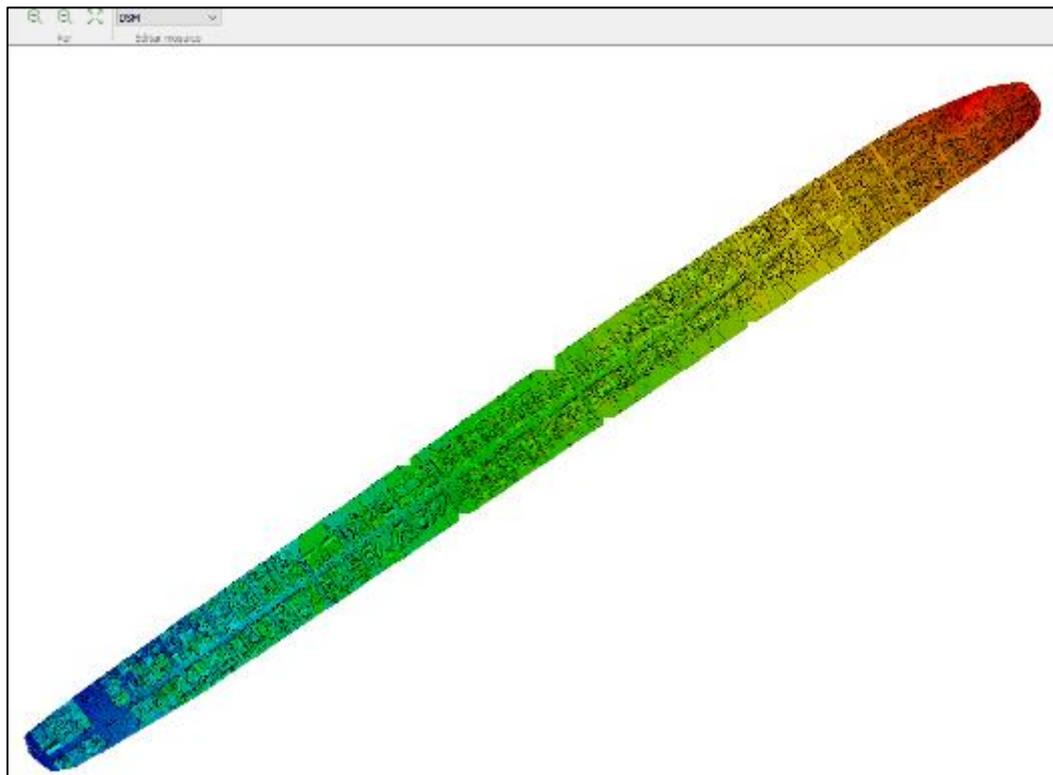


Figura 77. Modelo digital de superficie (DSM) de la AV. Villa María. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

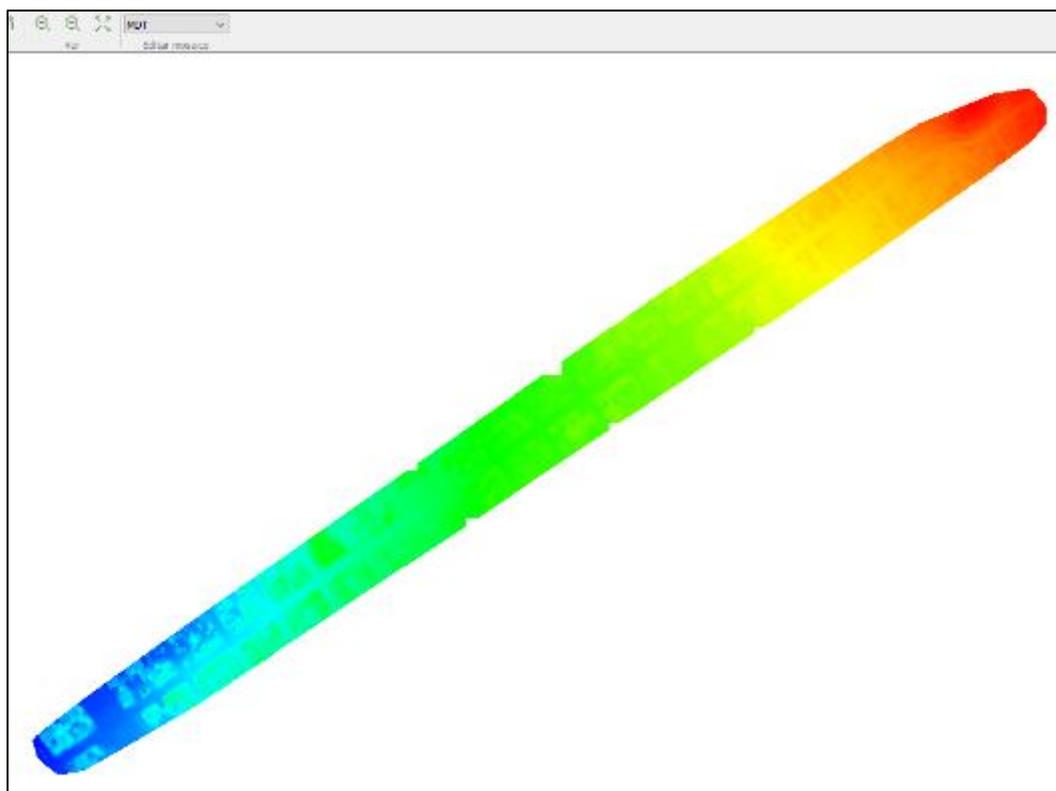


Figura 78. Modelo digital de terreno (MDT) de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

Tabla 66.. Resumen del procesamiento en Pix4Dmapper para la Av. Santa Rosa.

Project	av sta rosa
Processed	2021-10-24 00:27:22
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.21 cm / 0.87 in
Area Covered	0.122 km ² / 12.2306 ha / 0.05 sq. mi. / 30.2381 acres
Time for Initial Processing (without report)	05m:15s

Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

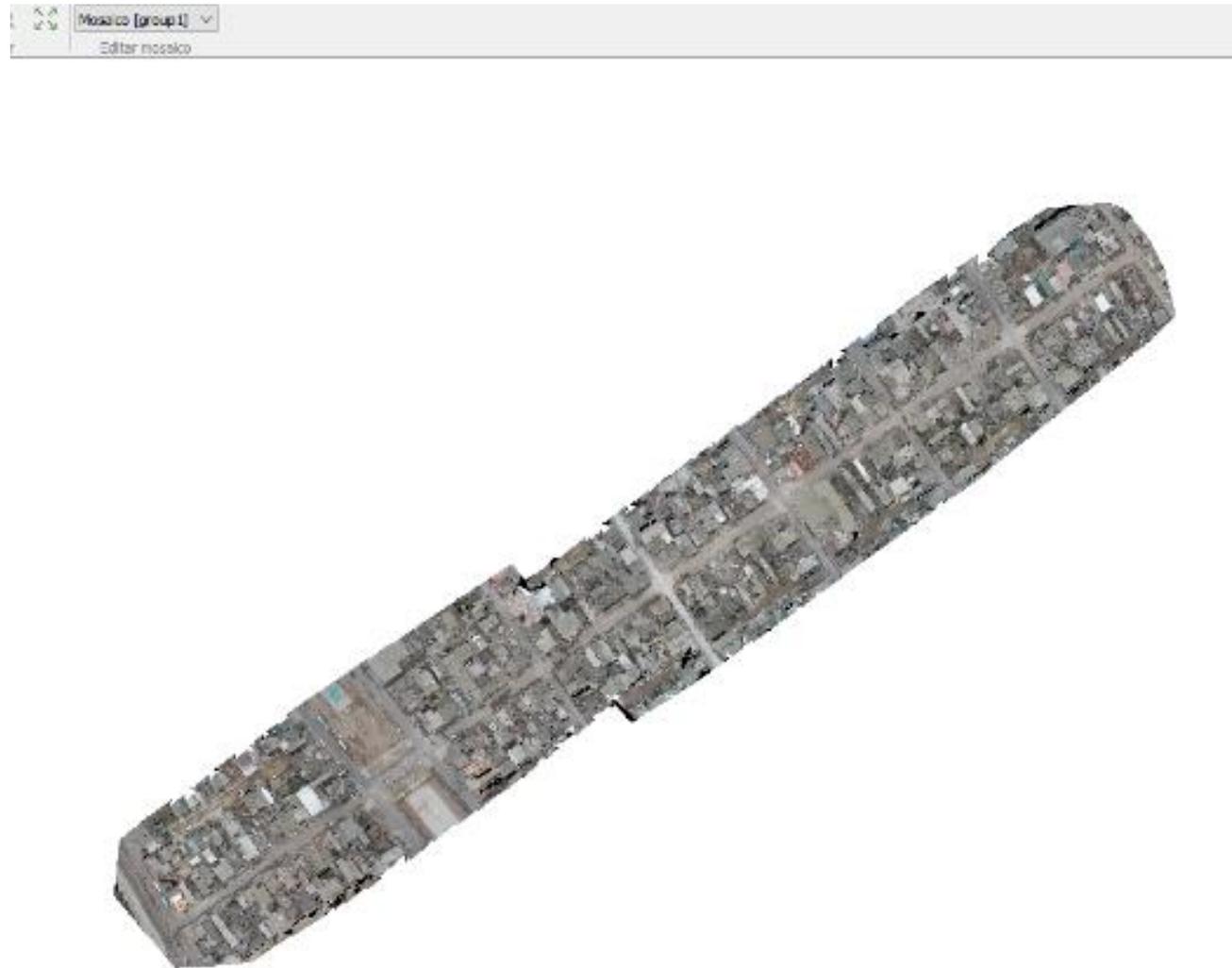


Figura 79. Ortomosaico de la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

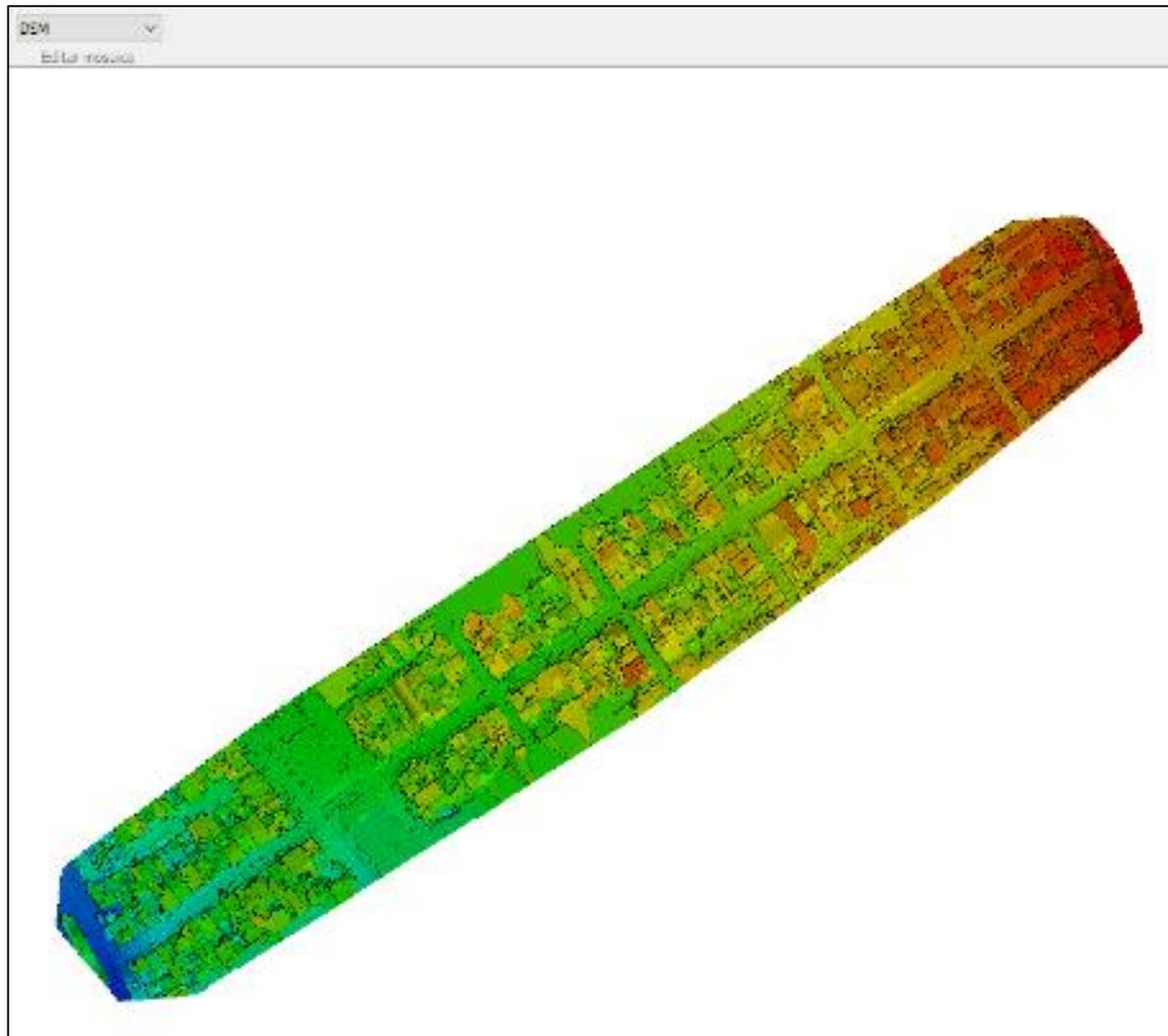


Figura 80. Modelo digital de superficie (DSM) de la AV. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

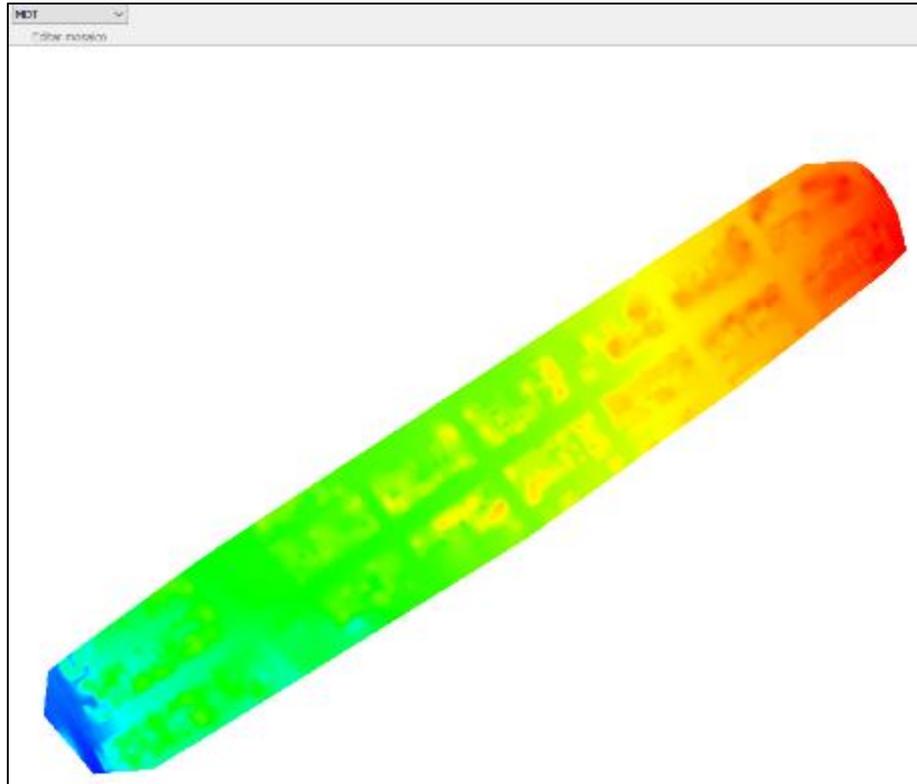


Figura 81. Modelo digital de terreno (MDT) de la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia usando Pix4Dmapper ®.

5.2.7. Análisis en ArcgisPro®.

Exportando el ortomosaico y el modelo digital de superficie (DSM) procesados en el software Pix4Dmapper hacia el ArcGis Pro podemos evaluar e identificar algunas zonas de daño o fallas sobre el pavimento

5.2.8. Identificación de fallas en la Av. Santa Rosa:

En la cuadra 1 de la Av. Santa Rosa se identificó con el trabajo de campo a pie la siguiente falla:



Figura 82. Falla en la cuadra 1 de la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia.

En el ArcgisPro se puede ver la falla en vista de planta:



Figura 83. Vista de planta de una falla en ArcgisPro. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro®.

Con un análisis en la simbología principal de colores y modificando la desviación estándar podemos identificar la falla como se aprecia en la Figura 83 en la que se tiñe de un color blanquecino:



Figura 84. Análisis de una falla modificando la desviación estándar. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.



Figura 85. Acotamiento del perfil de la zona de falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

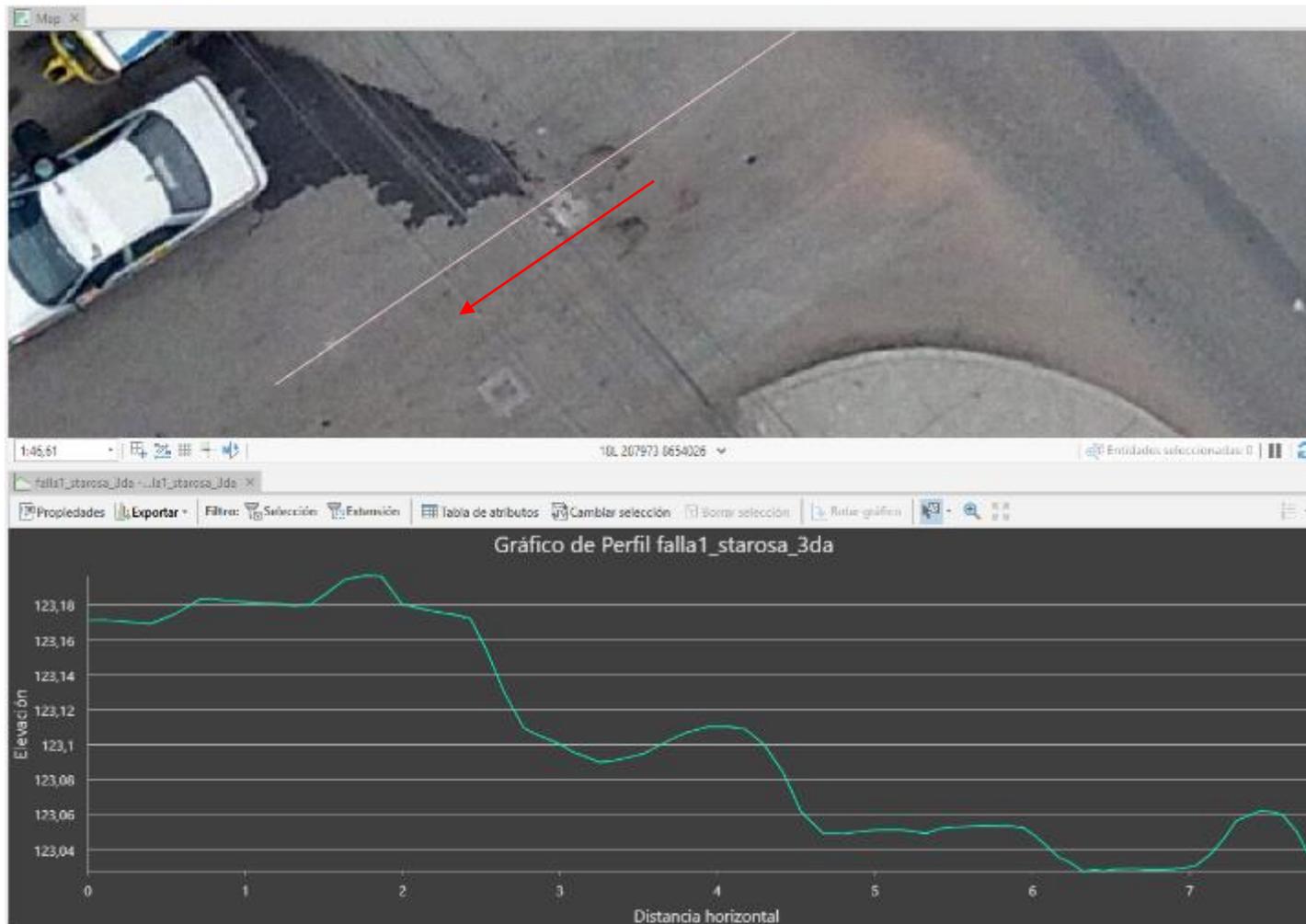


Figura 86. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

En la cuadra 4 de la Av. Santa Rosa se identificó con el trabajo de campo a pie la siguiente falla:



Figura 87. Falla en la cuadra 4 de la Av. Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia.

En el ArcgisPro se puede ver la falla en vista de planta



Figura 88. Vista de planta de una falla en ArcgisPro. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

Con un análisis en la simbología principal de colores y modificando la desviación estándar podemos identificar la falla como se aprecia en la Figura 89 en la que se tiñe de un color más oscuro que el resto del pavimento:



Figura 89. Análisis de una falla modificando la desviación estándar. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.



Figura 90. Acotamiento del perfil de la zona de falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.



Figura 91. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

5.2.9. Identificación de fallas en la Av. Villa María:

En la cuadra 1 de la Av. Santa Rosa se identificó con el trabajo de campo a pie la siguiente falla:

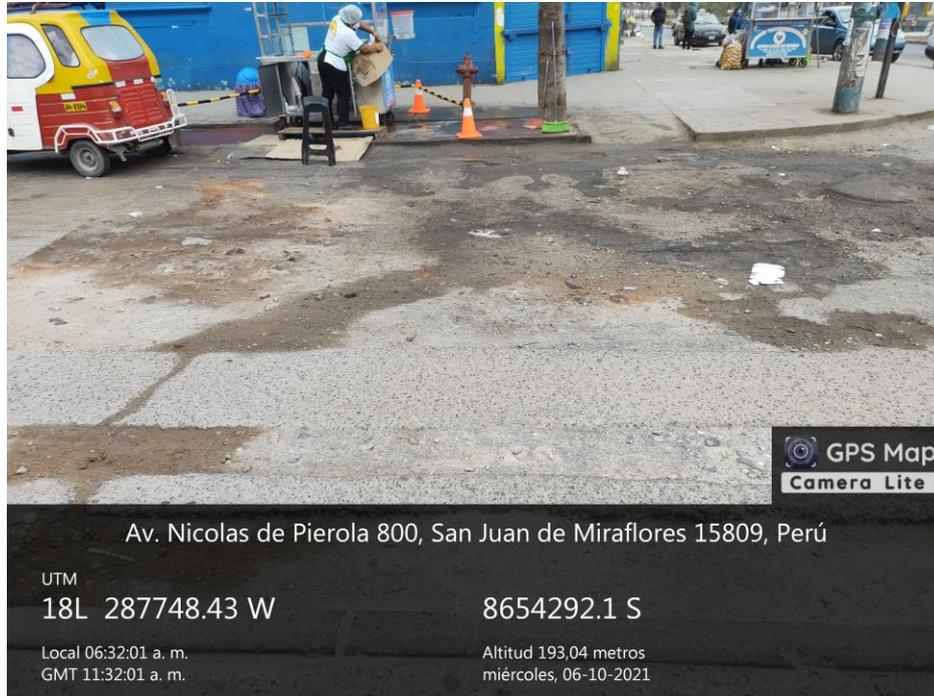


Figura 92. Falla en la cuadra 1 de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia.

. En el ArcgisPro se puede ver la falla en vista de planta

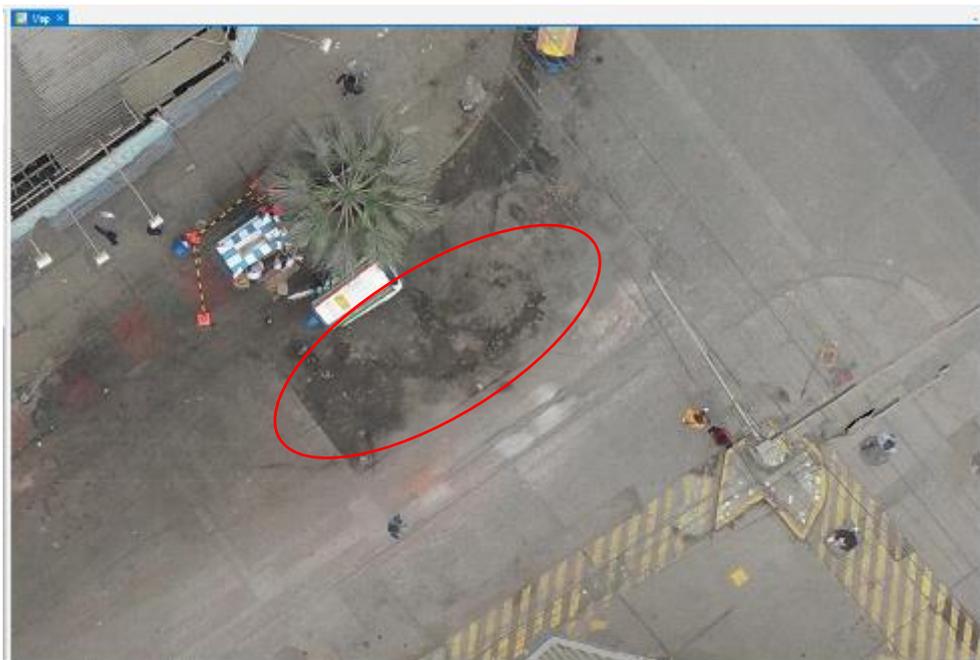


Figura 93. Vista de planta de una falla en ArcgisPro. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

Con un análisis en la simbología principal de colores y modificando la desviación estándar podemos identificar la falla como se aprecia en la Figura 94 en la que se tiñe de un color más oscuro que el resto del pavimento:

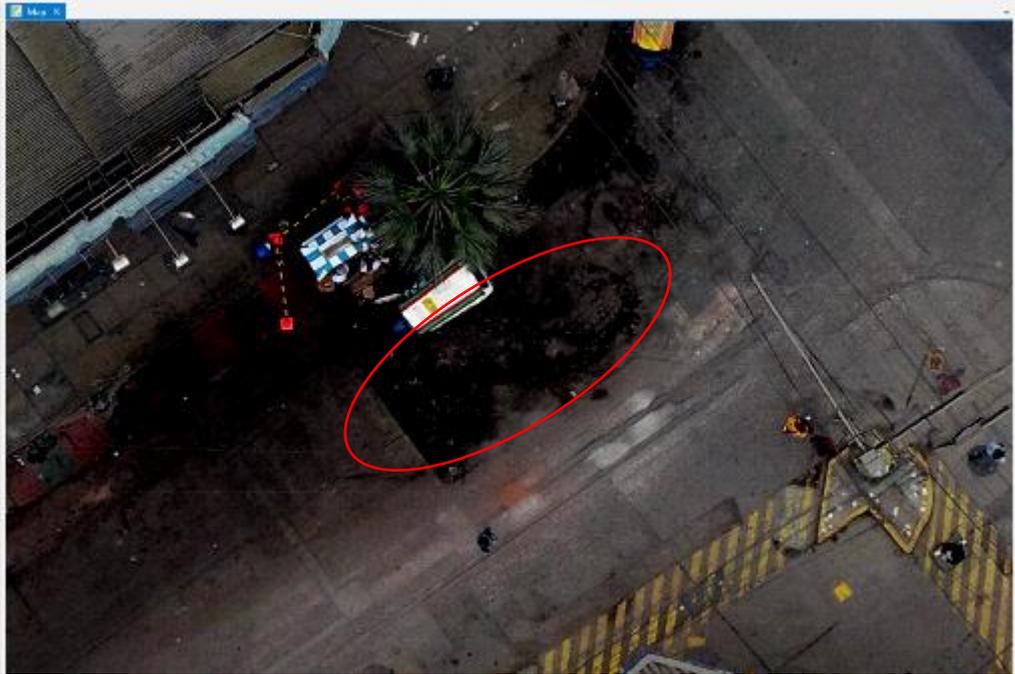


Figura 94. Análisis de una falla modificando la desviación estándar. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

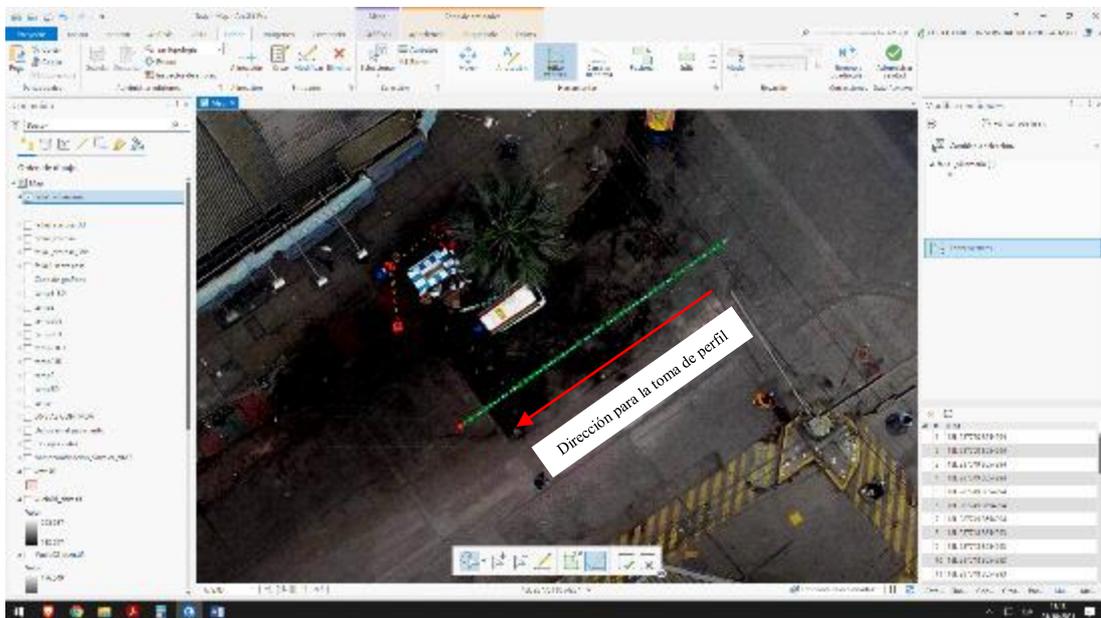


Figura 95. Acotamiento del perfil de la zona de falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

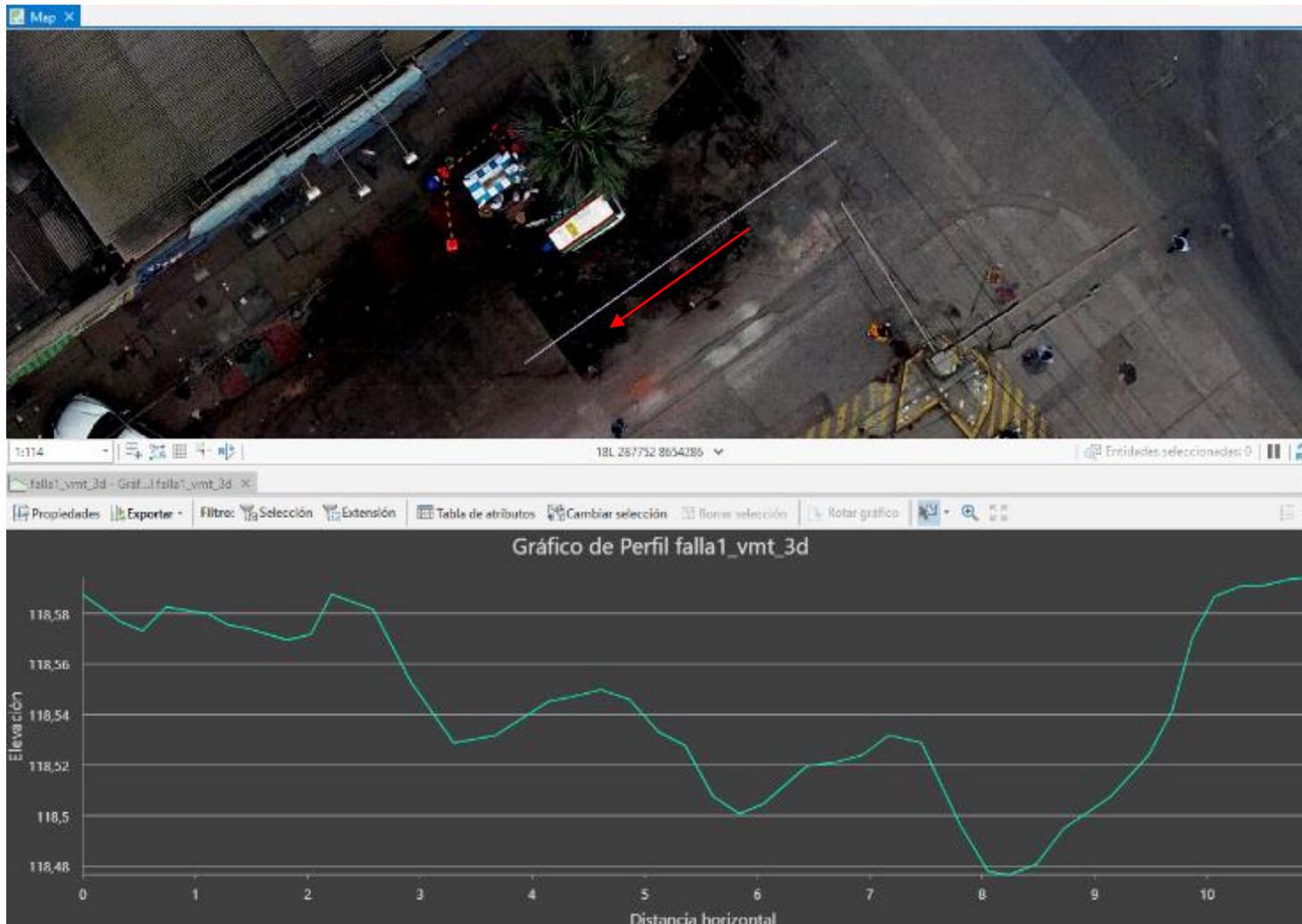


Figura 96. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

En la cuadra 1 de la Av. Santa Rosa se identificó con el trabajo de campo a pie la siguiente falla:



Figura 97.. Falla en la cuadra 4 de la Av. Villa María. Fuente: Elaboración propia.

. En el ArcgisPro se puede ver la falla en vista de planta

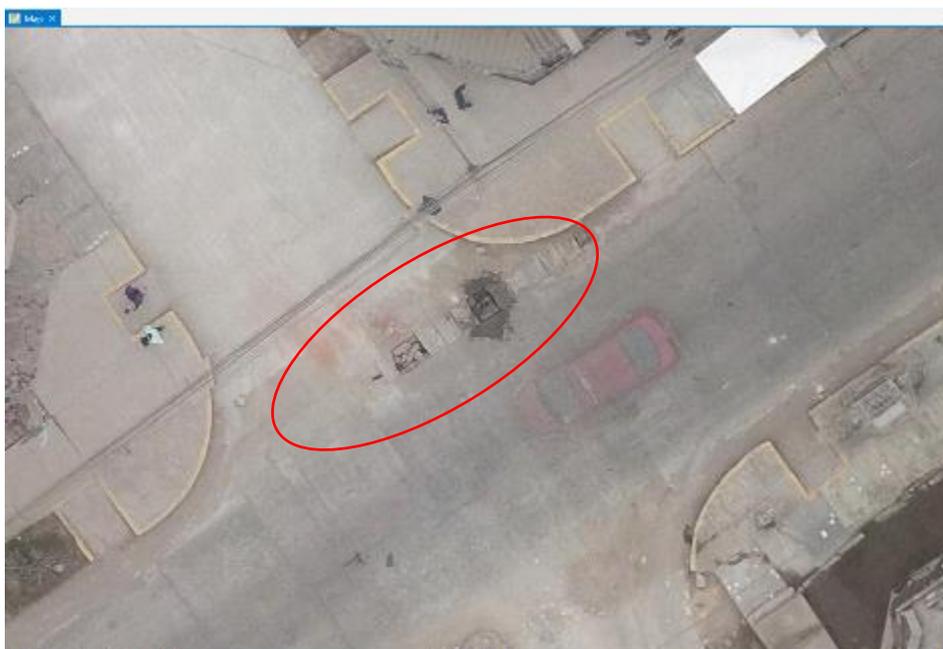


Figura 98. Vista de planta de una falla en ArcgisPro. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

Con un análisis en la simbología principal de colores y modificando la desviación estándar podemos identificar la falla como se aprecia en la Figura 99 en la que se tiñe de un color más oscuro que el resto del pavimento:

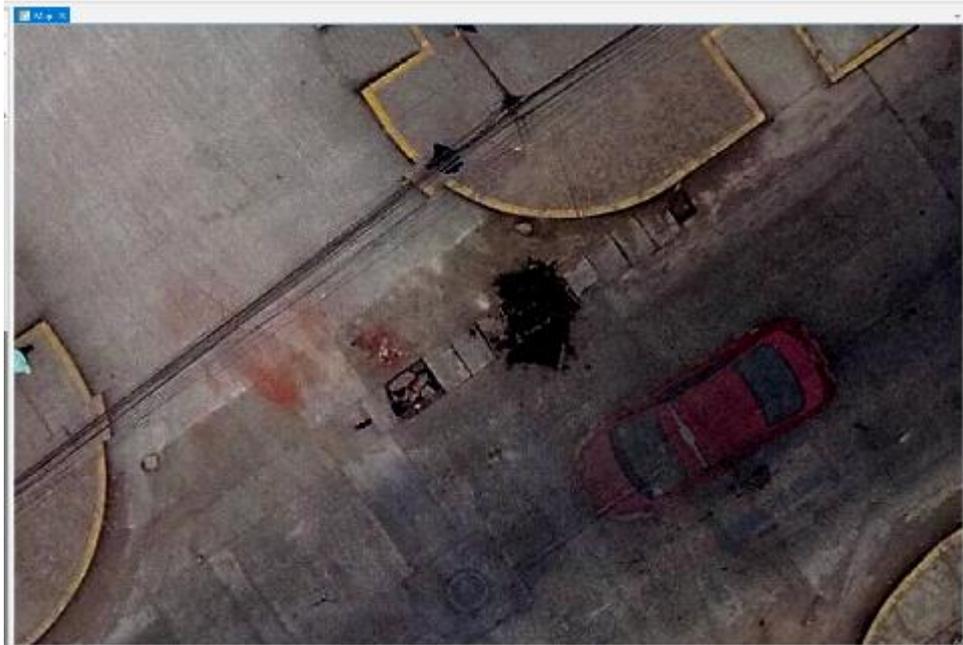


Figura 99. Análisis de una falla modificando la desviación estándar. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.



Figura 100. Acotamiento del perfil de la zona de falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

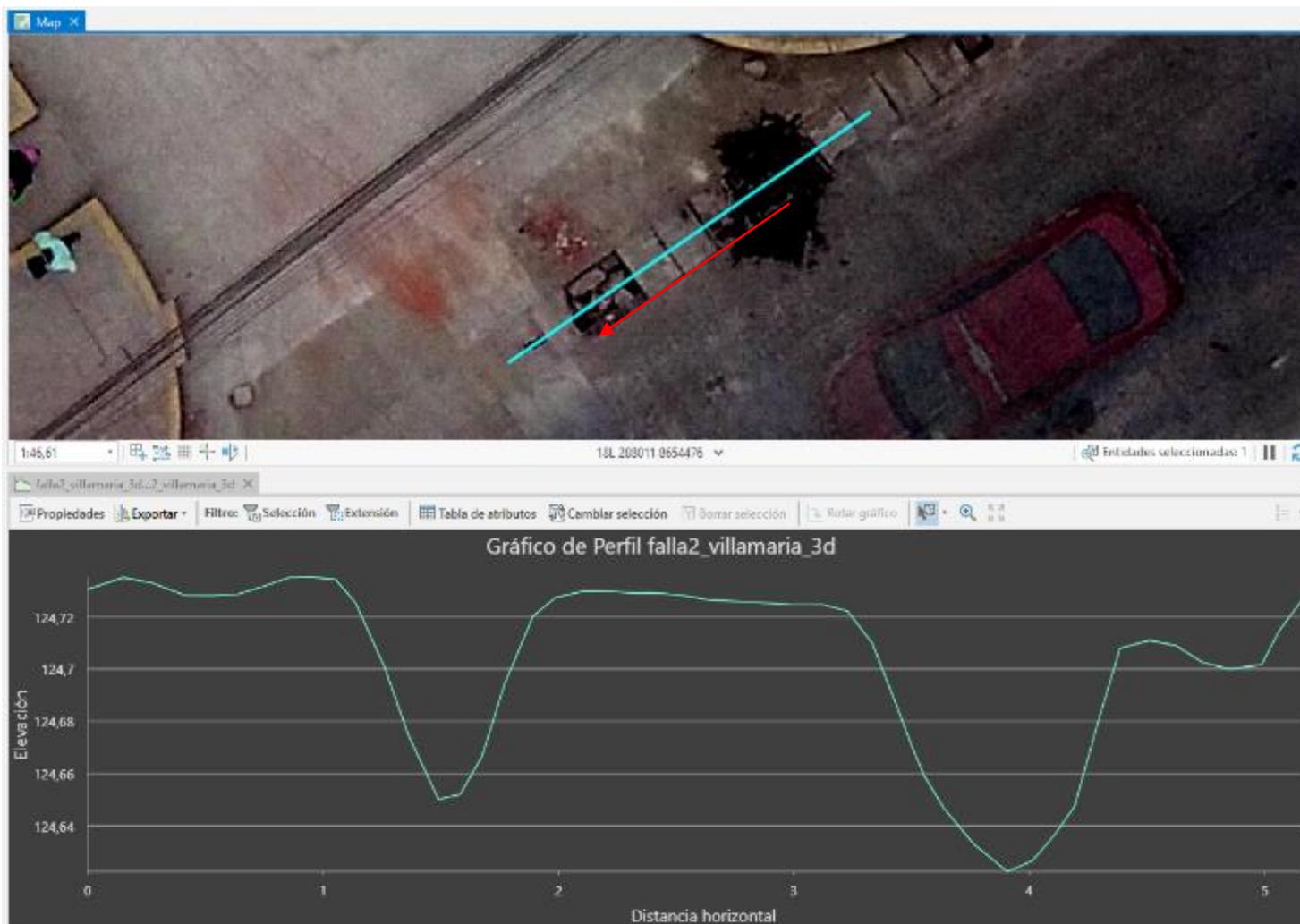


Figura 101. Perfil de la zona del pavimento donde se encuentra la falla. Fuente: Elaboración propia usando ArcgisPro ®.

5.2.10. Costos según el tipo de mantenimiento a realizar.

De los datos obtenidos de IMD para ambas avenidas tenemos que:

- IMD (Av. Villa María): oscila entre 15657 y 11091
- IMD (Av. Sta. Rosa): oscila entre 1694 y 1221

Según el MTC (2018) en su “Manual de carreteras: Diseño geométrico”, se clasifican las carreteras según su demanda, resultando:

- Av. Villa María: Autopista de primera clase.
- Av. Santa Rosa: Carretera de segunda clase.

Como ya se mencionó en el capítulo 5.1.1 las avenidas intervenidas son vías urbanas catalogadas como vía colectora y vía local respectivamente.

Según Gonzales y Llata (2018) se tiene una lista de precios correspondientes a obras de mantenimiento en pavimentos rígidos en Lima Metropolitana que se detallan en la tabla 67.

Tabla 67. Tabla de costos de tipos de mantenimiento de pavimento rígido.

TIPO DE MANTENIMIENTO	COSTO POR METRO LINEAL (USD\$)
Mantenimiento preventivo-rutinario	3.92
Mantenimiento correctivo	12.2
Rehabilitación	36.6

Fuente: Gonzales & Llata (2018)

Tabla 68. Resumen del costo para realizar el proyecto de mantenimiento preventivo en las zonas determinadas como aptas para el mismo.

NOMBRE DE LA VÍA	METRAJE A INTERVENIR	COSTO POR METRO LINEAL (USD)	COSTO TOTAL
Avenida Villa María	110 m x 11 = 1210 m	3.92	\$USD 4743.20
Avenida Santa Rosa	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de pavimento flexible en la Av. Sta. Rosa el mantenimiento preventivo-rutinario no es posible debido al estado de la vía después de ser analizado por el método VIZIR, donde se expone que todos los tramos de la vía tienen un índice de deterioro superficial MALO.

En una entrevista con el gerente del área de Desarrollo Urbano de la Municipalidad de Villa María del Triunfo, el ingeniero Frank Mendoza Velásquez, indicó que la entidad municipal durante la actual gestión no realiza mantenimientos de ningún tipo a las vías urbanas del distrito, lo que la actual gestión está realizando son obras de mejoramiento (de pavimento asfáltico a pavimento rígido) en vías paralelas a las intervenidas en el presente proyecto de investigación.

5.3. Contrastación de resultados

Hipótesis 1: Al identificar los tipos de fallas según la norma técnica peruana se pueden clasificar y categorizar dependiendo su intensidad.

En este proyecto de investigación se han podido identificar diferentes tipos de fallas clasificadas en el Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del MTC (2018), a continuación, se muestran las fallas encontradas en ambas vías intervenidas:

Tabla 69. Resumen de fallas encontradas en la Av. Villa María y la Av. El Triunfo.

Avenida Villa María (pavimento rígido, evaluada por el método PCI)	Avenida Santa Rosa (pavimento flexible, evaluada por el método VIZIR)
Grieta de esquina	Piel de cocodrilo
Losa dividida	Fisuras longitudinales
Grietas lineales	Reparaciones o bacheos.
Parcheo grande y pequeño	---
Pulimiento de agregados	---
Desconchamiento / Mapa de grietas / Craquelado	---
Descaramiento de esquina	---
Descaramiento de junta	---

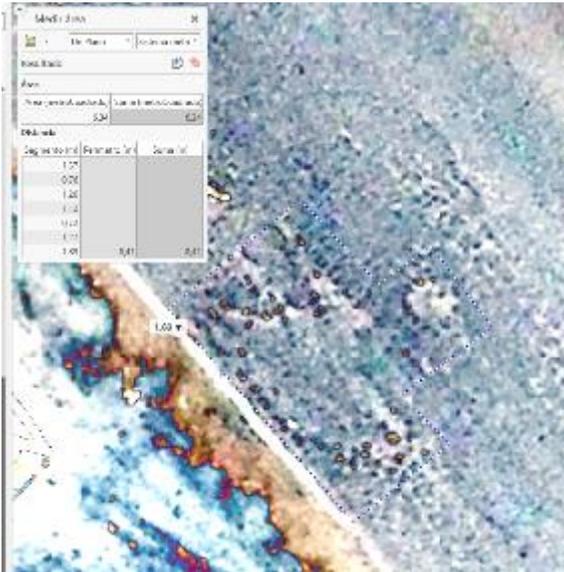
Fuente: Elaboración propia.

La categorización de las fallas dependiendo su intensidad se desarrolla extensamente en la sección 5.1.3 y 5.1.4.

Hipótesis 2: Al evaluar el estado del pavimento por distintos métodos se comparan y se elige el que mejor se adecúa a las necesidades del proyecto.

En el presente proyecto de investigación se han realizado dos métodos principales de evaluación del estado del pavimento. El primer método consistió en la visita y toma de datos manual de los daños encontrados en el pavimento utilizando el método VIZIR y el método PCI para las avenidas de pavimento flexible y rígido respectivamente. El segundo método consistió en realizar un vuelo con dron fotogramétrico el cual proporcionó la data necesaria para la creación de perfiles e identificación fotométrica en el software ArcgisPro ®. A continuación, se mostrará una serie de tablas comparativas entre ambos métodos y posteriormente las ventajas y desventajas de cada uno, llegando finalmente a la elección de uno de ellos:

Tabla 70. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: PIEL DE COCODRILO.

TIPO DE PAVIMENTO: FLEXIBLE / TIPO DE FALLA: PIEL DE COCODRILO	
MÉTODO VIZIR	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>El método VIZIR es un método visual que evalúa las degradaciones del pavimento tipo A, las cuales toman en cuenta las dimensiones de algunos tipos de deficiencias estructurales del pavimento, en este caso el tipo y código de falla es: PIEL DE COCODRILO / FPC.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico se logra identificar en la falla tipo PIEL DE COCODRILO en el terreno, pudiendo formar un polígono con las dimensiones reales de la falla.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: FISURA LONGITUDINAL.

TIPO DE PAVIMENTO: FLEXIBLE / TIPO DE FALLA: FISURA LONGITUDINAL	
MÉTODO VIZIR	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>En este caso el tipo y código de falla es: FISURA LONGITUDINAL / FLF. El largo de la fisura se toma en campo y se registra para su evaluación.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico NO se logra identificar la falla tipo FISURA LONGITUDINAL en el terreno debido a la presencia de cables eléctricos y de telefonía que interferían con la identificación de la misma. Usando el método de perfil tampoco se pudo hallar su profundidad debido a que no tenía mucha profundidad.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: REPARACIONES O BACHEO.

TIPO DE PAVIMENTO: FLEXIBLE / TIPO DE FALLA: REPARACIONES O BACHEOS	
MÉTODO VIZIR	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>En este caso el tipo y código de falla es: REPARACIÓN O BACHEO / BZR. Las dimensiones de la falla se tomaron en campo para su registro y posterior evaluación.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico NO se logra identificar la falla tipo REPARACIÓN O BACHEO, debido a que el día que se voló el dron hubo presencia de humedad en la zona lo cual no permitió una correcta identificación.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: GRIETA DE ESQUINA.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: GRIETA DE ESQUINA	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>El método PCI evalúa la condición del pavimento en base a la cantidad y severidad de las fallas encontradas en un tramo de la vía. Para este caso se ha identificado una falla tipo GRIETA DE ESQUINA con severidad BAJA.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico NO se logra identificar la falla tipo GRIETA DE ESQUINA, debido a que es una falla con severidad BAJA y no logra ser visible en la ortofoto.</p>

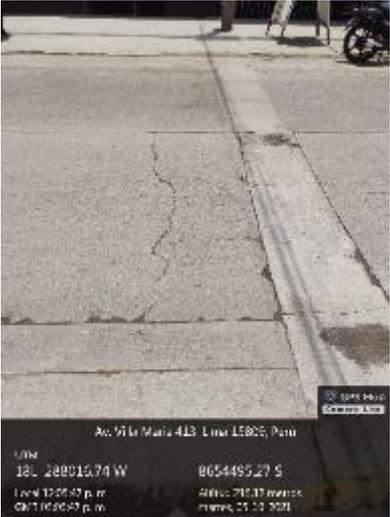
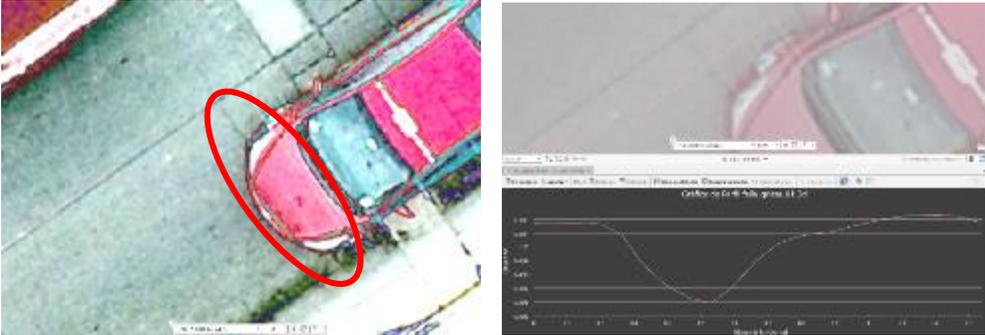
Fuente: Elaboración propia

Tabla 74. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: LOSA DIVIDIDA.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: LOSA DIVIDIDA	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
	
<p>En este caso el tipo de falla es: LOSA DIVIDIDA de severidad MEDIA. Estos datos se registran para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	<p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico se logra identificar la falla tipo LOSA DIVIDIDA, sin embargo la severidad de la falla no queda tan clara con la ortofoto.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: GRIETAS LINEALES.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: GRIETAS LINEALES	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>En este caso el tipo de falla es: GRIETA LINEAL de severidad MEDIA. Estos datos se registran para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico NO se logra identificar totalmente la falla tipo GRIETA LINEAL en esta ubicación, debido a la presencia de un vehículo en el momento de la toma de la ortofoto. Sin embargo con la toma del perfil de la grieta si se puede determinar la profundidad de la grieta que es de aproximadamente 5 cm.</p>

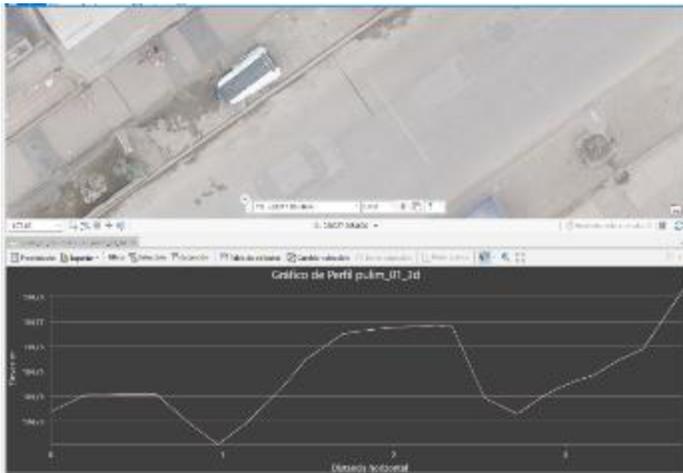
Fuente: Elaboración propia

Tabla 76. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: PARCHEO.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: PARCHEO	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>En este caso el tipo de falla es: PARCHEO de severidad BAJA. Estos datos se registran para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico se logra identificar la falla tipo PARCHEO, pudiendo hallar el área de la misma usando el ArcGIS Pro®.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: PULIMIENTO DE AGREGADOS.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: PULIMIENTO DE AGREGADOS	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p data-bbox="253 946 1025 1145">En este caso el tipo de falla es: PULIMIENTO DE AGREGADOS que no presenta grados de severidad, más si necesitan contabilizarse los bloques de losa de pavimento rígido para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	 <p data-bbox="1043 946 2040 1145">Con el método utilizando el dron fotogramétrico y la elaboración de un perfil transversal de la vía se logra identificar la falla tipo PULIMIENTO DE AGREGADOS, donde, a pesar del peralte de la vía, se logran identificar zonas con depresiones afectadas por la falla.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: DESCONCHAMIENTO.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: DESCONCHAMIENTO	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
	
<p>En este caso el tipo de falla es: DESCONCHAMIENTO de severidad ALTA. Estos datos se registran para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	<p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico se logra identificar la falla tipo DESCONCHAMIENTO además del área de paño de losa que abarca la misma, dato importante para la evaluación por el método PCI.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: DESCARAMIENTO DE ESQUINA.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: DESCARAMIENTO DE ESQUINA	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
	
<p>En este caso el tipo de falla es: DESCARAMIENTO DE ESQUINA de severidad MEDIA. Estos datos se registran para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	<p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico NO se logra identificar la falla tipo DESCARAMIENTO DE ESQUINA, debido a la presencia de vegetación sobre la falla, que impide su identificación aérea.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80. Comparación de métodos de identificación de fallas. Falla tipo: DESCARAMIENTO DE JUNTA.

TIPO DE PAVIMENTO: RÍGIDO / TIPO DE FALLA: DESCARAMIENTO DE JUNTA	
MÉTODO PCI	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO
 <p>En este caso el tipo de falla es: DESCARAMIENTO DE JUNTA de severidad BAJA. Estos datos se registran para la evaluación del tramo por el método del PCI.</p>	 <p>Con el método utilizando el dron fotogramétrico se logra identificar la falla tipo DESCARAMIENTO DE JUNTA, donde se logra apreciar una erosión considerable de hasta 5 cm de profundidad.</p>

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se nombran algunas ventajas y desventajas de ambos métodos:

MÉTODO TRADICIONAL (PCI O VIZIR):

Ventajas:

- La identificación de fallas en el pavimento se puede dar de manera minuciosa por el operario con pausas en caso de tránsito vehicular que bloquee alguna zona del pavimento.
- Se puede diferenciar claramente cada uno de los tipos de fallas que existen el método PCI por ejemplo pudiendo tomar fotos a nivel del suelo que lo corroboren.
- El clima no es tan influyente en la identificación de las fallas a nivel del suelo, a menos que se presenta una densa neblina que obstaculice la visión del operario.

Desventajas:

- Se necesita abarcar a pie toda la extensión del área intervenida para la identificación de las fallas en el pavimento.
- El tiempo de intervención es bastante elevado comparado con el método fotogramétrico.
- En caso de zonas urbanas con alto índice de delincuencia se corre el riesgo de poner en peligro la integridad del operario.

MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO CON DRON:

Ventajas:

- Se puede operar el dron desde un solo punto y abarcar mucha área de intervención sin necesidad de que el operario cambie su ubicación constantemente.
- El tiempo de intervención es bastante corto comparado con el método de evaluación tradicional, el procesamiento de datos en el gabinete es la parte que demanda más tiempo.
- El sistematizar la información del terreno permite tener un archivo de la zona que puede ser comparado y/o utilizado en otros proyectos similares o afines en el futuro.

Desventajas:

- Los vehículos que se encuentren estacionados pueden obstaculizar el registro de ciertas áreas de pavimento a intervenir.

- El clima si es determinante, por ejemplo, en el caso de zonas con humedad elevada ya que la formación de nubes o neblina a baja altura puede obstaculizar la toma de fotos con la cámara del dron.
- Muchas veces no se puede identificar claramente algunos tipos de fallas debido a la altura de vuelo y/o resolución de las fotos tomadas por el dron.

Al analizar las ventajas y desventajas de ambos métodos siendo las vías urbanas intervenidas clasificadas como urbanas (colectora y local) se puede recomendar el método fotogramétrico por dron, teniendo la consideración de elegir un día con clima favorable, tránsito vehicular moderado y complementar con una visita a las zonas donde no se haya podido identificar plenamente la falla en el pavimento.

Hipótesis 3: Al tener una evaluación del estado del pavimento se puede elegir y proponer un mantenimiento preventivo para mantener su usabilidad.

Con esta metodología se está identificando ya de antemano donde están las fallas para hacer el tratamiento y la intervención preventiva. Mediante el procesamiento de imágenes con el software Pix4Dmapper® se logra crear un ortomosaico y un modelo digital de superficie (DMS) capaces de ser procesados en el ArcgisPro® donde mediante la elaboración de perfiles del terreno y modificación de la escala de colores se identifica el daño, el tamaño, el área, la profundidad y la ubicación de la falla; siendo toda esta información relevante para dar la propuesta de intervención preventiva en la zona.

Para el caso de la Av. Santa Rosa se proponen los siguientes tipos de mantenimiento rutinario según el tipo de falla:

Tabla 81. Mantenimientos preventivos recomendados para fallas en pavimento flexible en la Av. Sta. Rosa.

TIPO DE FALLA	MANTENIMIENTO RUTINARIO PREVENTIVO PROPUESTO
Piel de cocodrilo	Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente.
Fisuras longitudinales	Sellado de fisuras en calzada.
Reparaciones o bacheo	Reparaciones con mezcla en caliente o tratamiento superficial. Reparación de losas de calzada.

Fuente: Elaboración propia

Para la Av. Villa María se proponen los siguientes tipos de mantenimiento rutinario según el tipo de falla encontrado.

Tabla 82. Mantenimientos preventivos recomendados para fallas en pavimento rígido en la Av. Villa María.

TIPO DE FALLA	MANTENIMIENTO RUTINARIO PREVENTIVO PROPUESTO
Desprendimiento	Reparación de losa de calzada.
Fisuras	Sellado de fisuras en calzada.
Huecos	Reparación de losa de calzada.
Reparaciones o bacheos	Reparación de losa de calzada.

Fuente: Elaboración propia.

Según el Manual de carreteras, mantenimiento o conservación vial del MTC (2018) existen tipos de conservación del pavimento según su condición y estos pueden ser: de reconstrucción, de rehabilitación, de conservación periódica o de conservación rutinaria. En esta investigación se han llevado a cabo dos tipos de evaluaciones: el método VIZIR en la avenida Santa Rosa que es para pavimento flexible y el método PCI para la avenida Villa María que es de pavimento rígido determinándose así la condición de cada una de

las cuadras de ambas avenidas pudiendo así identificar las avenidas en las que se podrá llevar a cabo un tipo de mantenimiento preventivo. Solo si la vía se encuentra en un estado bueno, muy bueno o excelente se puede realizar un mantenimiento preventivo, caso contrario se debe realizar un proyecto de rehabilitación o reconstrucción en la parte intervenida. A continuación, en la Tabla 83 y Tabla 84 se muestran las zonas de ambas avenidas en las que es viable un mantenimiento preventivo.

Tabla 83. Cuadras de la avenida Villa María (pavimento rígido) en las que se podrán llevar a cabo proyectos de mantenimiento preventivo en pavimento rígido.

RESUMEN PCI AV. VILLA MARIA		
CUADRA	PCI	ESTADO
1	45	REGULAR
2	49	REGULAR
3	56	BUENO
4	40	REGULAR
5	43	REGULAR
6	88	EXCELENTE
7	77	MUY BUENO
8	89	EXCELENTE
9	64	BUENO
10	49	REGULAR
11	59	BUENO
12	57	BUENO
13	53	REGULAR
14	19	MUY MALO
15	71	MUY BUENO
16	43	REGULAR
17	90	EXCELENTE
18	77	MUY BUENO
19	43	REGULAR
20	19	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84. Evaluación por método VIZIR de la avenida Santa Rosa evidenciando una necesidad de un proyecto de reconstrucción antes que uno preventivo.

	PROGRESIVAS		Is	CALIFICACION
TRAMO 1	0	0+100	5	Malo
TRAMO 2	0+100	0+200	5	Malo
TRAMO 3	0+200	0+300	5	Malo
TRAMO 4	0+300	0+400	5	Malo
TRAMO 5	0+400	0+500	6	Malo
TRAMO 6	0+500	0+600	6	Malo
TRAMO 7	0+600	0+700	7	Malo
TRAMO 8	0+700	0+800	5	Malo
TRAMO 9	0+800	0+879.45	5	Malo

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Según Cogollos y Martínez (2020) en su tesis “Implementación de SIG en Tramo Vial de Bogotá Para Recomendación de Intervención” concluyen que, al emplear una herramienta de procesamientos geospaciales, o sistema de información geográfica, se puede identificar, interpretar y visualizar los daños categorizados en las vías incluyendo su respectiva geolocalización, pudiéndose determinar la frecuencia de daños ubicados en una avenida seleccionada. En la presente investigación se corrobora esta afirmación ya que al usar el dron de 4 hélices marca DJi Phantom 4 Pro se puede obtener un ortomosaico de ambas avenidas intervenidas con la ayuda del programa PIX4DMapper ®, luego, al procesar esta información en el programa ArcGIS Pro ® se pudo detectar cada una de las fallas encontradas en el momento de hacer la inspección en campo además de poder detallar características como su longitud y profundidad en el caso de grietas y baches, por ejemplo.

Silva, Daza & López (2018), publicaron un artículo basado en un trabajo de investigación titulado “Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica para la red vial de Boyacá” donde afirman que el uso de sistemas de información geográfica es aceptado por la facilidad que brindan al momento de administrar datos y optimizando la gestión de los pavimentos. En la presente investigación se corrobora esta afirmación ya que en el momento de procesar la información otorgada por el dron y crear el ortomosaico, con la ayuda del ArcGis Pro ®, se pudo procesar y evaluar la información requerida para la presente investigación de manera rápida y eficiente.

Castro (2021) en su tesis “Detección de fallas tipo en pavimentos asfálticos mediante teledetección remota basada en RPAS y SIG” logra identificar 4 tipos de falla en pavimento asfáltico. En la presente investigación se han podido identificar todas las fallas que impliquen un cambio de nivel en la superficie de rodadura del pavimento, estas son: desnivel entre losas, fisuras (4 tipos), desprendimientos y baches, sumandos hasta 5 diferentes tipos de fallas identificadas, siempre y cuando la resolución de las ortofotos tomadas por el dron sea la apropiada para la identificación de estos desniveles, en el caso de nuestra tesis es una resolución de hasta 2 cm.

Cule y Solier (2019) en su tesis “La carga vehicular que soporta la estructura del pavimento urbano de la urb. Prolongación Benavides y su relación con los parámetros de la norma CE 0.10” concluyen que se debe definir de manera más precisa la clasificación de las vías arteriales, colectoras y locales, ya que dentro de las vías se pueden sub dividir

de varias maneras dependiendo de las características (ubicación, número de carriles, acceso a buses...etc.). En la presente investigación se corrobora esta información ya que según el MTC (2018) en su manual de diseño geométrico clasifica a la vía colectora como autopista por su IMD siendo esto recategorizado por el mismo MTC (2006) en el reglamento nacional de gestión de infraestructura vial publicado por el diario oficial “El Peruano”, el viernes 3 de febrero del 2006, donde indica que las vías urbanas son aquellas vías que no forman parte del Sistema Nacional de Carreteras.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el procesamiento en ArcGIS Pro ® de datos tomados en campo con métodos como el de Índice de condición del pavimento (PCI) o método VIZIR, así como el realizado por un dron con equipo fotogramétrico facilita la creación de mapas temáticos donde se puede identificar el tipo, cantidad y ubicación de las fallas en vías de pavimento rígido o flexible.
2. Se concluye que en la avenida Villa María de pavimento rígido existen diferentes fallas tales como grietas de esquina, losas divididas, grietas lineales, parcheos grandes y pequeños, pulimiento de agregados, desconchamiento, mapa de grietas, craquelado, descaramiento de esquinas y de juntas; todas estas habiendo sido evaluadas por el método PCI, Así mismo, en la avenida Santa Rosa de pavimento flexible se identificaron fallas como piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y reparaciones o bacheos; en este caso se usó el método VIZIR propuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
3. Se concluye que el método de medición adecuado para una zona urbana como es el sector Cercado del distrito de Villa María del Triunfo es el que implica el uso de un dron fotogramétrico debido a las diferentes técnicas de reconocimiento de fallas que se pueden aplicar con el apoyo de software GIS como el utilizado en el presente proyecto, debiendo complementarse con un trabajo de campo solo en las zonas en las que la visibilidad es nula por el obstáculo de vehículos o presencia de vegetación que evite registrar el estado de la vía mediante el uso del dron.
4. Se concluye que la avenida Santa Rosa se encuentra en un estado de conservación malo, por lo que, los trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo quedan descartados como posibles soluciones. A su vez, los daños de la Av. Villa María, en su mayoría, requieren trabajos de mantenimiento preventivo como sellado de fisuras y reparación de la losa de calzada. Sin embargo, aquellas zonas que presentan pérdida de secciones de la carpeta de rodadura, sí requerirán de la reconstrucción de la misma.

RECOMENDACIONES

1. En el caso de la Av. Sta. Rosa de pavimento flexible y después de haber sido evaluada por el método VIZIR no se recomienda un proyecto de mantenimiento preventivo-rutinario sino un proyecto de rehabilitación o mejoramiento como es el caso de avenidas paralelas que han pasado de pavimento flexible a pavimento rígido durante esta última gestión municipal.
2. Se recomienda realizar el vuelo del dron fotogramétrico a la menor altura posible, dentro de las especificaciones del equipo, para tener una mejor resolución en las ortofotos además de escoger un día y hora de poca afluencia vehicular para evitar que haya zonas de las vías bloqueadas por vehículos durante la captura de las imágenes.
3. Para la Av. Villa María se recomienda un proyecto de mantenimiento preventivo-rutinario debido al buen estado en el que se encuentra la vía de pavimento rígido.
4. La zona del cercado de Villa María del Triunfo posee en su mayor parte suelos arcillosos aparte de un clima húmedo, que junto a las constantes precipitaciones en la época de otoño/invierno, atrae mucho material fino hacia sus vías. Se recomienda implementar un sistema de drenaje a las vías más afectadas por estos fenómenos/características geotécnicas de la zona.
5. La resolución de 2 cm/píxel de las fotos tomadas por el dron no es suficiente para un adecuado reconocimiento de las grietas y fisuras, puesto que, las más fallas más finas son imperceptibles en la imagen. Se recomienda realizar el vuelo de dron a la menor altura posible para obtener una mejor resolución en la imagen de la ortofoto.
6. Como aporte académico es aconsejable normar el uso de drones por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la identificación de fallas en el pavimento según la realidad peruana, teniendo en cuenta las ventajas que presenta sobre el uso de metodologías tradicionales, o también como complemento de las metodologías ya normadas (VIZIR o PCI, por ejemplo); además de acompañar esta normativa con herramientas geomáticas que complementen el procesamiento de la información suministrada por los drones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apolinario Morales, Edwin Wilder (2012). *“Innovación del método VIZIR en estrategias de conservación y mantenimiento de carreteras con bajo volumen de tránsito”*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Cement Association of Canada. (2016). *CONCRETE, even smarter than you think*. Recuperado el 04 de Abril de 2015, de CONCRETE, even smarter than you think: <http://www.cement.ca>
- Cogollos Franco, Alison G. & Martínez Rodríguez, Marly L. (2020). *“Zonificación y recomendaciones de intervención a tramo vial deteriorado aplicando herramientas SIG”*. Universidad Santo Tomás. Bogotá – Colombia.
- González Morgado, D. (2018). *“Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito”*. Universidad Andrés Bello. Santiago de Chile – Chile.
- Gonzales Aspilcueta, Christian Jhonatan & Llata Tello, Raul Teobaldo (2018). *“Herramientas geomáticas para el mantenimiento vial en la Urb. Monterrico Norte – Distrito San Borja – Departamento y Provincia de Lima”*. Universidad Ricardo Palma. Lima – Perú.
- Jugo B. (1993). *Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles*. Caracas – Venezuela.
- Menéndez, J. (2012). *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS: Materiales, Diseño y Conservación (Tercera edición)*. Lima – Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011 – 2021). “Índice Medio Diario Anual”. <http://mtcgeo2.mtc.gob.pe/imdweb/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) *“Manual de inventarios viales RD N°09-2014 MTC/14 incorporación parte IV RD N°022-2015 MTC/14”*. Lima – Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2006). *“Reglamento nacional de gestión de infraestructura vial”*. Lima- Perú.
- Moran Espinoza, Milagros & Malma Montaña, Jesus Daniel (2013) *“Sistema de información geográfico con interfaz web de la ciudad de Puno”* Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Patarroyo Portela, Harrinsson Steven (2019) *“Evaluación de patologías método vizir en pavimentos flexibles y posibles técnicas de rehabilitación del tramo comprendido*

- entre el km 8+500 hasta el km 9+000 de la vía Ibagué-Rovira, departamento del Tolima*” Universidad Cooperativa de Colombia. Ibagué – Colombia.
- Paucar Curo, Elvis Franklin (2019) “*Evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo e índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la av. Floral y jr. Carabaya, Puno.*” Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Quintero Jerez, F. & Ortiz Santiago, A. & Sánchez José, M. (2015). “*Plan de mantenimiento para pavimento rígido y flexible sobre las vías del estado de Mérida*”. Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”. Mérida – Venezuela.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (2005). *LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas (Vol. 2)*. Ciudad de México – México.
- Sánchez Ramírez, Jenny C. (2017). “*Evaluación del estado del pavimento de la av. Ramón Castilla, Chulucanas, mediante el método PCI*”. Universidad de Piura. Piura – Perú.
- Sarmiento, J., & Arias, T. (2015). “*Análisis y diseño vial de la avenida Martir Olaya ubicada en el distrito de Lurín del departamento de Lima*”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima – Perú.
- Silva-Balaguera, A. & Daza-Leguizamón, O. & López-Valiente, L. (2018). “*Gestión de pavimentos basado en sistemas de información geográfica (SIG): una revisión*”, Revista Ingeniería Solidaria, vol. 14, no. 26, 2018. doi: <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Tacza Herrera, Erica Betsabe & Rodriguez Paez, Braulio Omar (2018) “*Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado*” Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima – Perú.
- Vásquez, L. (2002). *Pavement condition index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Ingepav.
- Vivar, G. (1995). “*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS (Segunda edición)*”. Colecciones del Ingeniero Civil. Lima – Perú.
- Yachiyo Engineering Co., Ltd. (2005) “*Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao en la república del Perú (Fase I)*”. Lima – Perú.

Zevallos Gamarra, Rafael Ernesto (2018). *“Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca – 2017.”* Universidad Cesar Vallejo. Lima – Perú.

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	MARCO TEÓRICO
¿De qué manera la sistematización de la información del desgaste prematuro en vías urbanas de pavimento flexible y rígido ayuda en la elección de un mantenimiento adecuado en el distrito de Villa María del Triunfo?	Sistematizar la información según el deterioro cuantificado en vías urbanas debido al tránsito vehicular, tipos de vehículos, clima y otros agentes que favorecen el desgaste prematuro del pavimento rígido y flexible, utilizando el programa ArcGIS Pro ®.	Al sistematizar los factores y/o agentes que favorecen el desgaste del pavimento rígido y flexible en vías urbanas se eligen los métodos de mantenimiento apropiados para evitar su desgaste prematuro.	<p>Variables</p> <p>Variables Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de vehículos. • IMD • Desgaste prematuro. <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propuestas de mantenimientos. • Tipos de mantenimiento de pavimento flexible • Tipos de mantenimiento de pavimento rígido <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fallas por tracción • Fallas por compresión • Fallas superficiales • Fallas profundas <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fotos y videos tomados en campo, fichas técnicas, Google Maps ®. • Modelamiento digital en ArcGIS <p>Diseño Metodológico</p> <p>Método de Investigación: El método a usarse en esta investigación es el deductivo, identificando y reconociendo las variables, organizándolas y hallando posibles soluciones (hipótesis) mediante una investigación de la avenida Villa María en el distrito de Villa María del Triunfo.</p> <p>Tipo de investigación: Es de tipo descriptivo correlacional y explicativo, donde se observa la situación actual del pavimento haciendo una relación con un caso retrospectivo. Así mismo, se describe la tipología de los vehículos que transitan por la zona relacionando las variables.</p> <p>Nivel de investigación: Es descriptivo ya que se busca proponer el método óptimo de mantenimiento de una vía mediante el uso de mapas temáticos, porcentaje de indicadores y cuadros comparativos.</p> <p>Diseño de investigación: El diseño de la investigación es observacional además de transversal y retrospectivo, ya que los datos serán sacados de campo mediante técnicas de medición y luego se procederá a describir las variables.</p>
Problema Específico 1	Objetivo Específico 1	Hipótesis Específica 1	
¿Qué tipos de daños se pueden encontrar en vías de pavimento flexible y rígido?	Identificar los tipos de fallas en el pavimento según la norma técnica peruana vigente para pavimento rígido y flexible.	Al identificar los tipos de fallas según la norma técnica peruana se pueden clasificar y categorizar dependiendo su intensidad.	
Problema Específico 2	Objetivo Específico 2	Hipótesis Específica 2	
¿Qué procedimiento de medición es el más apropiado para identificar las fallas en el pavimento?	Determinar el método de medición adecuado para identificar fallas en pavimento rígido y flexible.	Al evaluar el estado del pavimento por distintos métodos se comparan y se elige el que mejor se adecúa a las necesidades del proyecto.	
Problema Específico 3	Objetivo Específico 3	Hipótesis Específica 3	
¿Cuáles son los tipos de mantenimiento preventivo que se realizan en la actualidad para los pavimentos evaluados?	Determinar los tipos de mantenimiento preventivo en los pavimentos evaluados para mantener su usabilidad.	Al tener una evaluación del estado del pavimento se puede elegir y proponer un mantenimiento preventivo para mantener su usabilidad.	