

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

**Diseño de un sistema de gestión de infraestructura vial urbana sustentable de la zona de la cabecera cantonal de Santa Isabel para el plan de movilidad**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil


**Autores:**

Cristian Patricio Guerrero Arévalo

Wilson Israel Zhagui Contreras

**Director:**

Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco

ORCID:  0000-0002-5797-1153

Cuenca, Ecuador

2024-01-04

## Resumen

En este trabajo de Titulación se implementa un Sistema de Gestión de Infraestructura Vial con parámetros de sostenibilidad para el cantón Santa Isabel, Azuay, Ecuador mediante la plataforma de programación MATLAB Online. Esta plataforma permite procesar los datos de manera automatizada calculando el ICF e implementar la herramienta de toma de decisiones para obtener resultados jerárquicos de la condición del pavimento asfáltico y adoquinado. Sin embargo, se prevé aproximaciones futuras de las condiciones de la red de pavimentos mediante matrices de transición de Markov; sugiriendo tipos de tratamiento, intervenciones priorizadas y costos para cada área del pavimento con el fin de mejorar el nivel funcional de la red vial de Santa Isabel. La metodología de gestión utilizada es Windshield Survey, que se aplica a nivel de red, ésta permite obtener como indicador de la condición de la infraestructura el ICF (Índice de Condición Funcional). Como resultados del programa la alternativa combinada 1 mejorando la condición futura y con un costo aproximado de \$11 millones para pavimento asfáltico y de \$1 millón para pavimento adoquinado. Además, en sostenibilidad usando los programas Invest y PaLate, se identificó la falta de planificación adecuada para reducir el gasto de recursos y su impacto ambiental. Finalmente, es importante destacar que este innovador programa proporciona a cualquier entidad de gestión de pavimentos una serie de herramientas útiles para administrar adecuadamente los pavimentos y brindar ayuda confiable para gestionar su red de manera sostenible y de acuerdo al presupuesto destinado para dichas obras.

*Palabras clave:* movilidad, gestión vial, tecnología vial, sostenibilidad ambiental, cantón Santa Isabel



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.  
Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

This thesis implements a Road Infrastructure Management System with sustainability parameters for the canton of Santa Isabel, Azuay, Ecuador using the MATLAB Online programming platform. This platform enables automated data processing by calculating the ICF and implementing a decision-making tool to obtain hierarchical results regarding the condition of asphalt and cobblestone pavement. Future plans involve utilizing Markov transition matrices to estimate the condition of the pavement network, suggest types of treatment, prioritize interventions, and evaluate costs for each pavement area. This aims to improve the functionality of the Santa Isabel Road network. The management methodology used is Windshield Survey, which is applied at the network level. This allows for the calculation of the ICF (Functional Condition Index) as an indicator of the infrastructure's condition. As a result of the program, the combined alternative 1 improved the future condition and cost approximately \$11 million for asphalt pavement and \$1 million for cobblestone pavement. Furthermore, in the context of sustainability, the Invest and PaLate programs revealed a lack of adequate planning to minimize resource consumption and its environmental impact. Finally, it is important to highlight that this innovative program provides pavement management entities with a variety of useful tools to effectively oversee pavements and offer dependable support in maintaining their network within the allocated budget for such projects.

*Keywords:* mobility, road management, road technology, environmental sustainability, Santa Isabel canton



**The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.**

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

<b>Capítulo 1. Generalidades</b> .....	18
1.1. Introducción.....	18
1.2. Antecedentes .....	19
1.3. Definición del problema .....	19
1.4. Justificación .....	20
1.5. Alcance.....	20
1.6. Objetivos .....	21
1.6.1. General .....	21
1.6.2. Específicos .....	21
<b>Capítulo 2. Marco teórico</b> .....	22
2.1. Concepto de infraestructura.....	22
2.2. Concepto de gestión vial .....	22
2.3. Concepto de sistema de gestión de pavimentos .....	23
2.4. Diagrama de flujo para el sistema de gestión de la infraestructura.....	24
2.5. Metodologías de evaluación superficial de condición de pavimento .....	24
2.5.1. Método <i>Windshield Survey</i> .....	24
2.5.2. Índice de condición del pavimento (PCI).....	27
2.6. Jerarquización y Priorización .....	28
2.7. Matrices de transición de Markov .....	28
2.8. Sostenibilidad .....	29
2.9. Herramientas usadas para evaluar la sostenibilidad .....	29
2.9.1. <i>PaLATE</i> .....	29
2.9.2. <i>Invest</i> .....	31
2.10. Análisis de Ciclo de Vida (LCA).....	32
2.11. Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCCA) .....	33
2.11.1. Costos Unitarios .....	34
2.11.2. Costos Locales.....	34
2.12. Definición del Pavimento .....	34
2.13. Tipos de pavimentos y mantenimientos .....	35
2.13.1. Pavimento Flexible o Asfáltico.....	35
2.13.2. Pavimento Adoquinado .....	36
2.13.3. Tipos de Mantenimientos .....	37
2.14. Fallas en los pavimentos .....	38



2.14.1. Clasificación de las fallas .....	38
2.14.2. Fallas en pavimentos asfálticos .....	39
2.14.3. Fallas en pavimentos adoquinados .....	55
Capítulo 3. Materiales y Métodos .....	66
3.1. Zona de Estudio .....	66
3.2. Recolección de Datos .....	68
3.3. Inventario Vial .....	69
3.4. Métodos de evaluación .....	70
3.4.1. Método <i>Windshield</i> .....	70
3.4.2. Método <i>Windshield</i> para pavimentos flexibles .....	73
3.4.3. Método <i>Windshield</i> para pavimentos Semirrígidos o Adoquinados .....	79
3.4.4. Método PCI para pavimentos Flexibles .....	81
3.4.5. Método alternativo para pavimentos Semirrígidos o Adoquinados .....	85
3.5. Análisis para pavimento de Lastre .....	88
3.6. Metodología para la Toma de Decisiones .....	89
3.6.1. Optimización de la Red Vial .....	89
3.6.2.1. Matrices estándar de probabilidad de transición de Markov .....	92
3.6.3. Priorización en la intervención de la red vial .....	96
3.6.2. Jerarquización en la intervención de la red vial .....	96
3.7. Rubros referenciales para el análisis presupuestal .....	97
3.8. Metodología para analizar sostenibilidad y costos de intervención .....	100
Capítulo 4. Desarrollo y Manual del Programa .....	101
4.1. Ingreso de Tramo .....	104
4.2. Visualizar Base de Datos .....	106
4.3. Toma de Decisiones .....	107
4.3.1. Análisis de Mantenimiento .....	108
4.3.2. Resultados de Mantenimiento .....	110
4.3.3. Análisis de Intervención .....	111
4.4. Sostenibilidad .....	117
Capítulo 5. Resultados y Análisis .....	118
5.1. Resultados de la validación de los métodos de evaluación .....	118
5.1.1. Comprobación del método <i>Windshield</i> a través del PCI para pavimentos Flexibles .....	118
5.1.2. Comprobación del método <i>Windshield</i> para pavimentos Semirrígidos o Adoquinados .....	124
5.2 Resultados Herramienta MATLAB .....	130

5.2.1. Índice de Condición Funcional (ICF) del pavimento.....	130
5.2.2. Resultados de tipos de mantenimientos y tratamientos que determina el programa .....	131
5.2.3. Resultados de la evolución de la red vial mediante el uso de matrices de Markov .....	135
5.2.4. Condición actual de la red vial.....	140
5.2.5. Resultados de las intervenciones para la red vial .....	141
5.3. Resultados de los Softwares INVEST Y PaLATE.....	161
5.3.1. Resultados del programa INVEST.....	161
5.3.2. Resultados del programa PaLATE.....	163
5.3.3. Resultados de costos para los diferentes tipos de Mantenimientos (PaLATE).....	164
5.3.4. Resultados medioambientales para los diferentes tipos de Mantenimientos (PaLATE).....	166
Capítulo 6. Conclusiones Y Recomendaciones.....	170
6.1. Conclusiones .....	170
6.2. Recomendaciones.....	172
Referencias .....	174
Anexos.....	178

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo para el Sistema de Gestión de la Infraestructura Vial del cantón Santa Isabel.....	24
Figura 2. Ejemplo de un pavimento flexible.....	36
Figura 3. Estructura de un pavimento asfáltico (Armijos, 2009).....	36
Figura 4. Estructura de un pavimento adoquinado (DINO, 2013). (Recuperado de <a href="https://es.slideshare.net/sanchezlarosa/2-adoquines-de-cemento-mejorado">https://es.slideshare.net/sanchezlarosa/2-adoquines-de-cemento-mejorado</a> ). ....	37
Figura 5. Sistema Vial del cantón Santa Isabel (PDOT de Santa Isabel, 2020).....	68
Figura 6. Distribución de nodos para la evaluación vial (PDOT de Santa Isabel). ....	70
Figura 7. Ábaco para la obtención del valor deducible por agrietamiento de bloque de acuerdo a la Norma ASTM D6433-11. ....	71
Figura 8. Ventana en MATLAB Online para su posterior ejecución del programa. ....	102
Figura 9. Ventana en MATLAB Online para añadir librería.....	103
Figura 10. Ventana en MATLAB Online para instalar librería. ....	103
Figura 11. Ejecución del programa en MATLAB Online. ....	104
Figura 12. Página principal con el menú del programa de gestión vial. ....	104
Figura 13. Página para el ingreso de información del tramo y tipos de fallas del pavimento asfáltico.....	105
Figura 14. Página para el ingreso de información del tramo y tipos de fallas del pavimento lastrado.....	106
Figura 15. Página de visualización de base de datos y eliminación de tramos.....	107
Figura 16. Página de Toma de Decisiones.....	107
Figura 17. Sub pestaña de nota importante para el “Análisis de Mantenimiento”. ....	108
Figura 18. Sub pestaña de los 8 criterios para la obtención del IDC. ....	109
Figura 19. Sub pestaña de la configuración de los 8 criterios para la obtención del IDC... ..	109
Figura 20. Pestaña de Resultados de mantenimiento. ....	110
Figura 21. Informe detallado de resultados de mantenimiento en formato pdf para su impresión. ....	111
Figura 22. Página de Análisis de Intervención. ....	112
Figura 23. Configuración de Matrices de Markov. ....	113
Figura 24. Configuración de Rubros.....	114
Figura 25. Pestaña en el navegador sobre los rubros estipulados para el cantón Santa Isabel. ....	114
Figura 26. Resultados del análisis de Intervención a priori.....	115
Figura 27. Resultados finales del análisis de Intervención verificando el presupuesto de la entidad.....	116
Figura 28. Resultados finales para imprimir. ....	116
Figura 29. Informe Final sobre el Análisis de Intervención con su respectivo costo. ....	117
Figura 30. Herramientas para el análisis de ciclo de vida y sostenibilidad.....	117
Figura 31. Dispersión de datos de la correspondencia de los métodos evaluados.....	129
Figura 32. Proyección del estado de condición funcional de los pavimentos flexibles a 20 años.....	136
Figura 33. Proyección del estado funcional de la red vial para pavimentos flexibles. ....	137
Figura 34. Costos de intervención para la recuperación de la condición funcional del pavimento flexible. ....	137
Figura 35. Proyección del estado de condición funcional de los pavimentos semirrígidos, articulados o adoquinados proyectado a 20 años. ....	138

Figura 36. Proyección del estado funcional de la red vial para pavimentos semirrígidos, articulados o adoquinados. ....	139
Figura 37. Costos de intervención para la recuperación de la condición funcional del pavimento adoquinado.....	139
Figura 38. Estado de la red vial de Santa Isabel. ....	140
Figura 39. Costos y evolución de los pavimentos flexibles Sin Intervención.....	141
Figura 40. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento Preventivo. ....	142
Figura 41. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento Correctivo. ....	143
Figura 42. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento de Recapeo. ....	144
Figura 43. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento de Rehabilitación. ....	145
Figura 44. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento de Reconstrucción. ....	145
Figura 45. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con alternativa combinada 1... ..	146
Figura 46. Costos y evolución de los pavimentos flexibles vial con alternativa combinada 2. ....	147
Figura 47. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con alternativa combinada 3... ..	147
Figura 48. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con alternativa combinada 4... ..	148
Figura 49. Evolución de la condición de los pavimentos flexibles de acuerdo a su intervención proyectada a 20 años.....	149
Figura 50. Comparativa de costos totales por intervención aplicada para pavimentos flexibles a 20 años. ....	150
Figura 51. Evolución de costos para Alternativa Combinada 1 a 20 años para pavimentos flexibles.....	151
Figura 52. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados Sin Intervención. ....	152
Figura 53. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento Preventivo.....	152
Figura 54. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento Correctivo. ....	153
Figura 55. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento de Recapeo. ....	154
Figura 56. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento de Rehabilitación. ....	155
Figura 57. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento de Reconstrucción. ....	155
Figura 58. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 1. ....	156
Figura 59. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 2. ....	157
Figura 60. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 3. ....	157
Figura 61. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 4. ....	158
Figura 62. Evolución de la condición de los pavimentos adoquinados de acuerdo a su intervención proyectada a 20 años.....	159

Figura 63. Comparativa de costos totales por intervención aplicada para pavimentos adoquinados a 20 años.....	160
Figura 64. Evolución de costos para Alternativa Combinada 1 a 20 años para pavimentos adoquinados. ....	160
Figura 65. Resultado de la alternativa 1 en INVEST (U.S. Department of Transportation-Federal Highway Administration , 2021).....	161
Figura 66. Resultado de la alternativa 2 en INVEST (U.S. Department of Transportation-Federal Highway Administration, 2021).....	161
Figura 67. Costos de intervención de la primera alternativa (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).....	164
Figura 68. Costos de intervención de la segunda alternativa (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).....	165
Figura 69. Costo anual de intervención y costo total de cada alternativa para la Av. Isauro Rodríguez. ....	166
Figura 70. Primera Alternativa - Consumo de Energía (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).....	167
Figura 71. Segunda Alternativa - Consumo de Energía (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).....	167
Figura 72. Primera Alternativa - Emisiones de CO2 (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).....	168
Figura 73. Segunda Alternativa - Emisiones de CO2 (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).....	168

## Índice de tablas

Tabla 1. Condiciones generales de un pavimento (VDOT, 2006).....	25
Tabla 2. Deterioros significativos de un pavimento (VDOT, 2006).....	26
Tabla 3. Clasificación estándar de PCI (ASTM D6433, 2011). ....	27
Tabla 4. Rubros para cambio de carpeta asfáltica y bacheo mayor (Servicio nacional de Contratación Pública (Sercop), 2008-2023). ....	30
Tabla 5. Niveles de severidad para huecos (Vásquez, 2002).....	50
Tabla 6. Extensión de los tipos de pavimento del Cantón Santa Isabel (PDOT Santa Isabel). ....	66
Tabla 7. Valores deducibles para agrietamiento por bloque. ....	71
Tabla 8. Parámetros para cálculo del ICF a través del método Windshield. ....	75
Tabla 9. Hoja de encuesta para determinar ICF para pavimentos flexibles (modificado de Cedillo y Pauta, 2023).....	76
Tabla 10. Índice de Condición Funcional del pavimento mediante el método Windshield (Obtenido de: VDOT, 2006). ....	78
Tabla 11. Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF) (Higuera y Pacheco, 2010).....	80
Tabla 12. Hoja de encuesta para determinar ICF para pavimentos adoquinados (modificado de Cedillo y Pauta, 2023). ....	81
Tabla 13. Deterioros para pavimentos flexibles (ASTM D-6433, 2011). ....	82
Tabla 14. Rangos de calificación del pavimento (PCI) (Vásquez, 2002).....	84
Tabla 15. Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF) (Higuera y Pacheco, 2010).....	85
Tabla 16. Hoja de evaluación en campo (modificado de Higuera y Pacheco, 2010). ....	87
Tabla 17. Ocho criterios para el análisis del tipo de mantenimiento y valor del IDC (Talmage, Mogrovejo, & Zhang, 2011).....	91
Tabla 18. Mantenimientos sugeridos en base al IDC (Talmage, Mogrovejo, & Zhang, 2011). ....	91
Tabla 19. Tratamientos sugeridos de acuerdo al tipo de mantenimiento y pavimento (Vásquez, 2002).....	92
Tabla 20. Valores de predicción de deterioro sin intervención (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011). ....	93
Tabla 21. Valores de predicción de deterioro para un mantenimiento preventivo (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011). ....	93
Tabla 22. Valores de predicción de deterioro para un mantenimiento Correctivo (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011). ....	94
Tabla 23. Valores de predicción de deterioro para un Recapeo (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011). ....	95
Tabla 24. Valores de predicción de deterioro para una rehabilitación (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011). ....	95
Tabla 25. Valores de predicción de deterioro para una Reconstrucción (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011). ....	96
Tabla 26. APU referencial para pavimentos flexibles. ....	98
Tabla 27. APU referencial para pavimentos flexibles. ....	99
Tabla 28. Presupuesto referencial para cada tipo de pavimento. ....	100
Tabla 29. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 2_1A--3A.....	119
Tabla 30. Valores deducidos para el tramo 2_1A--3A. ....	120

Tabla 31. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 2_1A--3A. ....	120
Tabla 32. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 2_1A--3A. ....	120
Tabla 33. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 2_1A--3A. ....	121
Tabla 34. Resultado PCI de todos los tramos. ....	121
Tabla 35. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 2_1A--3A. ....	122
Tabla 36. Resultado Windshield de todos los tramos. ....	123
Tabla 37. Resultado de evaluación de todos los tramos. ....	123
Tabla 38. Parámetros estadísticos de estimación del método. ....	124
Tabla 39. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 5C--4C--3C. ....	125
Tabla 40. Resultado del método Higuera y Pacheco de todos los tramos. ....	126
Tabla 41. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5C--4C--3C. ....	127
Tabla 42. Resultado Windshield de todos los tramos. ....	128
Tabla 43. Resultado de evaluación de todos los tramos. ....	128
Tabla 44. Parámetros estadísticos de estimación del método. ....	129
Tabla 45. ICF obtenidos para cada tramo. ....	130
Tabla 46. Tipo de mantenimiento y tratamiento sugerido para la calle Isauro Rodríguez. .	132
Tabla 47. Tipo de mantenimiento y tratamiento sugerido para la red vial. ....	132
Tabla 48. Estado actual de la red vial de pavimento flexible. ....	136
Tabla 49. Estado actual de la red vial de pavimento semirrígido, articulado o adoquinado. ....	138
Tabla 50. Diferencias obtenidas entre las alternativas evaluadas en INVEST. ....	162
Tabla 51. Resultados de costos de las alternativas aplicadas. ....	165
Tabla 52. Contraste de resultados de las dos alternativas de intervención aplicadas al pavimento de la Av. Isauro Rodríguez. ....	169
Tabla 53. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 2_1A--3A. ....	178
Tabla 54. Valores deducidos para el tramo 2_1A--3A. ....	179
Tabla 55. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 2_1A--3A. ....	179
Tabla 56. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 2_1A--3A. ....	179
Tabla 57. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 2_1A--3A. ....	179
Tabla 58. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 3A--5A. ....	180
Tabla 59. Valores deducidos para el tramo 3A--5A. ....	181
Tabla 60. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 3A--5A. ....	181
Tabla 61. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 3A--5A. ....	181
Tabla 62. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 3A--5A. ....	181
Tabla 63. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 5B--5C. ....	182
Tabla 64. Valores deducidos para el tramo 5B--5C. ....	182
Tabla 65. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 5B--5C. ....	182
Tabla 66. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 5B--5C. ....	182
Tabla 67. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 5B--5C. ....	182
Tabla 68. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 5C--5C2. ....	183
Tabla 69. Valores deducidos para el tramo 5C--5C2. ....	183
Tabla 70. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 5C--5C2. ....	183
Tabla 71. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 5C--5C2. ....	183
Tabla 72. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 5C--5C2. ....	183
Tabla 73. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 5D--5C2. ....	184



Tabla 74. Valores deducidos para el tramo 5D--5C2.....	184
Tabla 75. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 5D--5C2.....	184
Tabla 76. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 5D--5C2.....	184
Tabla 77. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 5D--5C2. ....	184
Tabla 78. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 3D--3_1D. ....	185
Tabla 79. Valores deducidos para el tramo 3D--3_1D.....	185
Tabla 80. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 3D--3_1D.....	186
Tabla 81. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 3D--3_1D.....	186
Tabla 82. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 3D--3_1D. ....	186
Tabla 83. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 3_1D--5D. ....	187
Tabla 84. Valores deducidos para el tramo 3_1D--5D.....	187
Tabla 85. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 3_1D--5D.....	188
Tabla 86. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 3_1D--5D.....	188
Tabla 87. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 3_1D--5D. ....	188
Tabla 88. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 5C--4C--3C. ....	189
Tabla 89. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3C--3B1. ....	190
Tabla 90. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3B1--3A.....	192
Tabla 91. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3C--2C. ....	193
Tabla 92. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3B1--4B1.....	194
Tabla 93. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3B--2B. ....	195
Tabla 94. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3C--3D.....	196
Tabla 95. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 2_1A--3A.....	198
Tabla 96. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3A--5B. ....	199
Tabla 97. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5B--5C.....	200
Tabla 98. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5C--5C2. ....	201
Tabla 99. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5D--5C2. ....	203
Tabla 100. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3D--3_1D. ....	204
Tabla 101. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3_1D--5D. ....	205
Tabla 102. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5C--4C--3C. ....	206
Tabla 103. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3C--3B1. ....	207
Tabla 104. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3B1--3A.....	208



Tabla 105. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3C--2C. ....	209
Tabla 106. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3B1--4B1.....	210
Tabla 107. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3B--2B. ....	211
Tabla 108. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3C--3D. ....	212

### Dedicatoria

El presente va dirigido con mucho amor, cariño y especial estima a mis padres Luis y Teresa, a mis hermanos Fernando y Bryan, a mis cuñadas Leyda y Daniela y a todos mis sobrinos y sobrinas, quienes han sido siempre una fuente incondicional de aliento, apoyo y guía a lo largo del fuerte y arduo trayecto del sendero de la vida. Porque nunca me han desamparado y han sabido estar en el momento preciso para creer en mí y motivarme a nunca dar marcha atrás al afrontar las vicisitudes que se han presentado en el camino de perseguir mis sueños con intensa pasión y determinación. Este trabajo de titulación es el resultado de la más grande muestra de unión, apoyo, esfuerzo, amor y sacrificio de cada una de las personas mencionadas, que nunca han dado su brazo a torcer a fin de motivar la inspiración necesaria para llevar con total vehemencia el cumplimiento de cada uno de los logros que me han llevado a culminar con total éxito esta gran meta en mi vida y que a su vez representa la apertura de un mar de nuevos objetivos que gracias a la complicidad y confianza de mis seres queridos se impulsará el motor del alcance de nuevos logros que alimentarán mi engrandecimiento personal y desarrollo profesional muy exitosamente.

*Cristian Patricio Guerrero Arévalo*

## Dedicatoria

Este trabajo de titulación se lo dedico a toda mi familia: Wilson, Mercy, Alexander, Emy y Sara. Que, de no de ser por ellos, no estaría escribiendo estas pocas líneas de total gratitud y dedicatoria. Me dedico a mí este logro por ser resiliente, decidido y apasionado cuando las cosas se tienen que hacer. Además, sé que este es un pequeño ascenso para abrirme paso en la vida como profesional y que encantado, cumpliré los retos que se me presenten a lo largo del camino.

*Wilson Israel Zhagui Contreras*

## Agradecimiento

Queridos profesores, familiares y amigos. Con profunda gratitud y alegría, me dirijo a ustedes en este momento trascendental de mi vida para expresar mi sincero agradecimiento por el apoyo inquebrantable que me han brindado durante mi proceso de investigación y redacción de esta tesis de pregrado.

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a mi respetado asesor de tesis, Ing. Daniel Mogrovejo, por su orientación experta, paciencia infinita y dedicación incansable. Su sabiduría y experiencia han sido la brújula que ha guiado este trabajo hacia la excelencia, y estoy verdaderamente agradecido por su mentoría. Agradezco a los distinguidos profesores, Ing. Jaime Bojorque e Ing. Diana Mora, miembros del comité de esta tesis, por su valioso tiempo, sabios consejos y la inspiración que han proporcionado a lo largo del desarrollo de este trabajo de titulación. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mi crecimiento intelectual y me han motivado a alcanzar estándares más altos.

Mi más sincero agradecimiento se extiende a mi familia y amigos, cuyo apoyo constante ha sido mi fuente de fortaleza. Su aliento inquebrantable y amor incondicional han sido los pilares sobre los cuales he construido mi éxito académico. Este logro no habría sido posible sin su presencia constante en mi vida. También agradezco a mi compañero de tesis, Wilson Zhagui, a mis compañeros de clase y a todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron a mi proceso de investigación. Su colaboración y discusiones enriquecedoras han sido fundamentales para la formación de mis ideas y la mejora de mi trabajo.

Finalmente, dedico este logro a mi propia perseverancia y determinación. Este viaje académico ha sido desafiante, pero cada obstáculo superado ha sido una lección aprendida y un paso más hacia mi crecimiento personal y profesional.

En resumen, agradezco profundamente a cada persona que ha formado parte de este viaje. Su influencia ha dejado una marca imborrable en mi vida, y este logro no solo es mío, sino de todos ustedes que han sido parte integral de mi trayectoria académica.

Con gratitud y aprecio,

*Cristian Patricio Guerrero Arévalo*

### Agradecimiento

Para todos mis lectores quiero dejar sentado este cordial agradecimiento a mis familiares, amigos y docentes que estuvieron presentes a lo largo de estos años de carrera universitaria. Este trabajo refleja parte de los conocimientos adquiridos en esta prestigiosa Universidad y este logro es debido al apoyo incondicional y perseverancia de mi compañero Cristian guerrero y mi persona. Con ello, le agradezco a mi compañero por su comprensión, apoyo, comentarios, amistad y motivación a pesar de los muchos obstáculos logramos culminar nuestro trabajo de titulación.

En primer lugar, agradezco a mi tutor de tesis, el Ing. Daniel Mogrovejo que, con sus conocimientos, paciencia, apoyo, experiencia, sugerencias que contribuyeron a obtener este logro. Por otro lado, quiero reconocer a los miembros del comité de revisión; el Ing. Jaime Bojorque y la Ing. Diana Mora que, con sus conocimientos, comentarios constructivos, análisis y correcciones en la revisión de la tesis hicieron que este trabajo sea más enriquecedor hacia mi persona y para cualquier persona interesada en contribuir en lo que es un Sistema de Gestión de Infraestructura Vial.

No puedo dejar pasar el total y completo agradecimiento a mis Padres, Wilson y Mercy, a mis hermanos, Alexander y Emily, que, con su tiempo, palabras de aliento, apoyo incondicional a pesar de los malos momentos me ayudaron a superar cualquier obstáculo y a aprender de mis errores. Por último, y no menos importante le agradezco este logro a mi abuelita Sara, que de no ser por ella no estaría en esta posición. Una vez mencionado toda mi familia, quiero una vez más recalcar que fueron, son y serán mi pilar fundamental en este viaje de la vida profesional.

Finalmente, me agradezco a mi este logro, uno de los muchos que están en mente. Además, a todas esas personas que es imposible mencionarlas a cada una de ellas, pero formaron parte en este camino universitario. Este logro no solo es mío, es de todos ustedes.

*Muy agradecido, Wilson Israel Zhagui Contreras*

## Capítulo 1. Generalidades

### 1.1. Introducción

Realizar una evaluación funcional de la infraestructura vial es muy importante, puesto que de esta manera se establece la condición superficial del pavimento. Además, la condición superficial es aquella que el usuario percibe y valora (Bazant, 1983). Por ello, realizar una evaluación integral del pavimento por medio de métodos no destructivos significa obtener una forma sostenible y aceptable para determinar el tipo de intervención que se requiere.

En el presente trabajo de titulación se pretende realizar un estudio en el cantón Santa Isabel, en la zona este de la cabecera cantonal, pues ésta representa la zona más importante y concurrida, implicando mayores factores de afectación de la red vial. La finalidad de este estudio consiste en determinar el estado funcional de la red vial, tanto pavimentada como no pavimentada y sugerir a las autoridades competentes del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Santa Isabel las soluciones de intervención más adecuadas y favorables a fin de mantener adecuadamente el estado funcional y estructural de la red vial del sector, aportando favorablemente al desarrollo socioeconómico de la zona debido a la mejoría de la calidad de su movilidad.

Saber la condición de daño de la estructura vial es fundamental para proceder adecuadamente con las intervenciones de mantenimiento, así como también, para ser capaces de obtener una proyección de la condición estructural del pavimento a futuro. Para lograr alcanzar esta meta, es necesario adquirir información de fácil obtención a través de la aplicación de criterios sencillos de evaluación de condición. Para el caso de vías pavimentadas es posible utilizar metodologías como la del *Pavement Condition Index* (PCI) de acuerdo a la norma ASTM D6433-11, *Windshield Pavement Condition Index* (*Windshield Survey*), en cambio, para las vías no pavimentadas, se utiliza un método simple o sencillo de clasificación en función de su estado de funcionalidad que consiste en una inspección visual que determina un estado bueno, aceptable o malo para cada tramo de vía de acuerdo a sus condiciones y fallas comunes (Cárdenas, 2012).

Estas metodologías anteriormente mencionadas, con las que se realiza el análisis funcional de la red vial tanto pavimentada como no pavimentada muestran diferentes tipos de daños y formas de medición, diferenciando el caso del PCI, *Windshield Survey* y la inspección visual de las vías no pavimentadas, puesto que éste último evalúa las características de la vía como la señalización, el diseño geométrico, la importancia de la vía, etc. Cada una de las

metodologías tienen su propio manual y se encuentran regidas a las normativas correspondientes al país a aplicar, adicionalmente, son aceptadas por diferentes departamentos viales.

Por ello, con los resultados obtenidos del análisis de cada metodología aplicada se creará un sistema de gestión de la infraestructura para clasificar, optimizar, priorizar las intervenciones requeridas en función de curvas de deterioro orientadas a las distintas familias de pavimentos estudiados y facilitar la toma de decisiones idóneas en cuanto a tratamientos, mantenimiento y costos, y rehabilitación con criterios de sostenibilidad.

## 1.2. Antecedentes

La red vial perteneciente al cantón Santa Isabel, Azuay, Ecuador mantiene una base de datos desactualizada en cuanto al inventario vial, puesto que dicha base de datos es del año 2015 y existen varias vías que se indican como lastradas, pero actualmente se encuentran pavimentadas. Además, de acuerdo a las declaraciones de las autoridades del GAD municipal de Santa Isabel hasta la fecha la red vial tanto pavimentada como no pavimentada no ha sido evaluada de una forma técnica con ninguno de los métodos de evaluación anteriormente mencionados, por ello, no se cuenta con una base de datos existente que permita tener una guía comparativa para verificar el estudio que se realizará.

Sin embargo, en el cantón Cuenca existen estudios realizados usando la metodología del PCI para validar la del *Windshield Survey* por medio una comparativa de resultados, lo que ayudará a tomar las decisiones más adecuadas en cuanto a las intervenciones que se deban aplicar a las vías pavimentadas y no pavimentadas con el fin de otorgar soluciones acertadas, confiables y apropiadas.

## 1.3. Definición del problema

Las redes viales, sin lugar a dudas son una necesidad esencial en el mundo moderno, de la cual, la disponibilidad de una infraestructura de transporte idónea capaz de llegar a todos los rincones dentro de una misma ciudad, lleva a mejorar la calidad de vida, tanto de la población propia del sitio como de sus visitantes. La construcción, mejoramiento y mantenimiento de cualquier ruta, lo que representa la concreción de anhelos a veces largamente esperados (Sabadell, 2011). De esta manera el cantón Santa Isabel actualmente carece de un Sistema de Gestión de la Infraestructura vial, lo que hace necesario la implementación de este sistema mediante la priorización de los tramos a intervenir en función de su estado de condición para la optimización de presupuesto a distribuir en cada tramo.

#### 1.4. Justificación

El estado brinda un presupuesto anualmente a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) para el mantenimiento y conservación de la vía con el fin de establecer información del estado de deterioro de la red de pavimentos. Por otro lado, el GAD de Santa Isabel no cuenta hasta la actualidad con un Sistema de Gestión de Infraestructura Vial. De esta manera, la importancia de llevar a cabo una evaluación sistemática de los pavimentos y su condición es para determinar el nivel de servicio que ofrecen y el tipo de tratamiento que se requiere para mantenerlos en buenas condiciones y optimizar el presupuesto para la conservación de la red vial.

Es necesario que la condición de la red sea evaluada periódicamente para detectar problemas y tomar las medidas necesarias a tiempo. Por otro lado, las metodologías empleadas en esta evaluación son el PCI, *Windshield Survey*, la inspección visual y guías que identifican y califican las diferentes patologías en los pavimentos. Cabe recalcar, que dichas metodologías son no destructivas haciendo que el manejo de la base de datos sea de manera sostenible.

El presente trabajo de titulación desarrollará un sistema de gestión para zona este de la cabecera cantonal de Santa Isabel que está enfatizado a la importancia de llevar a cabo una evaluación sistemática de los pavimentos para mantenerlos en buen estado, y la importancia de utilizar datos confiables y criterios sólidos para la toma de decisiones en cuanto a la intervención y presupuestos.

#### 1.5. Alcance

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo desarrollar un Sistema de Gestión de la Infraestructura vial de la zona Este de la cabecera cantonal de Santa Isabel-Azuay-Ecuador en los distintos tipos de pavimento: flexible, semirrígido (adoquinado) y sin pavimentar. Se implementará un Programa de gestión desarrollado por la herramienta *MATLAB Online (Basic)*. Los datos provenientes de la evaluación se realizan por el método *Windshield Survey* y se obtiene como indicador de la condición de la infraestructura el índice de Condición Funcional (ICF).

Posterior a ello, se valida la información analizada por el método del PCI para verificar que la toma de decisiones sea eficiente. El área de estudio tiene un total de 8.16 km de red vial, que se divide en 4459 m de pavimento flexible, 1115.68 m de pavimento semirrígido y 2578.32 m sin pavimentar. El método *Windshield* es factible para vías con un pavimento tratado y no se recomienda para carreteras de lastre o tierra.



Por otro lado, para evaluar el deterioro de la carretera a lo largo del tiempo se implementarán las matrices de Markov. Mediante esta metodología se priorizan los tramos de vías en función de su estado de condición para la optimización de alternativas de intervención a aplicar en cada sección de la vía. Sin embargo, desde el punto de vista sostenible se realizará un análisis del ciclo de vida (LCA) y un análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) aplicando los softwares *INVEST* y *PaLATE*. El enfoque de manejo permitirá actuar oportunamente en el tipo de intervención que se debe realizar para mejorar los niveles funcionales de las carreteras de una manera técnica.

## 1.6. Objetivos

### 1.6.1. General

Desarrollar un Sistema de Gestión de Infraestructura vial para evaluar la condición de una red de pavimentos en la zona Este de la cabecera cantonal de Santa Isabel-Azuay-Ecuador utilizando metodologías establecidas que implementen soluciones de intervención para elevar los niveles funcionales de las vías.

### 1.6.2. Específicos

1. Desarrollar matrices de solución para predecir condiciones futuras de acuerdo a cada familia de pavimento en tiempos apropiados de intervención.
2. Documentar las fallas y deterioros de los diferentes tipos de pavimentos para generar una base de datos significativa.
3. Evaluar las condiciones del pavimento usando las metodologías de PCI y *Windshield Survey* para priorizar la intervención y qué tipo de tratamiento es más adecuado para cada caso.
4. Establecer los análisis LCA (análisis del ciclo de vida) y LCCA (análisis de costos de ciclo de vida).
5. Sistematizar los datos con la implementación de soluciones de intervención para mejorar o restaurar los pavimentos de acuerdo con su nivel de deterioro y la disponibilidad de recursos.

## Capítulo 2. Marco teórico

### 2.1. Concepto de infraestructura

El concepto de infraestructura hace referencia al conjunto de instalaciones y servicios que son necesarios para el funcionamiento y crecimiento de una organización. De tal manera, que la infraestructura se define como el conjunto de estructuras de ingeniería e instalaciones, por lo general, de larga vida útil, que constituyen la base sobre la cual se produce la prestación de servicios considerados necesarios para el desarrollo de fines productivos, políticos, sociales y personales.

Otro concepto de interés general para la organización en crecimiento son los servicios básicos de infraestructura, tales como: puentes, carreteras, estructuras gubernamentales, abastecimiento de agua potable y saneamiento, electricidad, telecomunicaciones y transporte colectivo urbano, entre otros. De esta manera la prestación eficiente de una infraestructura vial en conjunto con estos servicios contribuye a la organización que desarrolle ventajas competitivas, alcanzando un mayor grado de productividad. Asimismo, las redes de infraestructura también constituyen un elemento central de la integración del sistema económico y territorial de un país, haciendo posible las transacciones dentro de un espacio geográfico/económico determinado, y con el exterior (Haas, Hudson, & Uddin, 2013).

### 2.2. Concepto de gestión vial

La gestión vial se refiere a la planificación, supervisión, mantenimiento y administración de las infraestructuras viales, como carreteras, calles y autopistas, con el objetivo de garantizar un sistema de transporte seguro, eficiente y sostenible. Esta gestión abarca una serie de actividades y responsabilidades que son esenciales para mantener y mejorar la red de transporte terrestre de una región o país. La gestión involucra generar un óptimo rendimiento de los recursos invertidos analizando los deterioros de la infraestructura y garantizando una mejor calidad a los usuarios. (Gonzalo, Marín, Darío, & Arias, 2014).

Por otro lado, para lograr y mantener la condición mínima deseada para la red vial se requiere de información actualizada y confiable de todos los elementos que componen la infraestructura física de la red, así como de su estado o condición en el momento previo al proceso de planificación propiamente dicho. Asimismo, la proyección futura del estado de todos aquellos elementos de la red resulta clave para la determinación de las necesidades y la consecuente planificación a mediano y largo plazo del mantenimiento, con una estimación de las condiciones futuras (CAF, 2010).

### 2.3. Concepto de sistema de gestión de pavimentos

La “*American Association of State Highway and Transportation Officials*” (AASHTO) define a un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) como una combinación de técnicas y herramientas que ayudan a los tomadores de decisiones a determinar cómo proporcionar, evaluar y mantener los pavimentos en condiciones de serviciabilidad durante un período de tiempo (AASHTO, 1993).

De esta manera se define a SGP como el conjunto de actividades de mantenimiento y/o rehabilitación continuos necesarios para mantener la red vial en un nivel de servicio adecuado. Si el pavimento es intervenido oportunamente con dichas estrategias, se tiene un enfoque de gestión preventivo; de tal manera, que el costo - beneficio será mayor estableciendo seguridad, confort y economía en el transporte.

Los componentes de un sistema básico de gestión de pavimentos son identificados como: base de datos, modelos de desempeño, técnicas de análisis, y herramientas de reporte (FHWA, 1990). Las funciones principales de los componentes básicos incluyen:

- Almacenamiento del inventario y condición de la red de pavimentos.
- Predicción de las condiciones futuras de la red de pavimentos.
- Identificación de las secciones de pavimento que requieren de mantenimiento o rehabilitación. Determinación del presupuesto requerido para realizar los tratamientos de mantenimiento o rehabilitación.
- Asistir en la priorización de proyectos cuando los fondos disponibles son insuficientes para atender las necesidades de mantenimiento y rehabilitación.
- Reportes con los resultados de los análisis.

## 2.4. Diagrama de flujo para el sistema de gestión de la infraestructura

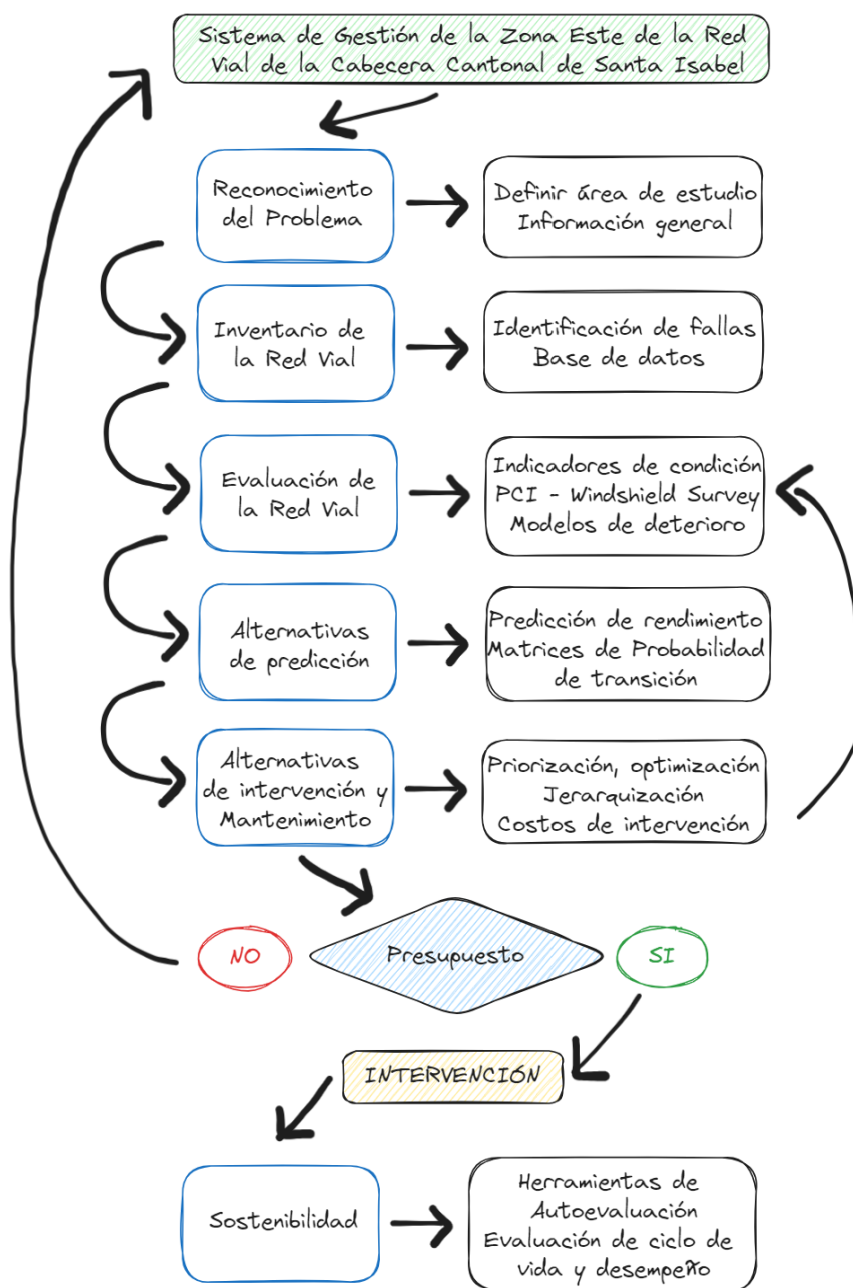


Figura 1. Diagrama de flujo para el Sistema de Gestión de la Infraestructura Vial del cantón Santa Isabel.

## 2.5. Metodologías de evaluación superficial de condición de pavimento

### 2.5.1. Método *Windshield Survey*

*Windshield Survey* es un método de diagnóstico visual, conocido como encuesta de parabrisas. Los técnicos o ingenieros evalúan la condición de una carretera desde el interior de un vehículo que circula a una velocidad no mayor a 40 km/h. Lo observado es registrado y calificado según el estado del pavimento. Además, proporciona una evaluación cuantitativa de la condición del pavimento en base al tipo de falla, la severidad y la frecuencia.

El método divide los deterioros del pavimento en tres índices:

- LDR (*Load-related Distress Rating*), deterioros relacionados con las cargas causadas por el tráfico, como agrietamiento longitudinal en dirección a los ejes.
- NDR (*Non Load-related Distress Rating*), deterioros no relacionados con las cargas por lo que influyen distintos factores como el clima, los materiales y la construcción deficiente.
- El CCI (Índice de Condición Crítica), que es el menor entre LDR y NDR, también se utiliza para evaluar el estado del pavimento.

Cada índice tiene un rango de valores del 0 al 100, donde un valor de 100 indica un nivel alto de servicio, sin fallas visibles y un valor de 0 significa que no es seguro para circular. Estos índices fueron desarrollados por primera vez en 1998 y validados por expertos del departamento de Transporte de Virginia. Los índices antes mencionados generan valores, mediante las siguientes ecuaciones:

- $LDR = 100 - \text{deterioros relacionados con la carga.}$
- $NDR = 100 - \text{deterioros no relacionados con la carga.}$
- $CCI = \text{Valor mínimo entre LDR y NDR.}$

Por otro lado, para determinar el estado final del tramo de vía analizado se aplica el Índice de Condición Crítica (CCI). Lo evaluado visualmente es netamente características cualitativas (comodidad, velocidad de circulación y frenado, seguridad y dificultades en la superficie), es decir, se evalúa el estado funcional de cada tramo para obtener un nivel de servicio óptimo mediante el uso y evaluación de las fallas propuestas por dos departamentos: *Virgin Department Of Transport* y el *North Carolina Department Of Transport* (VDOT, 2006).

Los valores obtenidos de los índices se escalan y se correlacionan con la condición del pavimento, como se indican en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Condiciones generales de un pavimento (VDOT, 2006).

Escala índice	Condición del Pavimento	Probabilidad de Acción Correctiva
>90	Excelente	Muy probable
70-89	Bueno	Improbable
60-69	Regular	Posiblemente
50-59	Pobre	Probable
<49	Muy Pobre	Muy Probable

Los deterioros más significativos de un pavimento se basan en factores como la severidad y frecuencia. En la **Tabla 2** se indican un resumen de las fallas más comunes en relación con los factores antes mencionados.

Tabla 2. Deterioros significativos de un pavimento (VDOT, 2006).

Deterioro/ Factor	Niveles de gravedad	Definición	Como contar
Piel de cocodrilo incluyendo sellado de grietas	Sin gravedad	Grieta longitudinal	Raro: Menos de 10% de la superficie del pavimento.
	Grave	Interconectado	Ocasional: del 10 a 50% de la superficie del pavimento frecuente.
	Muy Grave	Cracking / Spalling	Frecuente: Más del 50% de la superficie del pavimento.
Agrietamiento reflexiones/transversales	Sin gravedad	Grieta visible	Conteo de grietas real
	Grave	Grieta abierta	
	Muy Grave	Astillado y/o adyacentes	
Ahuellamiento	Menos de ½ pulgada	Consenso entre la calificación del equipo	Raro
	Mayor de ½ pulgada	Agua estancada	Extendido
Bacheo	Si	Existencia de algunos parches en la sección	Menos de 10% de la superficie del pavimento
	No	No existen parches en la sección.	Más de 10% de la superficie del pavimento
Paseo de calidad	N/A	Consenso entre la calificación del equipo	Aceptable o inaceptable

### 2.5.2. Índice de condición del pavimento (PCI)

Este índice es usado como una herramienta para analizar el estado del nivel de servicio que presta una carretera. Normalmente se le conoce como PCI y se correlaciona como un “Procedimiento estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en caminos” o mayormente conocido como “Método PCI” (*Pavement Condition Index*), dicha técnica cumple la norma ASTM-D6433-07 y ASTM-D6433-11. El PCI es un indicador numérico que proporciona una medida del estado actual, integridad (no la capacidad) estructural y el estado operacional (rugosidad y seguridad) del pavimento en función de lo observado en la carretera.

Además, el índice de Condición del Pavimento se constituye en la metodología más completa para conocer el comportamiento y calificar de manera objetiva el pavimento sean estos flexibles o rígidos ([Sierra & Rivas, 2016](#)).

El PCI se basa en una escala que varía de 0 a 100, donde el 0 representa a pavimentos en condiciones no transitables y 100 corresponde a pavimentos en perfectas condiciones. Es posible observar en la **Tabla 3** la escala que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., y posteriormente el DOD *Department of Defense* y la APWA *American Public Works Association* lo verificaron y adoptaron ([ASTM D6433, 2004](#)).

Tabla 3. Clasificación estándar de PCI (ASTM D6433, 2011).

Escala de Índice PCI	Condición del Pavimento
85-100	Excelente
70-85	Muy Bueno
55-70	Bueno
40-55	Regular
25-40	Pobre
10-25	Muy Pobre
0-10	Fallado

## 2.6. Jerarquización y Priorización

En un sistema de gestión vial, la **priorización** y **jerarquización** son dos conceptos clave que se utilizan para tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos y la planificación de mantenimiento y mejoras en la red de carreteras y calles. Los dos conceptos son fundamentales para la toma de decisiones tanto como en intervenciones, soluciones y recursos. Se trata de que los recursos sean limitados de manera eficiente enfocándose en las áreas más vulnerables y con nivel de servicio bajo. Es importante tener en cuenta que los criterios de priorización y jerarquización pueden variar según la ubicación geográfica y las necesidades específicas de una región o país.

- **Priorización en un sistema de gestión vial:** La priorización se refiere a la identificación y selección de carreteras, calles o proyectos que requieren atención inmediata o una inversión más alta en función de su importancia o necesidades específicas. La atención inmediata se basa de acuerdo al estado del pavimento, importancia económica, seguridad vial y niveles de tráfico.
- **Jerarquización en un sistema de gestión vial:** La jerarquización se refiere a la clasificación de las carreteras o calles en una red vial en diferentes categorías o niveles de importancia. Esto ayuda a organizar y gestionar la red de manera más eficiente. Además, la jerarquización logra enfocar los recursos y esfuerzos en vías que tienen mayor impacto en la movilidad y economía. Por lo general, los niveles son: vías principales o arterias, vías secundarias, vías locales o calles.

## 2.7. Matrices de transición de Markov

Las matrices de Markov son una herramienta fundamental en la teoría de probabilidades y en la teoría de procesos estocásticos. Estas matrices se utilizan para modelar y analizar sistemas estocásticos, es decir, sistemas que evolucionan de manera aleatoria en el tiempo, donde las transiciones de un estado a otro se rigen por probabilidades. En el contexto de un sistema de infraestructura vial, las matrices de Markov pueden ser una herramienta valiosa para la planificación y el mantenimiento de la infraestructura vial y pueden utilizarse para evaluar cómo cambian las condiciones de la infraestructura con el tiempo y prever futuros escenarios.

Estas matrices se aplican para representar la transición de un estado a otro, donde cada estado puede representar una condición específica de la infraestructura vial. El caso más básico de un proceso estocástico es cuando el resultado de cada etapa solo depende del resultado de la etapa anterior y no de cualquiera de los resultados previos. Estas cadenas



tienen memoria, recuerdan el último evento y afectan las posibilidades de los eventos futuros. Este proceso se conoce como proceso de Markov o cadena de Markov. ([Kohan, 2014](#)).

Por ejemplo, supongamos que se desea modelar la evolución de la calidad del pavimento en una red de carreteras a lo largo de varios años. Se podrían definir diferentes estados de calidad del pavimento, como "excelente", "bueno", "regular" y "malo". A medida que los años avanzan, la matriz se utiliza para prever cómo cambiará la calidad del pavimento en el futuro, considerando las tasas de deterioro, el mantenimiento realizado y otros factores relevantes que posteriormente se representan como probabilidades de transición entre estados en cada año.

## 2.8. Sostenibilidad

La sostenibilidad en un sistema de gestión vial se refiere a la capacidad de planificar, construir, mantener y operar la infraestructura vial de manera que satisfaga las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Implica una gestión responsable de los recursos naturales, financieros y humanos, así como la consideración de los impactos ambientales y sociales a lo largo de la vida útil de las carreteras y calles. Por lo tanto, en este análisis de sostenibilidad en el cantón Santa Isabel se contrasta la planificación de gestión de movilidad y nivel de servicio actual con la futura esperada.

## 2.9. Herramientas usadas para evaluar la sostenibilidad

### 2.9.1. PaLATE

*PaLATE* es un software diseñado por el Consorcio sobre Diseño y Fabricación Ecológica de la Universidad de California-Berkeley. La herramienta evaluó los efectos ambientales, gestión, mantenimiento y económicos del pavimento y la construcción de carreteras. Es un programa de hoja de cálculo que está enfocado al LCA (*Life Cycle Analysis*) y LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*), que compara los costos asociados con los procesos y materiales para un escenario base y alternativo durante la vida útil del proyecto. Además, utiliza datos de inspecciones visuales y mediciones para calcular el índice de condición de los pavimentos y generar informes ([PALATE | Recycled Materials Resource Center, s. f.](#)).

PaLATE da los siguientes resultados ambientales:

- Consumo de energía (MJ).
- Consumo de agua (kg).

- Emisiones de dióxido de carbono (Mg).
- Emisiones de NOx (kg).
- Emisiones de material particulado-10 (kg).
- Emisiones de dióxido de azufre (kg).
- Emisión de monóxido de carbono (kg).
- Información sobre lixiviados (incluido mercurio, plomo, residuos peligrosos generados por RCRA y potencial de toxicidad humana cancerosa y no cancerosa).

Para el análisis de costos se tiene la siguiente tabla de rubros estimados (Servicio Nacional de Contratación Pública (Sercop), 2008-2023) para la ejecución dentro del plan de Sistema de Gestión de Santa Isabel.

Tabla 4. Rubros para cambio de carpeta asfáltica y bacheo mayor (Servicio nacional de Contratación Pública (Sercop), 2008-2023).

<b>Código</b>	<b>Actividad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Unidad</b>
500069	Excavación manual en suelo sin clasificar	14.47	m3
500255	Excavación mecánica en suelo, con retroexcavadora	3.12	m3
503020	Cargado y desalajo de material con Volquete. (Dist.<5.00 km.)	3.24	m3
500353	Transporte de materiales (mejoramiento, base granular)	0.32	m3-km
500385	Bacheo Menor con Base (hasta 20 m2)(no incluye transporte de base)	63.6	m3
500386	Bacheo Mayor con Base (mayor a 20 m2)(no incluye transporte)	32.81	m3
500022	Bacheo asfáltico (hasta 20 m2), incluye mezcla asfáltica	279.37	m3
503038	Bacheo asfáltico (mayor a 20 m2y menor a 1000 m2), incluye mezcla asfáltica	259.76	m3
500287	Acabado de obra básica existente	0.53	m2
503074	Base clase 1 tipo "B" d<1 1/2in, conformación y compactación (No incluye material)	6.52	m3

503048	Base Clase 1. TIPO "B". D<1 1/2". (sin transporte), suministro de material	9.6	m3
500088	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta, e= 2in, suministro tendido y compactado	10.94	m2
503040	Asfalto para imprimación RC-250, suministro y tendido.	1.39	lt
503058	Asfalto RC-250 Para Capa de Liga	1.04	lt
500030	Transporte de mezcla asfáltica, (medido después de compactación)	0.35	m3-km
500387	Corte y sellado de juntas con emulsión asfáltica	3.4	m
500388	Corte de asfalto	1.27	m

### 2.9.2. Invest

INVEST (Herramienta de Sostenibilidad de la Evaluación Voluntaria de Infraestructura) fue desarrollado por FHWA (Administración Federal de Carreteras), es una colección gratuita basada en la Web de mejores prácticas diseñada para ayudar a las agencias de transporte a integrar la sostenibilidad en sus programas (políticas, procesos, procedimientos y prácticas) y proyectos. *INVEST* permite al usuario autoevaluar proyectos con diversos criterios y cuantificar la sostenibilidad durante el proceso de toma de decisiones. Todos estos criterios están relacionados con preguntas de prácticas específicas en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto, desde la planificación y el diseño hasta la construcción y la operación (*Focus - Invest, s.f.*).

El *software* determina un puntaje según los criterios ingresados y genera una calificación, donde se le nombra con una categoría dependiendo el rango de puntaje obtenido.

- Bronce: 63 puntos totales.
- Plata: 84 puntos totales.
- Gold: 105 puntos totales.
- Platino: 126 puntos totales.

Según el departamento de transportación los criterios de INVEST se dividen en 4 módulos:

- Planificación de sistemas para estados (SPS).
- Planificación de sistemas para regiones (SPR).
- Desarrollo de proyectos (PD).

- Operaciones y mantenimiento (OM).

El presente trabajo se centrará en el módulo de Operaciones y mantenimiento (OM), este módulo cuenta con 14 criterios que se obtienen con una serie de preguntas basadas en el controlar los deterioros, obteniendo un nivel de servicio en mejores condiciones con bajos costos de intervención:

- Plan interno de sostenibilidad.
- Eficiencia y uso de la energía eléctrica.
- Uso y Eficiencia de combustible vehicular.
- Reducir, reutilizar y reciclar.
- Gestión de la seguridad.
- Sistema de seguimiento de compromisos ambientales.
- Sistema de gestión de pavimentos.
- Sistema de gestión de puentes.
- Sistema de gestión de mantenimiento.
- Conservación y mantenimiento de la infraestructura vial.
- Mantenimiento de infraestructura de control de tránsito.
- Programa de gestión del clima vial.
- Gestión y operaciones de transporte.
- Control de tránsito Zona de Trabajo.

## 2.10. Análisis de Ciclo de Vida (LCA)

El "Análisis de Costos de Ciclo de Vida" (LCA, por sus siglas en inglés, *Life Cycle Analysis*) en un sistema de infraestructura vial es una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales, económicos y sociales de una carretera o proyecto de construcción y su mantenimiento a lo largo de todo su ciclo de vida. Esto implica considerar todas las etapas, desde la extracción de los materiales de construcción hasta la demolición o retirada de la infraestructura al final de su vida útil.

El objetivo del LCA es evaluar y cuantificar los impactos y costos asociados con cada fase del ciclo de vida de la infraestructura vial para tomar decisiones más informadas y sostenibles. Este análisis es un proceso continuo y a medida que se desarrolla el proyecto, junto con sus etapas, debe ser actualizado todas las consideraciones antes mencionadas (Amado & Gil, 2017).

El análisis de ciclo de vida en un sistema de infraestructura vial típicamente implica los siguientes pasos:

- **Definición del alcance:** Se establecen los límites del análisis, considerando que aspectos del ciclo de vida se incluirán y cuáles se excluyen. Esto puede incluir desde la extracción de materias primas hasta la construcción, operación, mantenimiento y eventual demolición de la carretera.
- **Recopilación de datos:** Se recopila una amplia gama de datos relevantes para cada etapa del ciclo de vida. Esto puede incluir datos sobre el uso de recursos naturales, emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de energía, costos de construcción y mantenimiento, y otros impactos ambientales y económicos.
- **Evaluación de impacto:** Se evalúan los impactos ambientales, económicos y sociales asociados con cada fase del ciclo de vida utilizando métodos y modelos específicos. Esto puede incluir la cuantificación de las emisiones de carbono, el agotamiento de recursos, la generación de residuos y los costos de ciclo de vida.
- **Interpretación de resultados:** Se comprenden los principales impactos y costos a lo largo del ciclo de vida. Esto puede incluir la identificación de áreas donde se pueden tomar medidas para reducir impactos negativos y costos.
- **Toma de decisiones:** Los resultados del LCA se utilizan para informar la toma de decisiones relacionadas con el diseño, la construcción y el mantenimiento de la infraestructura vial. Esto puede incluir la selección de materiales más sostenibles, la implementación de prácticas de construcción eficientes en términos de energía y la planificación de estrategias de mantenimiento preventivo.

El análisis de ciclo de vida es una herramienta valiosa para promover la sostenibilidad en la construcción y gestión de infraestructura vial al considerar no solo los impactos inmediatos, sino también los a lo largo del tiempo. Ayuda a las autoridades viales y a los ingenieros a tomar decisiones más informadas y a considerar los aspectos ambientales y sociales en la planificación y ejecución de proyectos viales ([Sphera Solutions, 2022](#)).

### 2.11. Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCCA)

El "Análisis de Costos de Ciclo de Vida" (LCCA, por sus siglas en inglés, Life Cycle Cost Analysis) en un sistema de infraestructura vial es un enfoque que se utiliza para evaluar los costos totales asociados con la planificación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y eventual retirada de una carretera o proyecto de infraestructura a lo largo de toda su vida útil. El objetivo principal del LCCA es proporcionar una visión completa de los costos financieros implicados en la toma de decisiones relacionadas con la infraestructura vial.

Según la FHWA ([Federal Highway Administration, 2022](#)) los pasos de la metodología de un análisis de costos de ciclo de vida son:

- Establecer estrategias alternativas de diseño.
- Determinar el tiempo de la actividad.
- Estimar los costos de la agencia.
- Estimar los costos del usuario.
- Determinar el costo del ciclo de vida.

El análisis de costos de ciclo de vida es una herramienta valiosa para asegurar que las decisiones sostenibles relacionadas con la infraestructura vial se basen en una comprensión completa de los costos, no solo los iniciales sino también los costos de operación y mantenimiento a largo plazo, lo que puede resultar en ahorros significativos y una infraestructura más eficiente y duradera (Zúñiga García & Prozzi, 2018).

### **2.11.1. Costos Unitarios**

Los costos del mantenimiento de un tramo vial varían según el tipo de pavimento, el nivel de deterioro, la importancia, el uso y las opiniones del usuario. Estas acciones se llevan a cabo para garantizar una respuesta eficiente y efectiva. El trabajo propone estimaciones aproximadas de los costos de mantenimiento y las actividades asociadas necesarias para su ejecución adecuada en este sentido.

### **2.11.2. Costos Locales**

Estos gastos están relacionados con el valor de un tratamiento específico en el lugar donde se llevará a cabo la intervención. Estos gastos son los más importantes porque generalmente requieren que la mano de obra y la maquinaria no se desplacen a grandes distancias para reducir los costos de los rubros.

## **2.12. Definición del Pavimento**

Un pavimento es un conjunto de capas superpuestas propicias para recibir directamente las cargas del tráfico, dichas cargas son transmitidas desde los estratos superiores a los inferiores de manera disipada, lo que proporciona una superficie de rodamiento que posee características capaces de permitir un funcionamiento eficiente. Toda esta estructura descansa sobre la subrasante del terreno (García, 2012).

Puesto que los esfuerzos en la estructura de un pavimento van disminuyendo conforme se acercan en profundidad hacia la subrasante, se debe colocar en las capas superiores los materiales con mejor capacidad de resistencia y como relleno los de menor calidad, ya que

estos últimos se pueden obtener con mayor facilidad directamente de la naturaleza provocando que sean más económicos.

Los requisitos con los que debe contar un pavimento para cumplir adecuadamente con sus funciones son los siguientes (Montejo, 2022):

- Resistencia a los agentes del intemperismo.
- Resistencia a las cargas impuestas por el tránsito.
- Presentar una textura superficial adecuada según lo demandado por la velocidad de diseño.
- Durable y económico.
- Presentar condiciones de drenaje adecuadas.
- Controlar el ruido de rodadura.
- Poseer un color adecuado para mitigar problemas de reflejo y deslumbramiento a los usuarios.
- Resistencia al desgaste ocasionado por el efecto abrasivo del contacto de las llantas de los vehículos con la capa de rodadura.

## **2.13. Tipos de pavimentos y mantenimientos**

### **2.13.1. Pavimento Flexible o Asfáltico**

El pavimento flexible o asfáltico es aquel que está conformado por una carpeta bituminosa que se apoya normalmente sobre dos capas granulares denominadas base y subbase. Sin embargo, es posible prescindir de cualquiera de estas capas de acuerdo a las necesidades que se presenten en la obra (Álvarez et al, 2016).

El espesor total que es requerido para garantizar que los esfuerzos transmitidos a la subrasante sean igual o menores que su resistencia son compensados con una de las principales funciones de las capas granulares del pavimento, la economización de la estructura, aunque se puede utilizar materiales de alta calidad. Sin embargo, se debe colocar en la parte superior las capas más resistentes y en la parte inferior las de menor calidad, la que normalmente es la más económica. Esta opción generalmente concibe un espesor total mayor de pavimento y a su vez un costo más económico (Álvarez et al, 2016).





Figura 2. Ejemplo de un pavimento flexible.

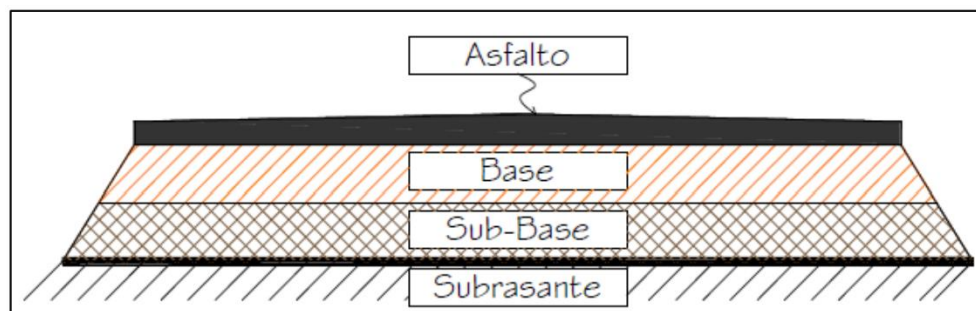


Figura 3. Estructura de un pavimento asfáltico (Armijos, 2009).

### 2.13.2. Pavimento Adoquinado

Se vuelve muy importante y necesario evaluar este tipo de pavimento debido a que se está empleando cada vez más en vías principales de ciudades importantes, ya sean zonas urbanas o rurales (Higuera y Pacheco, 2010).

En este tipo de pavimento la capa de rodadura se compone principalmente por una estructura armada por adoquines, ya sean de piedra prefabricada o bloques de concreto, pero con un espesor homogéneo. A su vez, dicha capa es colocada encima de una capa de arena de material seleccionado, la misma que es colocada sobre una capa granular. Ésta última es necesaria de acuerdo a los requerimientos de la calidad de la subrasante, por lo que se puede prescindir de ella, en caso de no requerirse (Ávila y Albarracín, 2004). Normalmente este tipo de pavimento contiene arena en las juntas entre adoquines, lo que permite la existencia de infiltración ocasionando el deterioro de la estructura del pavimento.





Figura 4. Estructura de un pavimento adoquinado (DINO, 2013). (Recuperado de <https://es.slideshare.net/sanchezlarosa/2-adoquines-de-cemento-mejorado>).

### 2.13.3. Tipos de Mantenimientos

#### 2.13.3.1. Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento se aplica cuando las secciones se encuentran en excelente estado, cuya finalidad es prolongar la vida útil de la vía mediante la aplicación de un mantenimiento rutinario. Dicho mantenimiento consiste en aplicar trabajos menores como desbroce de maleza, poda de ramas, limpieza de cunetas y alcantarillas, desalojo de derrumbes pequeños y bacheo menor (Peñaloza y Calle, 2017).

#### 2.13.3.2. Mantenimiento Correctivo

Dicho mantenimiento es aplicado a secciones que se consideran en un estado muy bueno, no se requiere dar un mantenimiento de rutina, más bien, se debe aplicar uno periódico. No se requiere dar un tratamiento exhaustivo a la red vial, lo que se recomienda en pavimento flexible es: sellar grietas, sellos de material asfáltico, aplicar tratamiento superficial y reparación del espesor deteriorado. Estas intervenciones se aplicarán para evitar el deterioro severo de las capas inferiores del pavimento (Peñaloza y Calle, 2017).

#### 2.13.3.3. Recapeo

Cuando el daño en las secciones no ha alcanzado un grado de afectación de alta severidad y es posible recuperar el estado funcional del pavimento en gran parte, es recomendable intervenir el pavimento flexible con: reparación parcial del espesor, colocar las capas necesarias de mezcla asfáltica encima de la capa de rodadura para evitar los efectos de deterioro a corto plazo hasta que se apliquen medidas de rehabilitación (Peñaloza y Calle, 2017).

#### 2.13.3.4. Rehabilitación

Si la vía ha superado el nivel de deterioro aceptable, mostrará secciones en un estado regular, lo que indicará que se encuentran fuera del rango de aceptación programado en función de

su vida útil de diseño. Por ello, se sugiere que se construyan y se reparen las obras de drenaje correspondientes. Para el pavimento flexible se debe reponer totalmente la capa de rodadura (Peñaloza y Calle, 2017).

#### **2.13.3.5. Reconstrucción**

Se trata del mantenimiento aplicado a secciones viales que se encuentran en un estado deplorable o con fallas en su estado funcional. Estos deterioros requieren de una intervención que implique una renovación completa de la infraestructura donde se tenga que realizar una demolición previa, ya sea, parcial o total, teniendo en cuenta que sus características originales podrían quedar modificadas (Peñaloza y Calle, 2017).

### **2.14. Fallas en los pavimentos**

Las fallas son la acumulación de deterioros presentes en el pavimento debido a la interacción entre las cargas del tráfico vehicular y los agentes medioambientales que a su vez actúan con los procesos de diseño y en ciertos casos con la utilización de materiales de construcción deficientes en la estructura del pavimento. Por ello, es de suma importancia ser precavido y tomar medidas preventivas para evitar el desarrollo de daños debido a que ciertos deterioros pueden desencadenar nuevas degradaciones. Todos estos daños agrupados son la principal fuente de degradación progresivo de la estructura del pavimento (Yesquén, 2016).

Así también, es posible definir a las fallas en los pavimentos como variaciones en su superficie que producen afectaciones en características primordiales como la comodidad, seguridad y velocidad, dicho de otro modo, la servicialidad y funcionalidad del pavimento disminuye e impide que el tránsito vehicular circule de acuerdo a lo previsto en el diseño y su proyección (Montejo, 2002).

#### **2.14.1. Clasificación de las fallas**

Según Pereda (2014), las fallas en los pavimentos se clasifican en fallas funcionales y fallas estructurales.

##### **Fallas funcionales**

Se definen como aquellas fallas que se presentan directamente sobre la superficie del pavimento, es decir, directamente sobre la capa de rodadura, provocando pérdida en su funcionalidad, debido a esto, se produce una afección tanto en la comodidad como a la seguridad del usuario al transitar por la vía. Este tipo de fallas se pueden hacer presentes debido a malos procesos constructivos o por haberse empleado materiales de construcción

deficientes que se pueden descubrir fácilmente a través de una inspección visual y no están ligados con la estructura del pavimento.

### **Fallas estructurales**

Este tipo de fallas ocurren en la estructura del pavimento. Son fallas de gran preocupación puesto que son capaces de producir fracturamiento en la capa de rodadura. Dichas fallas se presentan cuando las solicitaciones de carga combinadas con las condiciones medioambientales superan la capacidad del pavimento, es posible determinarlas por medio de una inspección visual, sin embargo, en ciertos casos se requiere estudiar la estructura por medio de ensayos destructivos y no destructivos.

#### **2.14.2. Fallas en pavimentos asfálticos**

Según Vásquez (2002), Shahin (1994) y ASTM (2008 y 2011), las fallas en los pavimentos flexibles se expondrán a continuación junto con sus niveles de gravedad, su forma de medición y las opciones de intervención a aplicar, todo esto de acuerdo al método del PCI.

#### **Piel de Cocodrilo**

También conocidas como grietas de fatiga se caracterizan por ser grietas interconectadas que se originan debido a las fallas por la fatiga de la capa de rodadura a causa de la repetición de las cargas del tránsito. Los agrietamientos comienzan a desarrollarse desde el fondo de la capa de rodadura, justamente donde las deformaciones y esfuerzos unitarios de tensión son más grandes bajo el efecto de la carga de una llanta. Al principio, las grietas se transmiten como un conjunto de grietas longitudinales paralelas, y posteriormente, luego de la repetición de cargas del tránsito, dichas grietas se conectan entre sí, generando polígonos cuyos ángulos son agudos y dan una intuición visual de una semejanza con la piel de cocodrilo. Normalmente, la dimensión más larga de cada polígono no supera los 0.60 m (Vásquez, 2002).

Las fallas tipo piel de cocodrilo suceden en las zonas donde la repetición de cargas está dada por el ahuellamiento de las llantas. Entonces, este tipo de fallas no podrían suscitarse en áreas que no se encuentren sujetas a cargas del tráfico en toda su extensión.

La piel de cocodrilo es un daño estructural considerado importante y es acompañado de ahuellamiento.

## Niveles de severidad

Baja (B): Ninguna o pocas grietas finas capilares interconectadas y longitudinales que avanzan paralelamente entre sí. No hay presencia de rompimiento del material en los bordes de la grieta.

Media (M): Las grietas del nivel B se desarrollan posteriormente formando un patrón de grietas que pueden empezar a presentar descascaramiento.

Alta (A): Conjunto de grietas que se han desarrollado a tal punto que sus segmentos están bien definidos y presenta descascaramiento evidente en sus bordes. Hay la posibilidad de que algún pedazo pueda moverse con la acción de tránsito.

## Medición

Se miden en unidades de área afectada, ya sea en pies cuadrado o en metros cuadrados. El mayor problema de la medición de este tipo de falla es que a veces más de un nivel coexisten en una misma área. Se deben medir y registrar de manera separada si es que la diferenciación se da con facilidad si no, toda el área se cuantifica en el nivel mayor de severidad.

## Intervenciones

Baja (B): No se interviene, colocar sobrecarpeta o aplicar un sellado superficial.

Media (M): Aplicar un parcheo total o parcial, colocar sobrecarpeta o realizar una reconstrucción.

Alta (A): Aplicar un parcheo total o parcial, colocar sobrecarpeta o realizar una reconstrucción.

## Agrietamiento por Bloque

Este tipo de grietas se interconectan entre sí dividiendo la capa de rodadura en pedazos casi rectangulares. Estos bloques pueden tener variaciones en sus dimensiones de 0.30 m x 0.30 a 3.0 m x 3.0 m. Estas grietas se forman debido a ciclos de esfuerzo/deformación unitaria ocasionados por la contracción de la carpeta asfáltica a razón de los cambios de temperatura diarios. Estas fallas dan a saber que el asfalto se ha endurecido considerablemente y no están relacionadas con las cargas transmitidas. Generalmente se visualizan en grandes proporciones del pavimento, pero en ciertas ocasiones se harán presentes en zonas sin tránsito vehicular (Vásquez, 2002).

## Niveles de severidad

Baja (B): Bloques formados por grietas de severidad baja.

Media (M): Bloques formados por grietas de severidad media.

Alta (A): Bloques formados por grietas de severidad alta.

## Medición

Su medición corresponde a un área afectada en pies cuadrados o metros cuadrados. Normalmente se puede visualizar un solo nivel de severidad en una sección, pero de ser el caso en el que se evidencien más, se deberá medir y registrar de manera separada.

## Intervenciones

Baja (B): Sellar grietas con un ancho mayor a 3.0 mm y/o aplicar riego de sello.

Media (M): Reciclado superficial, sellar grietas, escarificado en caliente y sobrecarpeta.

Alta (A): Reciclado superficial, sellar grietas, escarificado en caliente y sobrecarpeta.

## Grietas longitudinales y transversales (No son de reflexión de losas de concreto de cemento Pórtland)

Las grietas longitudinales se encuentran dispuestas de manera paralela al eje del pavimento y se pueden producir por una construcción pobre de una junta de carril; por factores ambientales como bajas temperaturas que provocan la contracción del asfalto, los ciclos de temperatura o el endurecimiento del asfalto; y grietas de reflexión ocasionadas por el agrietamiento generado bajo la capa de base.

Las grietas transversales se producen atravesando el pavimento en ángulos aproximadamente rectos a la dirección de construcción. Normalmente este tipo de cargas no se encuentra relacionado con cargas de tránsito (Vásquez, 2002).

## Niveles de severidad

Baja (B): Cuando se presenta una grieta sin relleno con un ancho menor a 10 mm o cuando existe una grieta rellena de cualquier ancho.

Media (M): Se presenta una grieta sin relleno con un ancho entre los 10 mm y 76 mm; una grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76 mm rodeada de un pequeño agrietamiento

aleatorio; o una grieta rellenada de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

Alta (A): Se presenta una grieta rellenada o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad; grietas sin relleno con anchos mayores a 76 mm; o grietas de cualquier ancho que presentan pocas pulgadas de pavimento severamente fracturado.

### **Medición**

Este tipo de grietas se miden en pies o metros lineales. Tanto la longitud como su severidad se debe registrar después de identificarlas. Si la grieta no tiene un desarrollo de daño uniforme se procede a registrar cada porción de la misma de manera separada. Si existe la presencia de abultamiento o hundimientos, también deben ser registrados.

### **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene o se procede al sellado de grietas con un ancho mayor a 3 mm.

Media (M): Se procede con el sellado de grietas.

Alta (A): Se procede a realizar un sellado de grietas o un parcheo parcial.

### **Grieta de reflexión de junta (Losas de concreto de cemento Pórtland)**

Este tipo de daño se presenta únicamente en pavimentos asfálticos que se hayan construido sobre losas de cemento Pórtland. Principalmente el causante de este tipo de grietas es el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland debajo de la superficie asfáltica debido a la temperatura o la humedad. Este tipo de falla no se relaciona con las cargas de tránsito, sin embargo, dichas cargas son capaces de provocar la rotura del asfalto cerca de la grieta. Se considera una grieta descascarada si es que el pavimento se encuentra fragmentado en la longitud en la que se desarrolla la grieta ([Vásquez, 2002](#)).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Cuando se presenta una grieta sin relleno con un ancho menor a 10 mm o cuando existe una grieta rellenada de cualquier ancho.

Media (M): Se presenta una grieta sin relleno con un ancho entre los 10 mm y 76 mm; una grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76 mm rodeada de un pequeño agrietamiento aleatorio; o una grieta rellenada de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

Alta (A): Se presenta una grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad; grietas sin relleno con anchos mayores a 76 mm; o grietas de cualquier ancho que presentan pocas pulgadas de pavimento severamente fracturado.

## **Medición**

La medida de la grieta de reflexión de junta viene dada en pies o metros lineales. Además, la longitud y el nivel de daño correspondiente a cada grieta se debe registrar por separado.

## **Intervenciones**

Baja (B): Se realiza un sellado de grietas cuando sus anchos son mayores a 3 mm.

Media (M): Sellado de grietas o un parcheo a profundidad parcial.

Alta (A): Parcheo a profundidad parcial o una reconstrucción de la junta.

## **Exudación de Asfalto**

Se refiere a la aparición de una película de material bituminoso en la superficie de la capa de rodadura que se puede distinguir debido a que la superficie se torna cristalina, brillante y reflectiva que en la mayoría de casos termina siendo pegajosa, Se produce debido al exceso de asfalto presente en la mezcla, excesos en la colocación de un sellante de material asfáltico o un bajo nivel de vacíos de aire. Se produce cuando las altas temperaturas ambientales ocasionan que el asfalto llene los espacios vacíos y se expanda a la superficie. Puesto que la exudación no es reversible, el asfalto se acumula en la superficie (Vásquez, 2002).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): El asfalto no produce efectos pegajosos ni en el calzado ni en los automotores, además de que solo ocurre de manera ligera en pocos días del año.

Media (M): Ya hay inconvenientes de efectos pegajosos en el calzado y automotores, pero sucede pocas semanas al año.

Alta (A): Mucho asfalto se adhiere al calzado o automotores varias semanas del año produciéndose una gran cantidad de asfalto en la superficie.

## **Medición**

Se registra en pies cuadrados o en metros cuadrados. Si existe exudación no se debe registrar pulimento de agregados.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene.

Media (M): Se aplican agregados y un proceso de cilindrado.

Alta (A): Se aplican agregados y un proceso de cilindrado.

## **Parcheo (Parches) y acometidas de servicios públicos**

Una fracción de área de pavimento reemplazada con nuevo material con la finalidad de reparar el pavimento existente se conoce como parche. Esta reparación del pavimento se define como un defecto, sin importar qué tan bien funcione. Generalmente al encontrar algún tipo de rugosidad se asocia con este tipo de daño (Vásquez, 2002).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): Parche en buenas condiciones y de manera satisfactoria o calidad de tránsito vehicular de baja severidad.

Media (M): Parche con un deterioro moderado o calidad de tránsito vehicular de media severidad.

Alta (A): Parche con un deterioro muy alto o calidad de tránsito vehicular de alta severidad. Se interviene con una sustitución en poco tiempo.

## **Medición**

La medida de los parches se da en pies o metros cuadrados de afectación de área. Si se evidencian áreas dañadas de diferente nivel de severidad en un mismo parche se procede a medir y registrar de manera separada. No se registra ningún otro tipo de daño dentro de un parche. En caso de encontrarse con una porción grande de pavimento reemplazado no se considera como parche sino como nuevo pavimento.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene.

Media (M): No se interviene o simplemente se sustituye el parche.



Alta (A): Se sustituye el parche.

### **Exudación de agua o bombeo**

Consiste en la ascensión de agua capilar hacia la superficie del pavimento por medio de los puntos débiles y las fisuras de la capa de rodadura. Se la puede identificar puesto que se evidencia una mancha de agua alrededor de dichos puntos, normalmente luego de una fuerte lluvia. Debido a la presión ejercida por las cargas del tránsito vehicular el agua que transcurre a través de las grietas arrastra material fino y lo deposita en la superficie (DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS, 1990).

### **Niveles de severidad**

No existen niveles de severidad, sin embargo, es suficiente indicar que existe exudación de agua en la calzada. Se verifica después de una lluvia intensa y prolongada.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

No se definen niveles de severidad, pero se procede con bacheo parcial, sellado con material bituminoso y arena, escarificación del revestimiento asfáltico y sus capas contiguas y reconstrucción parcial con base granular y carpeta o tratamiento superficial.

### **Abultamientos y Hundimientos**

Este tipo de falla se define por la presencia de pequeños desplazamientos direccionados hacia arriba de la superficie del pavimento (Vásquez, 2002). Los factores que pueden causar abultamientos son la expansión debido a la congelación, el levantamiento de losas de concreto de cemento Pórtland con sobrecarpeta de concreto asfáltico y la elevación e infiltración de material en una grieta en conjunto con las cargas del tránsito vehicular.

Por otro lado, los hundimientos se refieren a pequeños y abruptos desplazamientos dirigidos hacia abajo desde la superficie del pavimento. Sin embargo, los desplazamientos que suceden en grandes áreas del pavimento se llaman ondulaciones, las cuales se identifican por provocar grandes o largas depresiones.

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Estas fallas ocasionan una calidad de tránsito vehicular de baja severidad.

Media (M): Estas fallas ocasionan una calidad de tránsito vehicular de severidad media.

Alta (A): Estas fallas ocasionan una calidad de tránsito vehicular de severidad alta.

### **Medición**

Su medida está dada en metros o pies lineales. Se puede definir un daño de tipo corrugación si es que la afección presenta un patrón de daño perpendicular a la dirección de flujo del tráfico vehicular, siempre y cuando estén espaciadas a menos de 3 m. Si se encuentran combinados con grietas, también se deben registrar.

### **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene.

Media (M): Se realiza un proceso de fresado en frío o también parcheo profundo o parcial.

Alta (A): Fresado en frío, parcheo profundo o parcial y sobrecarpeta.

### **Corrugación**

Se describe como un conjunto de depresiones y cimas perpendiculares a la dirección del tránsito y que ocurren en serie, muy próximas la una de la otra y que suceden a intervalos bastante regulares, a menos de 3 m normalmente. Este tipo de falla es ocasionado por una carpeta o base inestable conjuntamente con las cargas del tránsito vehicular. (Vásquez, 2002).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Se produce una calidad de tránsito de baja severidad.

Media (M): Se produce una calidad de tránsito de media severidad.

Alta (A): Se produce una calidad de tránsito de alta severidad.

### **Medición**

Su medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene.

Media (M): Se reconstruye.

Alta (A): Se reconstruye.

## **Ahuellamiento**

Este tipo de falla se cataloga como una depresión en la superficie de las huellas de los neumáticos. Es posible evidenciar que el pavimento se levanta a lo largo de los bordes del ahuellamiento, pero en la mayoría de los casos, solo se lo puede visualizar luego de la lluvia una vez que las huellas se llenan de agua. Este tipo de falla se genera a causa de la deformación permanente de cualquiera de las capas del pavimento o de la subrasante, normalmente ocasionada por el movimiento lateral de los materiales o consolidación del suelo, todo esto, producido por la acción de las cargas del tránsito. Se pueden producir fallas estructurales bastante considerables en la estructura del pavimento en el caso de que el ahuellamiento sea bastante importante (Vásquez, 2002).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): Profundidad media entre 6 a 13 mm.

Media (M): Profundidad media entre 13 a 25 mm.

Alta (A): Profundidad media mayor a 25 mm.

## **Medición**

Su medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área y su severidad se determina de acuerdo a la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se determina realizando varias mediciones de la profundidad con una regla en disposición perpendicular a la misma y así obtener una media de su valor.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene, se realiza fresado y se coloca sobrecarpeta.

Media (M): Se realiza un parcheo superficial, parcial o profundo o se realiza un fresado y colocado de sobrecarpeta.

Alta (A): Se realiza un parcheo superficial, parcial o profundo o se realiza un fresado y colocado de sobrecarpeta.

## **Hinchamientos**

Se define por un pandeo de la superficie del pavimento dirigido hacia arriba, se caracteriza por una onda larga y gradual cuya longitud es mayor a 3 m. Este tipo de falla normalmente suele acompañarse de agrietamiento superficial. Este fenómeno sucede a causa de suelos potencialmente expansivos o debido al congelamiento de la subrasante (Vásquez, 2002).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): Calidad de tránsito vehicular de baja severidad, normalmente se lo detecta conduciendo al límite de velocidad sobre la sección del pavimento, y en caso de existir un hinchamiento se sentirá un movimiento hacia arriba.

Media (M): La calidad de tránsito vehicular es de severidad media.

Alta (A): La calidad de tránsito vehicular es de severidad alta.

## **Medición**

La medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene.

Media (M): No se interviene o se reconstruye.

Alta (A): Se reconstruye.

## **Desplazamientos o Corrimientos**

Este tipo de falla se trata de un desplazamiento longitudinal que termina siendo permanente en un área localizada de la superficie del pavimento a causa de las cargas del tránsito vehicular. Se produce debido a una onda corta que se genera de manera abrupta en la superficie de la calzada debido a que las cargas del tránsito realizan una fuerza de empuje en contra del pavimento. Generalmente este tipo de daño sucede en pavimentos cuya estructura contiene mezclas asfálticas líquidas inestables.

Este tipo de falla también sucede cuando la longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se ve incrementada debido a que los pavimentos asfálticos confinan a éstos.

## **Niveles de severidad**

Baja (B): La falla ocasiona un tránsito de baja severidad.

Media (M): La falla ocasiona un tránsito de media severidad.

Alta (A): La falla ocasiona un tránsito de alta severidad.

## **Medición**

Su medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área. Los corrimientos que suceden dentro de parches se inventarían dentro de los parches y no como un daño diferente.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene o se aplica fresado.

Media (M): Se aplica fresado o, un parcheo parcial o profundo.

Alta (A): Se aplica fresado o, un parcheo parcial o profundo.

## **Grietas en arco o parabólicas**

Se definen como grietas en forma de media luna creciente. Se generan cuando los neumáticos frenan o giran induciendo la deformación o el deslizamiento de la superficie del pavimento. Normalmente este tipo de falla se ocasiona cuando una mezcla asfáltica presenta una baja resistencia o una ligadura pobre entre la superficie y una de las siguientes capas de la estructura del pavimento ([Vásquez, 2002](#)).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): Cuando el ancho promedio de la grieta es menor a 10 mm.

Media (M): Cuando el ancho de la grieta está entre 10 y 38 mm o el área que rodea la grieta se encuentra fracturada en pequeños pedazos ajustados.

Alta (A): Cuando el ancho promedio de la grieta es mayor a 38 mm o el área que rodea la grieta se encuentra fracturada en pedazos fácilmente removibles.

**Medición**

Su medida viene dada en pies o metros cuadrados y se caracteriza según su nivel más alto de severidad.

**Intervenciones**

Baja (B): No se interviene o se aplica un parcheo parcial.

Media (M): Se aplica parcheo parcial.

Alta (A): Se aplica parcheo parcial.

**Huecos o Baches**

Los huecos o baches se definen como depresiones pequeñas sobre la superficie de la calzada que se forman como tazón y con diámetros menores a 0.90 m. Generalmente los huecos presentan lados verticales y bordes aguzados cercanos a la zona superior. El agua presente dentro de ellos acelera su crecimiento. Cuando el tránsito produce el arrancamiento de pedazos de la superficie de la calzada se generan los huecos. La destrucción del pavimento va progresando paulatinamente por cuestiones como puntos débiles en las capas de la base o subrasante, mezclas pobres o piel de cocodrilo de alta severidad. Los baches no deben ser confundidos meteorización o desprendimientos puesto que más bien son daños asociados a la condición de la infraestructura. Si la piel de cocodrilo de alta severidad genera huecos, pues se registra como tal y no como daños por meteorización (Vásquez, 2002).

**Niveles de severidad**

Tabla 5. Niveles de severidad para huecos (Vásquez, 2002).

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 206 mm	203 a 457 mm	457 762 mm
12.7 a 25.4 mm	B	B	M
>25.4 a 50.8 mm	B	M	A
>50.8 mm	M	M	A

Los niveles de severidad para baches cuyo diámetro es menor a 762 mm se encuentran definidos en función de su profundidad y diámetro.

Si el diámetro es mayor a 762 mm se debe medir el área en pies o metros cuadrados y ser dividida para 5 pies<sup>2</sup> o 0.47 m<sup>2</sup> correspondientemente para determinar la cantidad de baches equivalente. Si su profundidad es de una dimensión menor a 25 mm, los baches se consideran de severidad media. Finalmente, si la profundidad es mayor a 25 mm, la severidad es alta.

## **Medición**

La medida viene dada en conteo de aparición y clasificación según su nivel de severidad siendo registrados de manera separada.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene o se realiza un parcheo parcial o profundo.

Media (M): Se realiza un parcheo parcial o profundo.

Alta (A): Se realiza un parcheo profundo.

## **Grieta de Borde**

Estas grietas se generan paralelamente y se encuentran ubicadas a una distancia del borde exterior del pavimento de entre 0.30 y 0.60 m. Este tipo de daño se puede ocasionar por el debilitamiento de la estructura debido a las condiciones climáticas y a la par es posible que se acelere por acción de las cargas del tránsito, generalmente provocando daños en la base o subrasante próximas al borde del pavimento (Vásquez 2002).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): El agrietamiento se produce en un nivel bajo o medio sin ocasionar problemas de fragmentación o desprendimiento.

Media (M): Se producen grietas medianas con presencia de fragmentación y desprendimiento.

Alta (A): Existe la presencia de una fragmentación o desprendimiento bastante considerable a lo largo del borde.

## **Medición**

La medida se da en pies o metros lineales.

**Intervenciones**

Baja (B): No se interviene o se aplica un sellado de grietas de un ancho no mayor a 3 mm.

Media (M): Se procede a realizar un sellado de grietas, un parcheo parcial o profundo.

Alta (A): Se aplica un parcheo parcial o profundo.

**Pulimento de superficie**

Este tipo de falla es ocasionado debido a la repetición de las cargas del tránsito vehicular. Una vez que los agregados en la superficie del pavimento se convierten en suaves al tacto, la adherencia con los neumáticos de los vehículos disminuye considerablemente. Cuando la parte del agregado que se encuentra sobre la superficie del pavimento es pequeña, la textura del mismo no aporta de una manera significativa a controlar la velocidad del vehículo. Esta falla se considera cuando se determina que el agregado sobre la superficie del pavimento es degradable y suave al tacto. Este tipo de daño se determina cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento ha caído significativamente desde una evaluación anterior (Vásquez, 2002).

**Niveles de severidad**

No se clasifican niveles de severidad, sin embargo, deberá presentarse un nivel considerable de pulimento de agregados para poder incluirlo en una evaluación de condición y ser considerado como falla.

**Medición**

Su medida viene dada en metros o pies cuadrados de afectación de área. Si se considera la exudación no se debe considerar el pulimento de agregados.

**Intervenciones**

No se interviene, se realiza tratamiento superficial, se coloca sobrecarpeta o se procede con fresado y colocación de sobrecarpeta.

**Peladuras**

Se trata del desprendimiento de pequeñas porciones del material de la parte superficial de la capa de rodadura provocando hoyos o cavidades pequeñas en el pavimento. Generalmente, estas cavidades no superan los 15 a 20 mm de profundidad y con un diámetro menor a 15



cm. Cuando su dimensionamiento es mayor, se catalogan como baches (DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS, 1990).

### **Niveles de severidad**

No se indica un nivel de severidad, pero es necesario indicar la existencia de las mismas y contabilizar su frecuencia de aparición.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

No se interviene, se aplica un bacheo parcial, sellado con material bituminoso y recubrimiento de arena, sellado con lechada asfáltica, tratamiento superficial bituminoso doble o triple o recapeo con mezcla bituminosa en caliente.

### **Estrías longitudinales**

Serie de peladuras o desprendimiento de material pétreo de la superficie del pavimento distribuidas de manera lineal formando uno o más surcos longitudinales paralelos al eje de la vía. Suceden sólo cuando se han aplicado tratamientos asfálticos superficiales y riegos bituminosos (DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS, 1990).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Se producen surcos que se identifican por medio de un cambio de coloración en la superficie. No se observan peladuras y los desprendimientos son de baja severidad.

Media (M): Se producen surcos con una profundidad menor a 6 mm como consecuencia de la pérdida de gravilla. No se observan peladuras y los desprendimientos son de baja severidad.

Alta (A): Se producen surcos profundos y en ciertas zonas se pierde todo el revestimiento. Se observan peladuras acompañadas de desprendimientos de alta severidad.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

## **Intervenciones**

Baja (B): No se interviene o se aplica riego con emulsión bituminosa en las zonas afectadas.

Media (M): Se aplica un riego con emulsión bituminosa, sellado de la superficie afectada con material bituminoso y recubrimiento de arena o con lechada asfáltica.

Alta (A): Se procede con un bacheo parcial, sellado de la superficie con material bituminoso y recubrimiento de arena o lechada asfáltica, sellado con material bituminoso y agregado pétreo, o tratamiento superficial asfáltico doble o triple.

## **Desmoronamiento o desprendimiento de agregados**

El desprendimiento de partículas de agregado grueso define este tipo de falla. El desprendimiento de agregados se puede ocasionar por la falta de aglutinamiento del asfalto, una mala calidad de mezcla, segregación, por extracción o debido a una compactación insuficiente (Vásquez, 2002).

## **Niveles de severidad**

Media (M): Existe una considerable pérdida de agregado grueso de un 20% por yarda o metro cuadrado, partes en las que hace falta agregado grueso se encuentran presente o ambas.

Alta (A): Se presenta una superficie muy rugosa o se arranca por completo en algunas secciones.

## **Medición**

Su medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área. Los daños mecánicos ocasionados por llantas de neumáticos, quitanieves o ganchos de arrastre se consideran dentro del intemperismo. Si el intemperismo presenta desprendimiento o desgaste de agregados, éste no se registra.

## **Intervenciones**

Media (M): Se aplica un sellado superficial, tratamiento superficial o se coloca sobrecarpeta.

Alta (A): Se aplica tratamiento superficial, se coloca sobrecarpeta, se recicla o se reconstruye.

### 2.14.3. Fallas en pavimentos adoquinados

Según Higuera y Pacheco (2010), las fallas en los pavimentos articulados o adoquinados se expondrán a continuación junto con sus niveles de gravedad, su forma de medición y las opciones de intervención a aplicar.

#### Abultamiento

Se describen como levantamientos o protuberancias que se hacen presentes en la parte superficial del pavimento. Generalmente son causados por cambios volumétricos de la subrasante y normalmente sucede cuando ésta es un suelo expansivo (Higuera y Pacheco, 2010).

#### Niveles de severidad

Baja (B): Presenta deflexión menor a 20 mm.

Media (M): Presenta deflexión entre 20 y 40 mm.

Alta (A): Presenta deflexión mayor a 40 mm.

#### Medición

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

#### Intervenciones

Se realiza una nivelación y compactación de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se retiran los adoquines de la parte afectada y deben ser limpiados y apilados para ser recolocados.
- Se empieza a realizar una excavación de las capas próximas, hay que verificar problemas de drenaje que se podrían presentar y verificar la condición de otros elementos que puedan afectar la estabilidad.
- Se procede a reponer el material necesario de acuerdo a las especificaciones de la capa que se está tratando. En caso de requerirse, se tiene que reemplazar el material por uno de mejores especificaciones para mitigar este daño.
- Se continúa con la respectiva compactación y nivelación de las capas intervenidas.
- Se sigue con el recolocado y compactado inicial de los adoquines que fueron removidos anteriormente; se sugiere posicionar los adoquines con las caras en la misma posición que se encontraban antes de ser removidos y de esta manera reducir las discontinuidades de tono en la superficie del pavimento.

- Finalmente se procede a sellar las juntas y compactar de manera definitiva.

Se debe tener en cuenta que de presentarse un daño muy severo y recurrente, se debe considerar la aplicación de un tratamiento o estabilización al suelo de fundación.

### **Ahuellamiento**

Se describe como una depresión que sucede a lo largo del sentido del tránsito vehicular, justo debajo de los neumáticos de los vehículos. Se genera debido a problemas de consolidación de las capas del pavimento, por falta de compactación de las capas estructurales, hundimientos debido a la repetición de cargas y el estacionamiento de vehículos de carga pesada durante un tiempo prolongado (Higuera y Pacheco, 2010).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Se generan deflexiones menores a 20 mm.

Media (M): Se generan deflexiones entre 20 y 40 mm.

Alta (A): Se generan deflexiones mayores a 40 mm.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

Se realiza una nivelación y compactación de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se retiran los adoquines de la parte afectada y deben ser limpiados y apilados para ser recolocados.
- Se empieza a realizar una excavación de las capas próximas, hay que verificar problemas de drenaje que se podrían presentar y verificar la condición de otros elementos que puedan afectar la estabilidad.
- Se procede a reponer el material necesario de acuerdo a las especificaciones de la capa que se está tratando. En caso de requerirse, se tiene que reemplazar el material por uno de mejores especificaciones para mitigar este daño.
- Se continúa con la respectiva compactación y nivelación de las capas intervenidas.
- Se sigue con el recolocado y compactado inicial de los adoquines que fueron removidos anteriormente; se sugiere posicionar los adoquines con las caras en la misma posición que se encontraban antes de ser removidos y de esta manera reducir las discontinuidades de tono en la superficie del pavimento.

- Finalmente se procede a sellar las juntas y compactar de manera definitiva.

Se debe tener en cuenta que de presentarse un daño muy severo y reincidente, se debe considerar la aplicación de un tratamiento o estabilización al suelo de fundación.

### **Depresiones**

Se describen como hundimientos generados en zonas específicas con una forma circular o semejante sin producir pérdidas de material. Suceden debido a problemas de degradación de las partículas de arena por fallas en la capa que la conforman, asentamientos en el suelo de fundación y por un mal drenaje o mantenimiento del mismo. (Higuera y Pacheco, 2010).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Se producen deflexiones menores a 20 mm.

Media (M): Se producen deflexiones entre 20 y 40 mm.

Alta (A): Se producen deflexiones mayores a 40 mm.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

Se realiza una nivelación y compactación de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se retiran los adoquines de la parte afectada y deben ser limpiados y apilados para ser recolocados.
- Se empieza a realizar una excavación de las capas próximas, hay que verificar problemas de drenaje que se podrían presentar y verificar la condición de otros elementos que puedan afectar la estabilidad.
- Se procede a reponer el material necesario de acuerdo a las especificaciones de la capa que se está tratando. En caso de requerirse, se tiene que reemplazar el material por uno de mejores especificaciones para mitigar este daño.
- Se continúa con la respectiva compactación y nivelación de las capas intervenidas.
- Se sigue con el recolocado y compactado inicial de los adoquines que fueron removidos anteriormente; se sugiere posicionar los adoquines con las caras en la misma posición que se encontraban antes de ser removidos y de esta manera reducir las discontinuidades de tono en la superficie del pavimento.
- Finalmente se procede a sellar las juntas y compactar de manera definitiva.

Se debe tener en cuenta que de presentarse un daño muy severo y recurrente, se debe considerar la aplicación de un tratamiento o estabilización al suelo de fundación.

### **Desgaste superficial**

Se identifica cuando la superficie del adoquín ha perdido finos ocasionado que su textura superficial sea rugosa provocando que se formen cavidades y que el agregado grueso quede expuesto. Normalmente se produce por la abrasión de los neumáticos, la exposición constante a flujos de agua y presión; y por la baja calidad y control en el fabricación de los adoquines ([Higuera y Pacheco, 2010](#)).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Se presenta un desgaste superficial aislado con un área igual o menor a 0.5 m<sup>2</sup>.

Media (M): Se presenta un desgaste de la superficie muy considerable y de forma continua en el área afectada ocasionando pérdida de finos. Área mayor 0.5 m<sup>2</sup>.

Alta (A): Se presenta un desgaste de la superficie muy considerable y de forma continua en el área afectada ocasionando pérdida de agregado grueso y la formación de concavidades. Área mayor 0.5 m<sup>2</sup>.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

Si el nivel de severidad de daño es alto se procede a reemplazar los adoquines deteriorados por unos de mejor resistencia al desgaste.

### **Pérdida por arena**

Se identifica por la presencia de partículas de arena sobre y alrededor de los adoquines. Sucede debido a juntas abiertas, arrastre del material fino debido a la expulsión de agua por las cargas de los vehículos y por el desplazamiento de las juntas ([Higuera y Pacheco, 2010](#)).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): Sucede en áreas menores a 0.5 m<sup>2</sup> y solo sucede en partes aisladas con pérdida de arena de sellado.

Media (M): Sucede en áreas mayores a 0.5 m<sup>2</sup>.

Alta (A): Se evidencia pérdida de los perfiles del pavimento y asentamiento de la capa.

### **Medición**

Su medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

Se deben verificar los problemas de drenaje que puedan existir en el tramo analizado. En caso de no existir drenajes y obras de drenaje necesarias, deben ser construidas. El procedimiento que se sigue para intervenir este tipo de daño consiste en limpiar la zona afectada y volver a sellar las juntas. El sellado de juntas tiene que hacerse en cada mantenimiento rutinario. Si el nivel de severidad es alto se debe retirar los adoquines, chequear y realizar la reparación de las condiciones en las que se encuentra la capa de arena. Una vez culminado con la corrección de las deficiencias del drenaje y de la capa de arena se procede a colocar nuevamente los adoquines con su respectivo sellado de juntas.

### **Desplazamiento de borde**

Se describen como corrimientos localizados de los adoquines cercanos a elementos de confinamiento. Se producen debido a las cargas del tránsito vehicular, las fallas localizadas en donde se construyó el elemento, una construcción ineficiente y un mal diseño del elemento de confinamiento (Higuera y Pacheco, 2010).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): El desplazamiento en el borde es menor a 2 cm y los adoquines aún permanecen en su posición original.

Media (M): El desplazamiento en el borde está entre 2 y 5 cm pero los adoquines ya se han desplazado de su posición original.

Alta (A): El desplazamiento en el borde es de más de 5 cm y los adoquines se han desplazado de su posición original, además, de que algunas piezas ya se han salido de la estructura del pavimento.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

**Intervenciones**

Se debe realizar el retiro del material dañado y proceder a limpiar la zona; también tienen que ser revisadas y corregidas las condiciones de estabilidad del lugar; además, se deben verificar las condiciones de drenaje del lugar; adicionalmente, se debe considerar la reconstrucción de los elementos de confinamiento; y finalmente, se tienen que reacomodar los adoquines.

**Desplazamiento de juntas**

Se describen como el apartamiento de los adoquines de su alineación inicial. Normalmente sucede en adoquines rectangulares. Se produce debido a zonas de frenado, zonas de alta pendiente y debido a la carencia de confinamiento transversal o por que no se encuentran a una distancia adecuada (Higuera y Pacheco, 2010).

**Niveles de severidad**

Baja (B): La separación media de la abertura de juntas es menos que 5 mm.

Media (M): Se evidencia en zonas con áreas mayores a 0.5 m<sup>2</sup>.

Alta (A): La separación media de la abertura de juntas se encuentra entre 5 y 10 mm.

**Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

**Intervenciones**

Se realiza cuando la separación media de las juntas es más que 10 mm y; se procede con la revisión y corrección de elementos de confinamiento verificando que se encuentren a una distancia adecuada, de no existir, se los construye; también se deben retirar los adoquines de la zona dañada, proceder a limpiarlos y apilarlos; se diagnostica si la capa de arena se encuentra en buenas condiciones o si se requiere de reemplazo; y finalmente se colocan nuevamente los adoquines sellando juntas y limpiando la zona.

**Fracturamiento**

Se describen como corrimientos localizados de los adoquines cercanos a elementos de confinamiento. Suceden debido a un inadecuado espesor tanto de los adoquines como de las capas de apoyo, a una deficiente calidad de materiales empleados en la capa de apoyo o de los adoquines y debido al paso de cargas que no estaban consideradas en el diseño (Higuera y Pacheco, 2010).



**Niveles de severidad**

Baja (B): En áreas menores a 0.5 m<sup>2</sup> se produce la fracturación de adoquines de forma aislada.

Media (M): En áreas iguales o superiores a 0.5 m<sup>2</sup> se produce la fracturación de adoquines en una extensión considerable y de manera continua.

Alta (A): En áreas iguales o superiores a 0.5 m<sup>2</sup> se produce la fracturación de adoquines en una extensión considerable y de manera continua, además, se produce pérdida de material ocasionando la formación de concavidades que le dan una textura rugosa a la superficie.

**Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

**Intervenciones**

Se tiene que proceder al verificado del diseño estructural vigente y del espesor de los adoquines corroborando que cumplan con las solicitudes exigidas por el tránsito vehicular actual y futuro. En caso de que lo anterior no se cumpla, se deben mejorar las especificaciones y los espesores de las capas del adoquinado.

Si se determina que el nivel de daño es de alta severidad, se requiere reemplazar las piezas necesarias del adoquinado. Para proceder con el reemplazo de los adoquines se debe proceder de la misma forma que en el desplazamiento de juntas.

**Fracturamiento de confinamientos externos**

Se refiere a un daño y destrucción de los confinamientos externos, ya sea parcial o total. En un nivel alto de daño se puede evidenciar pérdida de material provocando que partículas y objetos extraños se incrusten en el pavimento. Se puede ocasionar debido a problemas de fatiga por las cargas del tránsito vehicular; una mala calidad de los materiales o un mal control de construcción; por crecimiento de vegetación, retracción del concreto; y por el impacto de los neumáticos de los vehículos cuando los confinamientos se encuentran a un nivel superior que el de la rasante ([Higuera y Pacheco, 2010](#)).

**Niveles de severidad**

Baja (B): Aparecen fisuras de tamaño menor a 3 mm.

Media (M): Aún se encuentra en su posición y mantiene su utilidad como elemento de confinamiento, pero presenta grietas de tamaño mayor a 3 mm.

Alta (A): El elemento se ha desplazado de su posición original y no cumple su función de confinamiento lateral para los adoquines, además de que presenta grietas de tamaño mayor a 3 mm.

## Medición

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

## Intervenciones

Si se determina que el nivel de daño es de alta severidad se procede a intervenir de la siguiente manera:

- Se verifica que tanto el diseño como la disposición de los elementos sean adecuados.
- Se procede con el retiro de material afectado y la limpieza del lugar.
- Se verifican las condiciones de estabilidad de la zona.
- Se chequean y se corrigen las condiciones de drenaje del lugar.
- Se reconstruyen los elementos de confinamiento.
- Se reacomoda el adoquinado.

## Fracturamiento de confinamientos internos

Se refiere a un daño y destrucción de los confinamientos internos, ya sea parcial o total. En un nivel alto de daño se puede evidenciar pérdida de material provocando que partículas y objetos extraños se incrusten en el pavimento. Se puede ocasionar debido a problemas de fatiga por las cargas del tránsito vehicular; una mala calidad de los materiales o un mal control de construcción; por crecimiento de vegetación, retracción del concreto; y por el impacto de los neumáticos de los vehículos cuando los confinamientos se encuentran a un nivel superior que el de la rasante (Higuera y Pacheco, 2010).

## Niveles de severidad

Baja (B): Aparecen fisuras de tamaño menor a 3 mm.

Media (M): Aún se encuentra en su posición y mantiene su utilidad como elemento de confinamiento y no se produce pérdida de material, pero presenta grietas de tamaño mayor a 3 mm.

Alta (A): El elemento no cumple su función de confinamiento permitiendo el desplazamiento longitudinal y lateral del adoquinado, también sucede la pérdida de material que ocasiona incrustaciones de partículas extrañas al pavimento, además de que presenta grietas de tamaño mayor a 3 mm.

## Medición

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

## Intervenciones

Si se determina que el nivel de daño es de alta severidad se procede a intervenir de la siguiente manera:

- Se verifica que tanto el diseño como la disposición de los elementos sean adecuados.
- Se procede con el retiro de material afectado y la limpieza del lugar.
- Se verifican las condiciones de estabilidad de la zona.
- Se chequean y se corrigen las condiciones de drenaje del lugar.
- Se reconstruyen los elementos de confinamiento.
- Se reacomoda el adoquinado.

## Escalonamiento entre adoquines

Se refiere a un brusco cambio de nivel entre hileras de adoquines. Se produce debido a la torsión generada por las cargas del tráfico, errores constructivos por mala técnica o falta de control y por la utilización de un patrón de colocación no adecuado (Higuera y Pacheco, 2010).

## Niveles de severidad

Baja (B): El desnivel promedio entre hileras es menor a 5 mm.

Media (M): El desnivel promedio entre hileras está entre 5 y 10 mm.

Alta (A): El desnivel promedio entre hileras es mayor a 10 mm.

## Medición

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

## Intervenciones

Se procede a retirar el adoquinado de la zona dañada y se continúa con la limpieza y el apilado de los mismos; se realiza una reparación y nivelación de la capa de arena; se

recolocan y se realiza una compactación inicial del adoquinado; y finalmente, se procede con el sellado de juntas y una compactación final.

### **Escalonamiento entre adoquines y confinamiento**

Se refiere al cambio en el nivel entre los adoquines y los elementos de confinamiento. Se ocasiona debido a que al momento de la construcción suceden variaciones en el nivel superior del elemento de confinamiento con el de los adoquines o que la cota de la rasante quede a un nivel superior o inferior del elemento de confinamiento (Higuera y Pacheco, 2010).

### **Niveles de severidad**

Baja (B): El desnivel promedio es menor a 5 mm.

Media (M): El desnivel promedio está entre 5 y 10 mm.

Alta (A): El desnivel promedio es mayor a 10 mm.

### **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### **Intervenciones**

Si el daño es ocasionado por problemas con el confinamiento, éste debe ser reemplazado por uno con un nivel adecuado. En caso de que el problema se ocasiona porque adoquines de un carril se encuentran a un nivel superior o inferior de los elementos de confinamiento se procede de la siguiente manera:

- Se procede a retirar el adoquinado de la zona dañada y se continúa con la limpieza y el apilado de los mismos.
- Se debe alcanzar el nivel requerido realizando una rectificación del perfil de la zona afectada.
- Se debe reparar y nivelar las capas afectadas.
- Se debe verificar las condiciones de estabilidad del suelo del lugar afectado.
- Se recolocan y se realiza una compactación inicial del adoquinado.
- Se procede con el sellado de juntas y una compactación final.

### **Juntas abiertas**

Se describe como una separación superior a 3 mm entre las juntas del adoquinado que producen pérdidas de arena en el sello permitiendo incrustaciones de partículas extrañas, a consecuencia, se destruyen las aristas de los adoquines. Se ocasiona debido a las cargas

del tránsito vehicular, inadecuado sellado de juntas, inadecuado confinamiento y por errores constructivos debido a las malas técnicas y falta de control (Higuera y Pacheco, 2010).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): La separación entre juntas es menor a 5 mm.

Media (M): La separación entre juntas está entre 5 y 10 mm.

Alta (A): La separación entre juntas es mayor a 10 mm.

## **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

## **Intervenciones**

Se realiza una limpieza de la zona dañada; se procede a retirar el adoquinado de la zona dañada y se continúa con la limpieza y el apilado de los mismos; se realiza una reparación y nivelación de la capa de arena; se recolocan y se realiza una compactación inicial del adoquinado; y finalmente, se procede con el sellado de juntas y una compactación final.

## **Vegetación en la calzada**

Se refiere al crecimiento invasivo de vegetación por medio de las juntas del adoquinado, el crecimiento de vegetación es capaz de producir levantamiento en los adoquines. Sucede debido a la falta de limpieza y desbroce de la calzada y al abandono de la misma (Higuera y Pacheco, 2010).

## **Niveles de severidad**

Baja (B): Se produce una poca apreciable aparición de vegetación entre las juntas .

Media (M): La vegetación se encuentra por encima del adoquinado.

Alta (A): La vegetación ocasiona levantamiento del adoquinado.

## **Medición**

Su unidad de medida viene dada en pies o metros cuadrados de afectación de área.

### Intervenciones

En caso de que el nivel de daño sea de baja o media severidad, se procede a realizar un desbroce manual retirando arena del sellado dañado y volver a sellar las juntas.

Si el nivel de daño es de alta severidad se procede de la siguiente manera:

- Desbroce y limpieza manual del área dañada.
- Se procede a retirar el adoquinado de la zona dañada y se continúa con la limpieza y el apilado de los mismos.
- Se verifica si se requiere una reparación de las capas dañadas.
- Se continúa con el recolocado de los adoquines y su respectivo sellado de juntas realizando los procesos adecuados de nivelación, compactación y limpieza.

## Capítulo 3. Materiales y Métodos

### 3.1. Zona de Estudio

El cantón Santa Isabel, perteneciente a la provincia del Azuay, al sur del Ecuador, se encuentra en la cuenca alta y media del río Jubones. Se conforma por el centro cantonal denominado Santa Isabel y las parroquias rurales Abdón Calderón, Shaglli, El Carmen de Pilijí y San Salvador de Cañaribamba. El cantón limita al norte con el cantón Cuenca, y Balao de la provincia del Guayas; al sur con el cantón Zaruma de la provincia de El Oro, Saraguro de la provincia de Loja y Nabón; al este con los cantones San Fernando, Girón y Nabón y al oeste con el cantón Pucará y Balao de la provincia del Guayas.

De acuerdo a la información adquirida del Ministerio de Obras Públicas, GAD provincial de Azuay y el GAD Santa Isabel, se obtiene la siguiente tabla especificando el sistema vial general del Cantón Santa Isabel con los diferentes tipos de pavimentos con su respectiva extensión (PDOT de Santa Isabel, 2020).

Tabla 6. Extensión de los tipos de pavimento del Cantón Santa Isabel (PDOT Santa Isabel).

Descripción	N° de tramos	Extensión (km)	%
Pavimentada	17	73.75	4.7
Lastrada	97	270.73	17.5
Sendero Camino de verano	1177	1185.89	76.7
Urbanas	46	14.3	0.93
<b>Total</b>	<b>1337</b>	<b>1545</b>	<b>100</b>

La zona de interés para este trabajo de titulación es la zona este urbana de Santa Isabel, es decir, la zona este de la cabecera cantonal con una densidad poblacional de 2666 hab/km<sup>2</sup> y con un área aproximadamente de 1.87 km<sup>2</sup>. La zona urbana de la parroquia Santa Isabel está compuesta de vías de diferentes tipos de pavimentos: flexible, rígido, adoquinado y vías no pavimentadas (lastradas) como se puede apreciar en la **Figura 5**.

La cabecera cantonal tiene el rol de Administración, Servicios y Comercio, dotado de equipamientos, tanto de salud como de educación, de escala y alcance cantonal. Lo que hace que este sector sea de gran interés para el GAD Municipal por la gran actividad comercial y minera, dando por hecho, que el factor esencial para el comercio sea el tránsito entre las parroquias del cantón Santa Isabel.

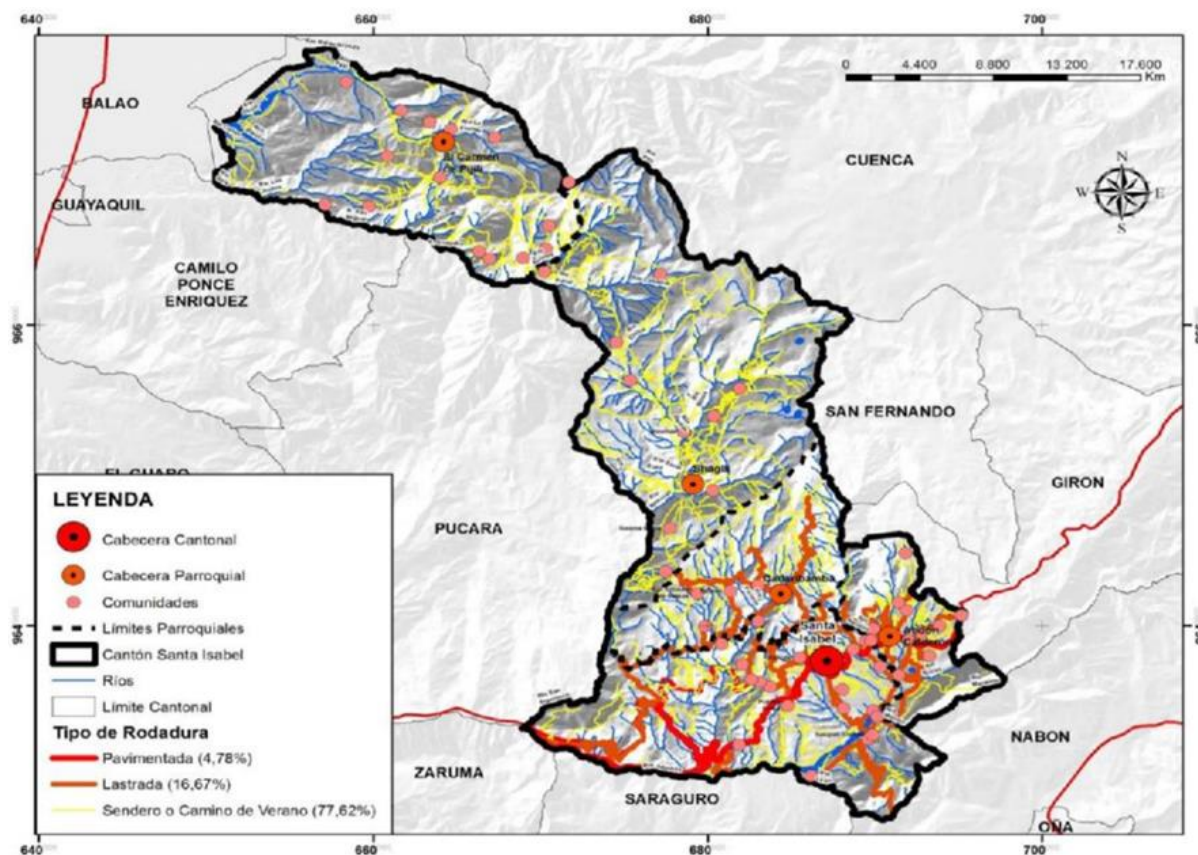


Figura 5. Sistema Vial del cantón Santa Isabel (PDOT de Santa Isabel, 2020).

Por otro lado, se examinan los siguientes datos, que se registraron parcialmente en la Municipalidad y se distribuyeron a los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca con el objetivo de desarrollar un SGI.

- Los tramos de pavimento de la cabecera cantonal se construyeron en 1995.
- En los años 2014 y 2015, se llevaron a cabo mantenimientos para mejorar la condición de los pavimentos sin llevar a cabo un registro de control regular para cada tramo de vía.
- Sin un mantenimiento adecuado ni una rehabilitación adecuada, se han producido muchos daños y fallas en las áreas durante los años posteriores hasta la actualidad.
- La proyección de la ruta es para 2040.

### 3.2. Recolección de Datos

El sector urbano del cantón Santa Isabel se encuentra conformado por tres tipologías de pavimentos que deben encontrarse debidamente inventariados para poder analizar, tomar datos y clasificar las fallas según al tipo de pavimento que corresponda. Por parte del GAD Municipal se recibió una base de datos con información sobre su viabilidad y parámetros correspondientes, lamentablemente, dicha base se encontraba desactualizada, por ello, fue



necesario realizar una actualización del inventario de vías con sus tipos de pavimentos, longitudes y anchos correspondientes.

### 3.3. Inventario Vial

La red vial existente está conformada por diferentes vías con pavimentos flexibles, rígidos adoquinados y lastrados. En la zona urbana central se puede observar un modelo de cuadrícula que varía de acuerdo al relieve y superficie del terreno. Para la realización del estudio se clasifica la red vial siguiendo estas consideraciones, para todos los casos, iniciando con el nombre de la vía y seguido de:

- Los nodos de las vías orientadas en dirección Norte-Sur se etiquetan por una enumeración en sentido Oeste-Este.
- Los nodos de las vías orientadas en dirección Oeste-Este se etiquetan por letras en orden alfabético en dirección Norte-Sur.
- Los nodos de las calles intermedias entre nodos principales serán etiquetados con una nomenclatura aumentada un dígito adicional que indique su orientación, es decir, le corresponderá un número si se encuentra luego de un tramo orientado en dirección Norte-Sur, o se le asignará un guion bajo con una numeración extra si el tramo se encuentra orientado en dirección Oeste-Este.

Los datos se procesan por medio del software “ArcGis”, para de esta manera obtener una base de datos georreferenciada con la nomenclatura adecuada de los nodos para la organización de la red vial a ser estudiada.

Una vez se hayan inventariado los datos, se procede a nombrar cada uno de los segmentos de vía de acuerdo a la unión de nodos que se generen, teniendo en cuenta que dentro de una misma vía se pueden formar varios tramos.

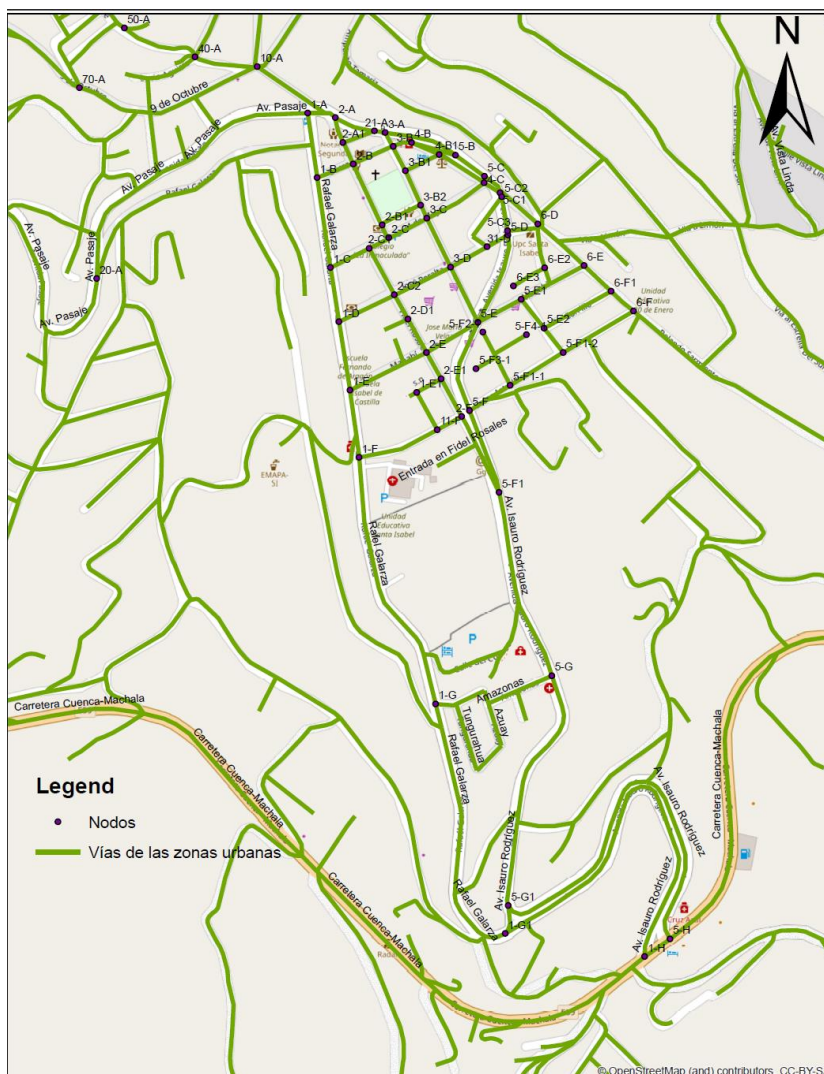


Figura 6. Distribución de nodos para la evaluación vial (PDOT de Santa Isabel).

### 3.4. Métodos de evaluación

#### 3.4.1. Método *Windshield*

Para realizar la correcta aplicación del método *Windshield* a los distintos tipos de pavimentos es necesario regirse a la normativa (ASTM D-6433, 2011), donde se muestran los valores necesarios para obtener los coeficientes correspondientes a cada tipo de falla que serán ponderados para la obtención del Índice de Condición Funcional del Pavimento (ICF). Además, indica que cada tipo de falla cuenta con distintos valores deducibles (DV) de acuerdo a su nivel de severidad y porcentaje de densidad (D) correspondiente. Una vez obtenidos dichos valores, se procede a determinar los coeficientes que serán utilizados en el cálculo final del método *Windshield*.

En el caso en el que se analice una falla de agrietamiento de bloque en pavimento flexible se procede a obtener los valores deducibles del siguiente ábaco:

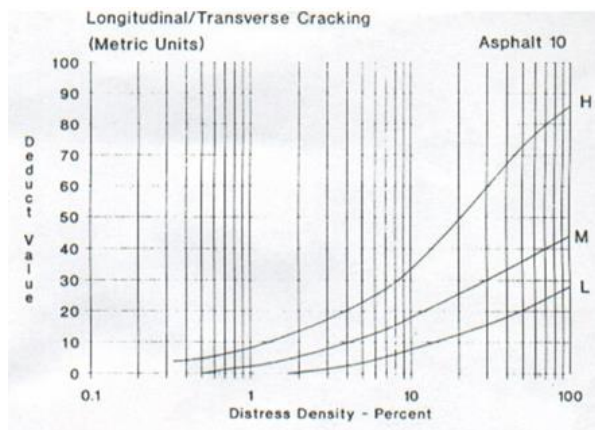


Figura 7. Ábaco para la obtención del valor deducible por agrietamiento de bloque de acuerdo a la Norma ASTM D6433-11.

Tabla 7. Valores deducibles para agrietamiento por bloque.

Falla	Severidad	DV	Densidad
Grieta de bloque	H	85	100
	M	45	100
	L	28	100

**Factor de clase (F)**

Con los valores máximos deducibles de todos los deterioros existentes obtenidos anteriormente se procede a obtener el factor de clase de cada uno. Se obtiene la suma de todos los valores máximos deducibles para posteriormente conseguir los porcentajes parciales correspondientes a cada valor deducible máximo de cada deterioro por medio de una regla de tres sabiendo que dicha suma total obtenida anteriormente representa el 100% de los deterioros más representativos.

$$F_i = \frac{DVmax_i}{\sum_1^n DVmax_i} * 100$$

Donde, **DVmax** es el valor deducible máximo de cada deterioro; y **F** es el factor de clase de cada tipo de deterioro.

**Peso (P)**

Para determinar el peso que el deterioro tiene en su clase, se realiza un promedio ponderado obtenido de una sumatoria de la multiplicación de los valores deducibles con sus respectivas densidades y dividiendo para la suma total de las densidades de cada deterioro correspondiente a la severidad media. Finalmente, para obtener el valor del incremento de

cada deterioro (P) se procede a calcular la razón entre el valor deducible promediado ponderado de cada falla para el valor deducible promediado ponderado total. Hay que tener en cuenta que este valor sea superior a uno, y de no cumplirse, se asigna el valor 1.1 por cuestiones de seguridad, debido a que los deterioros son capaces de incrementar su severidad hasta un 10% adicional.

$$DVpp_{tot} = \frac{\sum_1^n (DV_{Mi} * D_{Mi})}{\sum_1^n D_{Mi}}$$

$$P_i = \frac{DVpp_i}{DVpp_{tot}}$$

Donde **DV<sub>M</sub>** y **D<sub>M</sub>** son respectivamente el valor deducible y densidad correspondientes a la severidad media de cada deterioro; **DVpp** es el valor deducible promediado ponderado de cada deterioro; **DVpp<sub>tot</sub>** es el valor deducible promediado ponderado total de todos los deterioros; y **P<sub>i</sub>** es el incremento de cada deterioro.

### Índice de influencia del Factor de Clase (FI)

Para determinar este factor se obtiene el producto del respectivo incremento (P) con su factor de clase correspondiente (F).

$$FI_i = F_i * P_i$$

### Incremento de peso (PI)

Según Higuera y Pacheco (2010), el incremento se encuentra influenciado por la severidad del deterioro, entonces, si se considera de nivel bajo se define un área afectada del 36%, para un nivel medio de deterioro es del 60% y para un nivel de alta severidad con un 90%, sin embargo, todos estos porcentajes se emplean en decimales. Entonces, el incremento se obtiene de la razón entre el valor deducible máximo y el valor deducible medio de los tres niveles de severidad de cada deterioro, y finalmente al multiplicar dicho valor por el porcentaje de afectación (en decimal) de acuerdo al nivel de severidad, se obtiene el incremento de peso (PI).

$$I = \frac{VDmax_i}{VDp_i}$$

$$PI = I * S$$

Donde, **I** es el incremento para el peso de cada deterioro, **S** es la severidad del deterioro (para alta-H=0.9, media-M=0.6 y baja-L=0.36) y Finalmente **PI** es el incremento de peso de cada deterioro y se obtiene para cada nivel de severidad.

### **Frecuencia**

De acuerdo con Higuera y Pacheco (2010), se determina que para un pavimento deteriorado en el cual un mismo tipo de deterioro tenga menos del 5% de presencia se cataloga como de “rara” frecuencia y se le asigna un valor de deducción de 45% (0.45), si el deterioro incide en menos del 20% se cataloga como frecuencia “ocasional” y le corresponde una deducción de 60% (0.6), en caso de que la incidencia del daño sea mayor al 20% se cataloga como una aparición “frecuente” y corresponde a una deducción de 78% (0.78), sin embargo, también existe el caso en el que el pavimento presente una frecuencia de aparición nula para el tipo de deterioro analizado y se asigna un valor de deducción de 0.

Es importante mencionar que este método es susceptible a errores de apreciación, puesto que, la evaluación en campo es intuitiva y dependerá de la experiencia del evaluador.

### **3.4.2. Método *Windshield* para pavimentos flexibles**

Una vez obtenidos los parámetros preliminares de acuerdo al tipo de fallas que se analizan en los pavimentos flexibles de acuerdo al procedimiento desarrollado en la sección 3.4.1. se procede a desarrollar y obtener las tablas de evaluación para la calificación de la condición del pavimento de acuerdo al método. Para pavimentos flexibles, tanto el departamento de Carolina del Norte (NCDOT, 2011) como el departamento de Virginia (VDOT, 2006) sugieren considerar los diferentes tipos de deterioro agrupados según su forma y su influencia por cargas del tránsito.

#### **Grietas lineales**

No están relacionadas con las cargas de tránsito (NDR) y comprenden deterioros tales como: grietas transversales, grietas longitudinales, grietas de borde y grietas de bloque.

#### **Piel de cocodrilo**

Se encuentra relacionada con las cargas de tránsito (LDR) y comprende al deterioro por piel de cocodrilo (*alligator cracking*).

#### **Parches**

Están y no están relacionados con las cargas de tránsito (LDR y NDR) y comprenden deterioros tales como: parcheo, abultamientos (*bumps*) y hundimientos (*sags*).

**Baches**

Están relacionados con las cargas de tránsito (LDR) y comprenden deterioros ocasionados por baches o huecos.

**Peladuras**

Están relacionadas con las cargas de tránsito (LDR) y comprenden un deterioro por descascaramiento de la capa de rodadura.

**Desprendimiento de agregados**

No está relacionado con las cargas de tránsito (NDR) y comprende un deterioro por pulimento y desprendimiento de agregados.

**Exudación de asfalto**

No está relacionada con las cargas de tránsito (NDR) y comprende un deterioro por exudación (*bleeding*).

**Ahuellamiento**

Está relacionado con las cargas de tránsito (LDR) y comprende un deterioro por ahuellamiento (*rutting*) y pequeñas depresiones.

Es necesario agrupar la influencia del daño entre los deterioros involucrados con la carga del tránsito (LDR) y los que no se encuentran involucrados con la misma (NDR) para obtener el ICF en función de la mayor pérdida de funcionalidad del pavimento.

Para ello se procede a procesar los parámetros preliminares para el cálculo del ICF a través del método *Windshield*.

Tabla 8. Parámetros para cálculo del ICF a través del método *Windshield*.

DETERIORO	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE (DV)	DENSIDAD (D)	FACTOR DE CLASE (F)	DV <sub>p</sub>	PESO (P)	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC (I)	INC. PESO (PI)
GRIETAS LINEALES	H	85	100	13	51.7	1.1	13.7	1.6	1.5
	M	42	100						1.0
	L	28	100						0.6
PIEL DE COCODRILO	H	91	100	13	77.0	1.6	21.8	1.2	1.1
	M	78	100						0.7
	L	62	100						0.4
PARCHEO	H	80	50	12	56.7	1.2	14.1	1.4	1.3
	M	58	50						0.8
	L	32	50						0.5
BACHES	H	100	8	15	98.4	2.1	30.6	1.0	0.9
	M	100	17						0.6
	L	98	100						0.4
PELADURAS	H	77	100	11	45.0	1.1	12.5	1.7	1.5
	M	42	100						1.0
	L	16	100						0.6

DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	78	100	12	45.3	1.1	12.7	1.7	1.5
	M	42	100						1.0
	L	16	100						0.6
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	75	100	11	45.0	1.1	12.2	1.7	1.5
	M	40	100						1.0
	L	20	100						0.6
AHUELLAMIENTO	H	90	100	13	69.3	1.5	19.4	1.3	1.2
	M	68	100						0.8
	L	50	100						0.5

Una vez obtenidos estos parámetros preliminares se determina la hoja de encuesta para la evaluación a través del método *Windshield* para determinar el ICF de la vía.

Tabla 9. Hoja de encuesta para determinar ICF para pavimentos flexibles (modificado de Cedillo y Pauta, 2023).

Lugar:				Tramo:					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RA RA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		1.0						
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILLO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR		
	M		0.7						
	L		0.4						
	H		1.3				LDR, NDR		



PARCHEO	M	14.1	0.8	0.45	0.6	0.76			
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR		
	M		0.6						
	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR		
	M		1.0						
	L		0.6						
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		1.0						
	L		0.6						
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		1.0						
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR		
	M		0.8						
	L		0.5						
							<b>LDR</b>		
							<b>NDR</b>		
							<b>ICF</b>		

Una vez realizada la encuesta en campo, se procede a realizar la evaluación y determinar el Índice de Condición Funcional (ICF) del pavimento, identificando el Índice de Condición Crítica (ICC), que se define por ser el menor de los valores obtenidos en la condición debido a los deterioros por medio de los índices de deterioro relacionado o fallas por cargas del tránsito (LDR) y no relacionadas a cargas del tránsito (NDR).

Entonces, para cada tipo de deterioro se procede a determinar el daño que produce en el pavimento por medio de un índice parcial, obtenido a través de la multiplicación de su

respectivo índice de influencia, por su incremento de peso (de acuerdo a la severidad de daño) y su frecuencia (de acuerdo a su aparición).

$$DET_i = FI_i * PI_i * FRECUENCIA_i$$

Donde, **DET** es el deterioro evaluado, **FI** es su índice de influencia, **PI** es su incremento de peso, y **FRECUENCIA** es la incidencia de aparición evaluada en campo.

Una vez obtenido el índice de deterioro de cada falla, se procede a calcular los índices LDR y NDR restando de 100 los índices de las fallas influenciadas por cargas y no influenciadas por cargas del tránsito, respectivamente.

$$LDR = 100 - PIEL\ DE\ COCODRILO - PARCHEO - BACHES - PELADURAS - AHUELLAMIENTO$$

$$NDR = 100 - GRIETAS\ LINEALES - PARCHEO - DESPRENDIMIENTO\ DE\ AGREGADOS - EXUDACIÓN\ DE\ ASFALTO$$

Donde, **LDR** es el índice de deterioro relacionado a fallas influenciadas por cargas del tránsito, **NDR** es el índice de deterioro relacionado a fallas no influenciadas por cargas del tránsito.

Finalmente, el ICC que resulta del valor menor entre el LDR y NDR se define como el ICF (Índice de Condición Funcional) del pavimento, y de acuerdo a éste se procede a clasificar el estado cualitativo de la vía (Excelente, Bueno, Regular, Pobre, Muy Pobre).

Tabla 10. Índice de Condición Funcional del pavimento mediante el método Windshield (Obtenido de: VDOT, 2006).

Escala de Índice (ICC)	Condición del Pavimento
90-100	Excelente
70-89	Bueno
60-69	Regular
50-59	Pobre
0-49	Muy Pobre

### 3.4.3. Método *Windshield* para pavimentos Semirrígidos o Adoquinados

#### **Deformaciones**

Están relacionadas con las cargas de tránsito (LDR) y comprenden deterioros tales como: abultamientos, ahuellamiento y depresiones.

#### **Desprendimientos**

No se encuentran relacionados con las cargas de tránsito (NDR) y comprenden deterioros tales como: desgaste superficial y pérdida de arena.

#### **Desplazamientos**

Están y no están relacionados con las cargas de tránsito (LDR y NDR) y comprenden deterioros tales como: desplazamientos de borde y de juntas.

#### **Fracturamientos**

Están relacionados con las cargas de tránsito (LDR) y comprenden deterioros ocasionados por fracturamiento y fracturamiento de confinamientos internos y externos.

#### **Escalonamientos**

No están relacionadas con las cargas de tránsito (NDR) y comprenden un deterioro por escalonamiento entre adoquines y entre adoquines y confinamientos.

#### **Vegetación**

No está relacionada con las cargas de tránsito (NDR) y comprende un deterioro por juntas abiertas y vegetación en la calzada.

Es necesario agrupar la influencia del daño entre los deterioros involucrados con la carga del tránsito (LDR) y los que no se encuentran involucrados con la misma (NDR) para obtener el ICF en función de la mayor pérdida de funcionalidad del pavimento.

Para ello se procede a procesar los parámetros preliminares para el cálculo del ICF a través del método *Windshield*. Para proceder con la evaluación de los pavimentos adoquinados, de acuerdo con Higuera y Pacheco (2010), los deterioros se los globaliza en cinco clases que contienen a todos, donde se identifica el tipo de deterioro, la clase o grupo en el que se encuentra, su factor de clase, su incremento de peso, su factor de penalización por nivel de severidad y su área equivalente afectada.

Tabla 11. Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF) (Higuera y Pacheco, 2010).

Clase	Tipo de deterioro	Factor de clase (F)	Inc. Peso (PI)	Nivel de severidad (FNS)			%Área Equivalente Afectada (FA)				
				Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	abultamiento	48	1.2	1.0	1.25	1.5	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Ahuellamiento		1.2	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Depresiones		1.0	1.0	1.20	1.4	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Desprendimientos	Desgaste superficial	9	1.1	1.0	1.20	1.4	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Pérdida de arena		1.0	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	10	1.0	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Desplazamiento de juntas		1.0	1.0	1.10	1.2	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	1.0	1.10	1.2	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Otros deterioros	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	1.0	1.25	1.5	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Juntas abiertas		1.0	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Vegetación en la calzada		1.1	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0

Con estos factores ya normados y validados por Higuera y Pacheco (2010) y siguiendo la guía de desarrollo de Bustamante (2018) se procede a obtener la tabla de evaluación de las unidades de muestreo en campo donde se globalizan los deterioros en seis grupos principales.

Tabla 12. Hoja de encuesta para determinar ICF para pavimentos adoquinados (modificado de Cedillo y Pauta, 2023).

Lugar:				Tramo:					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (IF)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORMACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR		
	M		0.94						
	L		0.60						
DESPRENDIMIENTOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		0.37						
	L		0.20						
DESPLAZAMIENTOS	H	10	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.34						
	L		0.20						
FRACTURAMIENTOS	H	12	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR		
	M		0.37						
	L		0.20						
ESCALONAMIENTOS	H	27.6	0.72	0.5	0.6	0.8	LDR, NDR		
	M		0.40						
	L		0.20						
VEGETACIÓN	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		0.37						
	L		0.20						
							LDR		
							NDR		
							ICF		

### 3.4.4. Método PCI para pavimentos Flexibles

Para desarrollar el método se sigue el procedimiento indicado en la Norma ASTM D6433-11, donde el trabajo preliminar consiste en preparar el formato de las hojas de inspección que usará el evaluador. Se debe identificar los daños de acuerdo a la clase, severidad y extensión

de los mismos, para ello, se debe registrar información como fecha de inspección, nombre del evaluador, ubicación de evaluación, componente e identificación, sección, tamaño del elemento de muestra, tipos de falla, su grado de severidad y las cantidades parciales y totales.

Tabla 13. Deterioros para pavimentos flexibles (ASTM D-6433, 2011).

Nro.	Tipo de deterioro	Nro.	Tipo de deterioro
1	PIEL DE COCODRILO	11	PARCHEO
2	EXUDACIÓN	12	PULIMENTO DE AGREGADOS
3	AGRIETAMIENTO DE BLOQUE	13	HUECOS
4	ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS	14	CRUCE DE VÍA FÉRREA
5	CORRUGACIÓN	15	AHUELLAMIENTO
6	DEPRESIONES	16	DESPLAZAMIENTOS
7	GRIETAS DE BORDE	17	GRIETAS PARABÓLICAS
8	GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA	18	HINCHAMIENTO
9	DESNIVEL CARRIL-BERMA	19	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS
10	GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES		

Para proceder con la evaluación del pavimento, el método exige un número mínimo de unidades de muestra requeridas, pueden ser todas las unidades, la cantidad que represente un 95% de confiabilidad o una cantidad menor a ésta. Por ello, para obtener el número mínimo de unidades de muestra ( $n$ ) con una confiabilidad del 95% de estimación del PCI de la sección se calcula  $n$  y se redondea al entero superior. Sin embargo, si el número de unidades a evaluar es menor que cinco ( $n < 5$ ), todas las unidades deben ser evaluadas.

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

Donde,  $e$  ( $\pm 5$ ) es el error admisible en el estimativo del PCI de la sección;  $s$  es la desviación estándar (10 para pavimentos flexibles) del PCI entre las unidades de muestra; y  $N$  es el número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

Para confirmar que el número de unidades de muestra es el adecuado se debe calcular la desviación estándar real.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_s)^2}{(n - 1)}}$$

Donde, **PCI<sub>i</sub>** es el PCI de la unidad de muestra; **PCI<sub>s</sub>** es el PCI de la sección (promedio de las unidades de muestra); y **n** es el número total de unidades evaluadas.

### **Inspección de las unidades de muestreo**

Es necesario evaluar individualmente cada unidad de muestreo y de cada una de ellas se debe llevar un registro, en las hojas de evaluación, de características como la extensión y la severidad del deterioro de cada una de las fallas existentes.

### **Obtención del Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

#### **Cálculo de los valores deducidos**

Partiendo del registro de cada tipo de falla existente, su nivel de severidad y sus cantidades parciales de cada deterioro obtenido en la evaluación de campo, se procede a totalizar de manera conjunta todas aquellas que son del mismo tipo y del mismo grado de severidad.

Posteriormente se tiene que dividir la cantidad total de cada tipo de deterioro, según su nivel de severidad, para el área total de la unidad de muestreo evaluada y multiplicar por 100 para obtener su porcentaje de densidad del deterioro de acuerdo a su nivel de severidad existente en la unidad de muestreo estudiada.

Ahora, se determina el valor deducido (DV) de cada tipo de deterioro según su respectivo nivel de severidad por medio de ábacos de curvas conocidas como “valor deducido del daño” que se encuentran en el apéndice X3 de la norma ASTM D6433-11.

#### **Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores deducidos (m)**

A continuación, se determina el máximo valor deducido corregido (CDV). Se debe tener en cuenta que si solo uno o ningún valor deducido (DV) es mayor a 2 se utiliza la suma de los valores deducidos en vez del valor deducido corregido (CDV).

De esta manera, se debe ordenar de mayor a menor los valores deducidos individuales y continuar a determinar el Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m).

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV) \leq 10$$

Donde, **m** es el número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo, y **HDV** es el mayor valor deducido individual de la unidad de muestreo.

El último paso del proceso es colocar los valores deducidos en una fila de mayor a menor, se debe tener en cuenta que el menor de los valores deducidos debe ser reemplazado por el producto de éste con la fracción decimal del valor de “m” obtenido. Si m es mayor a la cantidad de valores deducidos (DV) obtenidos, se utilizan todos los DV en la tabla. En caso de que el valor de “m” sea menor a la cantidad de valores deducidos (DV), utilizar la cantidad de valores deducidos más altos que correspondan al valor de “m” calculado.

El parámetro “q” indica el número de filas de la tabla, y se lo determina contando la cantidad de valores deducidos mayores a dos que existan en el listado. Hay que reducir el menor valor deducido individual mayor a dos hasta llegar a cumplir que “q” sea igual a 1 (q=1).

Se continúa con la obtención de la suma de todos los valores deducidos de cada fila y se los registra como un valor total.

Se debe determinar el máximo valor deducido corregido (CDV) buscando en la curva de corrección adecuada para pavimento asfáltico con el valor deducido total (TDV) y “q”.

Finalmente, se determina el valor del PCI restando de 100 el máximo CDV obtenido anteriormente.

$$PCI = 100 - CDV_{max}$$

Donde, **PCI** es el Índice de Condición del Pavimento, y **CDV** es el valor de deducción corregido más alto.

Con el valor del PCI obtenido se procede a calificar cualitativamente el estado de la unidad evaluada.

Tabla 14. Rangos de calificación del pavimento (PCI) (Vásquez, 2002).

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

### 3.4.5. Método alternativo para pavimentos Semirrígidos o Adoquinados

De acuerdo con Higuera y Pacheco (2010), se consideran deterioros típicos de los pavimentos articulados que han sido construidos ya sea con adoquines de concreto o de ladrillo para su evaluación mediante la metodología presentada por los autores y sus tablas evaluativas desarrolladas, además de que dicha formulación ha sido aceptada y validada por la normativa colombiana para determinar el Índice de Condición Estructural (ICE) y el Índice de Condición Funcional (ICF) de estructuras de pavimentos articulados, siendo este último de interés para el presente estudio.

Tabla 15. Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF) (Higuera y Pacheco, 2010).

Clase	Tipo de deterioro	Índice de influencia (IF)	Inc. Peso (PI)	Nivel de severidad (FNS)			%Área Equivalente Afectada (FA)				
				Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	abultamiento	48	1.2	1.0	1.25	1.5	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Ahuellamiento		1.2	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Depresiones		1.0	1.0	1.20	1.4	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Desprendimientos	Desgaste superficial	9	1.1	1.0	1.20	1.4	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Pérdida de arena		1.0	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	10	1.0	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Desplazamiento de juntas		1.0	1.0	1.10	1.2	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	1.0	1.10	1.2	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0

<b>Otros deterioros</b>	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	1.0	1.25	1.5	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Juntas abiertas		1.0	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0
	Vegetación en la calzada		1.1	1.0	1.15	1.3	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0

Para continuar con el procedimiento de toma de información en campo, se debe tener en cuenta que, es necesario ser meticuloso en la medición cuantitativa de los distintos tipos de deterioro existentes para determinar el área de afección en porcentaje (%Ae) según su nivel de severidad con respecto a la unidad de muestreo evaluada. Posteriormente se deben clasificar los deterioros de acuerdo a su tipo de daño y nivel de severidad (NFS) del mismo, para determinar el área equivalente afectada y su porcentaje. Con ello, se realiza una interpolación de acuerdo a los rangos en el que se encuentre el porcentaje de área equivalente para así determinar el factor de penalización por área afectada (FA) que posteriormente se multiplica por la influencia del deterioro y se obtiene el índice de daño de cada deterioro, que finalmente se suman todos y se resta de cien para obtener el Índice de Condición Funcional (ICF) del pavimento adoquinado.

### **Cálculo del área total (AT) y del porcentaje de área afectada (%Aa).**

Para obtener el área total (AT) se debe obtener el área de la unidad de muestreo, es decir, se multiplica la longitud del tramo a evaluar por el ancho de la vía. Entonces, el porcentaje de área afectada se consigue realizando una relación entre el área afectada debido al tipo de deterioro según su severidad y el área total de la unidad de muestreo.

$$\%Aa = \frac{Aa}{AT} * 100$$

Donde, **%Aa** es el porcentaje de área afectada debido al tipo de deterioro, **Aa** es el área afectada por el deterioro, y **AT** es el área total de la unidad de muestreo.

### **Cálculo del porcentaje de área equivalente afectada (%Ae)**

Consiste en obtener la sumatoria de los porcentajes de área afectada influenciados por su respectivo peso y nivel de severidad.

$$%Ae = \sum_{i=1}^n (PI * \%Aa * FNS)$$

Donde, **%Ae** es el porcentaje de área equivalente afectada, **PI** es el peso del deterioro correspondiente, **%Aa** es el porcentaje del área afectada de acuerdo al deterioro y su severidad, y **FNS** es el factor de penalización correspondiente al nivel de severidad.

### Cálculo del factor de penalización por área afectada (FA)

Este factor representa el grado de afectación que han causado la combinación de los deterioros pertenecientes a una misma clase o grupo. Para determinar este valor se utiliza una interpolación dentro del rango de valores en el que se encuentre el porcentaje de área equivalente con los valores normados de factores de penalización por área afectada correspondientes.

### Obtención del Índice de Condición Funcional (ICF)

Una vez obtenidos los factores de penalización correspondientes a cada clase de deterioro, se procede a multiplicar éste por su respectivo índice de influencia de factor de clase y sumarlos para obtener un índice de deterioro total, el cual, al restarse de 100, da como resultado el ICF.

$$ICF = 100 - \sum_{i=1}^n (IF_i * FA_i)$$

Para ello se ha desarrollado la hoja de evaluación para el registro de datos y posteriormente el cálculo del ICF.

Tabla 16. Hoja de evaluación en campo (modificado de Higuera y Pacheco, 2010).

Tramo:				%Aa por nivel de severidad			% Ae	%Área Equivalente Afectada (FA)					F A	F* F A
Clase	Tipo de deterioro	Índice de influencia (IF)	Peso (PI)	Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	abultamiento	48	1.2				0	0.5	0.6	0.76	1			
	Ahuellamiento		1.2				0	0.5	0.6	0.76	1			
	Depresiones		1.0				0	0.5	0.6	0.76	1			
De	Desgaste superficial		1.1				0	0.5	0.6	0.76	1			

spr en di mi ent os	Pérdida de arena	9	1.0				0	0.5	0.6	0.76	1		
De spl aza mi ent os	Desplazamiento de borde	10	1.0				0	0.5	0.6	0.76	1		
	Desplazamiento de juntas		1.0				0	0.5	0.6	0.76	1		
Fra ctu ra mi ent os	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2				0	0.5	0.6	0.76	1		
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0				0	0.5	0.6	0.76	1		
Otr os det eri oro s	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2				0	0.5	0.6	0.76	1		
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1				0	0.5	0.6	0.76	1		
	Juntas abiertas		1.0				0	0.5	0.6	0.76	1		
	Vegetación en la calzada		1.1				0	0.5	0.6	0.76	1		
<b>ICF=</b>													

### 3.5. Análisis para pavimento de Lastre

Para el caso de los pavimentos lastrados no es posible predecir valores de deterioro de manera precisa y cercana a la realidad puesto que su estructura está únicamente conformada por material de base o subbase compactado que sirve como capa de rodamiento para el tránsito. Normalmente se deteriora con facilidad debido al volumen del tráfico y los cambios climáticos abruptos.

Por esta razón la metodología que se debe emplear para el análisis de este tipo de pavimentos es sencilla y simple calificando de manera cualitativa su funcionalidad, para ello se considera que el pavimento se puede encontrar en las siguientes condiciones: Buena, si es que el estado de la capa de rodadura no produce reducción de velocidad en el vehículo;

Aceptable, si es que la condición de la capa de rodadura produce ligeras reducciones de velocidad en ciertos tramos de su extensión, pero no produce condiciones de inseguridad al tránsito; y finalmente, Mala, si es que la capa de rodadura del pavimento produce inseguridad y reducción de velocidad al transitar.

Para este tipo de pavimentos se seleccionó una muestra de 2578 m (2.57 km) de pavimento lastrado para ser evaluado por medio del SGI a ser propuesto.

### 3.6. Metodología para la Toma de Decisiones

La toma de decisiones está ligada con la optimización, las matrices de probabilidad de transición de Markov, priorización, jerarquización y con el uso de un IDC (Índice de Deterioro Compuesto) se obtiene el resultado final de la curva de deterioro del pavimento. Para obtener dicha curva primero se realiza la optimización de la red vial mediante el uso de las matrices de probabilidad de Markov. Por otro lado, el IDC se calcula asignando pesos a 8 criterios establecidos y la suma de estos nos daría el valor buscado. Luego, se priorizan las vías en mal estado en base al valor del IDC. Finalmente se toma una decisión de acuerdo al presupuesto disponible y el menor valor del IDC para poner en marcha los mantenimientos y tratamientos requeridos.

#### 3.6.1. Optimización de la Red Vial

Para la optimización de la red vial se analizan las matrices de probabilidad de transición de Markov, con el fin de obtener los valores del IDC. El cálculo inicia con la asignación de los 8 criterios para el análisis de tipo de mantenimiento. El procedimiento para la obtención es la multiplicación de cada criterio que tiene un peso por los coeficientes que tiene cada opción de acuerdo al criterio. Posteriormente, se suman los resultados de esas multiplicaciones y se divide para la suma de los 8 pesos de cada criterio (la suma de los 8 pesos siempre debe ser el valor de uno). Estos criterios se representan en la **Tabla 17** que posteriormente con el valor del IDC se define el tipo de mantenimiento que se le dará a tramo de acuerdo a ciertos rangos establecidos en la **Tabla 18**.

**Valor del ICF:** Una vez realizada la evaluación de los pavimentos en campo, el valor obtenido del ICF se puede considerar como aquel valor de mayor peso o más importante debido a su cuantificación y su forma de obtención, puesto que refleja la condición del pavimento de manera cuantitativa.

**Puntuación de Expertos:** Este criterio depende de las observaciones realizadas por ingenieros de diferentes universidades que se involucren en el estudio de los pavimentos o personal calificado en dicho tema. Se consideran cinco calificaciones: Excelente, Bueno, Regular, Pobre y Muy Pobre.

**Importancia:** El valor que se asigna a este criterio se define por la ubicación y funcionalidad de las construcciones a las que sirve la vía. Se consideran tres calificaciones: Normal, Importante, Muy Importante y Sin Datos.

**Antigüedad de Recapeo:** Este criterio se puntuará en función de la antigüedad del último recapeo realizado en la vía. Se consideran seis calificaciones: si el recapeo se ha realizado el mismo año que se realiza la evaluación, es decir a 0 años, si es menor o igual a 5 años, si es menor o igual a 10 años, si es menor o igual a 15 años, si es menor o igual a 20 años y finalmente, si es Sin Datos.

**Antigüedad de Sellado:** Este criterio se puntuará en función de la antigüedad del último sellado colocado en la vía. Se consideran seis calificaciones: si el sellado se ha realizado en el mismo año que se realiza la evaluación, es decir a 0 años, si es menor o igual a 5 años, si es menor o igual a 10 años, si es menor o igual a 15 años, otro valor si es menor o igual a 20 años, y finalmente, un último valor si es Sin Datos.

**Uso:** Este criterio dependerá de la concurrencia vehicular presente en la vía estudiada. Se consideran 4 calificaciones: Normal, Concurrido, Muy concurrido y Sin Datos.

**Vida útil restante:** Este criterio está en función de la vida útil restante de la vía según el periodo de diseño designado. Se consideran 4 calificaciones: Mayor o igual a 15 años, Entre 5 y 15 años, Menor o igual a 5 años y Sin Datos.

**Opinión del Usuario:** Las opiniones del usuario correspondientes a la aceptación o descontento con respecto a la funcionalidad de la vía, son muy importantes. Se consideran 4 calificaciones: Positiva, Neutra, Negativa y Sin Datos.

Tabla 17. Ocho criterios para el análisis del tipo de mantenimiento y valor del IDC (Talmage, Mogrovejo, &amp; Zhang, 2011).

Criterios	Peso	Opciones
Valor ICF	0,6	Valor ICF
Puntuación de Expertos	0,1	Excelente: 100 - Bueno: 90 - Regular: 70 - Pobre: 60 - Muy Pobre: 50
Importancia	0,1	Normal: 1,2 - Importante: 1 - Muy Importante: 0,8 - Sin Datos: 0
Antigüedad de Recapeo	0	0: 1,4 - Menor o igual a 5: 1,2 - Menor o igual a 10: 1 - Menor o igual a 15: 0,8 - Menor o igual a 20: 0,6 - Sin Datos: 0
Antigüedad de Sellado	0	0: 1,4 - Menor o igual a 5: 1,2 - Menor o igual a 10: 1 - Menor o igual a 15: 0,8 - Menor o igual a 20: 0,6 - Sin Datos: 0
Uso	0,1	Normal: 1,2 - Concurrido: 1 - Muy Concurrido: 0,8 - Sin Datos: 0
Vida útil restante	0	Mayor o igual a 15 años:1,2 - Entre 5 y 15 años: 1 - Menor o igual a 5 años: 0,8 - Sin Datos: 0
Opinión del Usuario	0,1	Positiva: 1,2 - Neutra:1 - Negativa: 0,8 - Sin Datos: 0
Suma	1	

Tabla 18. Mantenimientos sugeridos en base al IDC (Talmage, Mogrovejo, &amp; Zhang, 2011).

Resultado IDC	Mantenimiento Sugerido
86-100	Preventivo
71-85	Correctivo
56-70	Recapeo
36-55	Rehabilitación
0-35	Reconstrucción

Finalmente, al obtener el Valor del INC y colocar el mantenimiento sugerido con respecto al rango antes mencionado se indican en la **Tabla 19** todos los tratamientos sugeridos para cada tipo de mantenimiento (Vásquez, 2020).

Tabla 19. Tratamientos sugeridos de acuerdo al tipo de mantenimiento y pavimento (Vásquez, 2002).

Tipo de Mantenimiento	Pavimento Asfáltico	Pavimento Adoquinado
Preventivo	Limpieza de cunetas, Chapeo de montes, Limpieza de montes, Corte de ramas, Bacheo parcial	Limpieza de cunetas, Chapeo de montes, Limpieza de montes, Corte de ramas
Correctivo	Sello superficial de grietas, Sello asfáltico, Tratamiento superficial, Bacheo mayor, Reparación del espesor dañado, Sustitución del parche	Reacomodo del adoquinado, Reemplazo menor de adoquines, Sello de juntas, Reconstrucción de juntas
Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble	Reanudado de la superficie, Cambio de adoquines
Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica	Readoquinado parcial, Reposición del material de la capa, Readoquinado total
Reconstrucción	Mejoramiento de la subbase, Mejoramiento de la base, Cambio de la carpeta asfáltica parcial, Cambio de la carpeta asfáltica total	Cambio de cama de arena, Mejoramiento de la base, Readoquinado total

### 3.6.2.1. Matrices estándar de probabilidad de transición de Markov

Para calcular la predicción de deterioros en el tiempo para la red vial, se pueden utilizar matrices de Markov, basándose en el tipo de mantenimiento antes mencionado. Los porcentajes siguientes se derivan de criterios técnicos respaldados por la teoría de deterioro y la experiencia de tratamientos realizados. El objetivo es representar la condición de los pavimentos después de aplicar o no una intervención particular en ellos. El uso de matrices de transición o valores de activación para mantenimientos es el procedimiento de tratamiento apropiado, según ICT (*Illinois Center For Transportation*). (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011)

#### Sin Intervención

La matriz de evolución del deterioro sin intervención se tiene que el 85% de los pavimentos calificados como "Excelente" permanecerán en dicho estado, mientras que el 6%, el 5%, el 3% y el 1% se degradará a "Bueno", "Regular", "Pobre" y "Fallado", respectivamente. Los pavimentos clasificados como "Bueno" tienen una probabilidad del 72% de mantener su estado actual, mientras el 15%, el 8% y el 5% se degradará a estados "Regular", "Pobre" y "Fallado", respectivamente. Se espera que el 64% de los pavimentos clasificados como "Regular" permanezcan en ese estado, mientras el 20% y el 16% se degradará a los estados "Pobre" y "Fallado", respectivamente. Para los pavimentos que se clasifican como "Pobre" se tiene el 50%, mientras el 50% restante se encuentra en estado denominado "Fallado". Por



último, en caso de los pavimentos clasificados como "Fallado" se espera que en su totalidad permanezcan con el 100%.

Tabla 20. Valores de predicción de deterioro sin intervención (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011).

Estados	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Excelente	85	6	5	3	1
Bueno	0	72	15	8	5
Regular	0	0	64	20	16
Pobre	0	0	0	50	50
Fallado	0	0	0	0	100

### Mantenimiento Preventivo

La matriz de evolución del deterioro correspondiente al mantenimiento preventivo se tiene que el 96% de los pavimentos calificados como "Excelente" permanecerán en dicho estado, mientras que el 4% restante se degradará a "Bueno". Los pavimentos clasificados como "Bueno" tienen una probabilidad del 93% de mantener su estado actual, mientras que el 7% restante se degradará a estados "Regular" y "Pobre" con una probabilidad del 6% y 1%, respectivamente. Se espera que el 85% de los pavimentos clasificados como "Regular" permanezcan en ese estado, mientras que el 15% restante se degradará a los estados "Pobre" y "Fallado", con una disminución del 13% y del 2%, respectivamente. Para los pavimentos que se clasifican como "Pobre" se tiene el 80%, mientras que el 20% restante se encuentra en estado denominado "Fallado". Por último, en caso de los pavimentos clasificados como "Fallado" se espera que en su totalidad permanezcan con el 100%.

Tabla 21. Valores de predicción de deterioro para un mantenimiento preventivo (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011).

Estados	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Excelente	96	4	0	0	0
Bueno	0	93	6	1	0
Regular	0	0	85	13	2
Pobre	0	0	0	80	20
Fallado	0	0	0	0	100

## Mantenimiento Correctivo

La matriz de evolución del deterioro correspondiente al mantenimiento correctivo se tiene que el 95% de los pavimentos calificados como "Excelente" permanecerán en dicho estado, mientras que el 4% y 1% se degradará a "Bueno" y "Regular", respectivamente. Los pavimentos clasificados como "Bueno" tienen una probabilidad del 85% de mantener su estado actual, mientras el 5% se mantiene en estado "Excelente" y el 10% restante se degradará a estados "Regular" y "Pobre" con una probabilidad del 7% y 3%, respectivamente. Se espera que el 80% de los pavimentos clasificados como "Regular" permanezcan en ese estado, mientras el 5% se mantiene en estado "Bueno" y el 15% restante se degradará a los estados "Pobre" y "Fallado", con una disminución del 12% y del 3%, respectivamente. Para los pavimentos que se clasifican como "Pobre" se tiene el 70%, mientras el 10% se mantiene en estado "Regular" y el 20% restante se encuentra en estado denominado "Fallado". Por último, en caso de los pavimentos clasificados como "Fallado" se espera que en su totalidad permanezcan con el 100%.

Tabla 22. Valores de predicción de deterioro para un mantenimiento Correctivo (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011).

Estados	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Excelente	95	4	1	0	0
Bueno	5	85	7	3	0
Regular	0	5	80	12	3
Pobre	0	0	10	70	20
Fallado	0	0	0	0	100

## Recapeo

La matriz de evolución del deterioro correspondiente al Recapeo se tiene que el 95% de los pavimentos calificados como "Excelente" permanecerán en dicho estado, mientras que el 4% y 1% se degradará a "Bueno" y "Regular", respectivamente. Los pavimentos clasificados como "Bueno" tienen una probabilidad del 86% de mantener su estado actual, mientras el 8% se mantiene en estado "Excelente" y el 6% restante se degradará al estado "Regular". Se espera que el 78% de los pavimentos clasificados como "Regular" permanezcan en ese estado, mientras el 8% se mantiene en estado "Excelente", el 4% en estado "Bueno" y el 10% restante se degradará a los estados "Pobre" y "Fallado", con una disminución del 7% y del 3%, respectivamente. Para los pavimentos que se clasifican como "Pobre" se tiene el 65%, mientras el 10% se mantiene en estado "Excelente", el 5% en estado "Bueno", el 2% en estado "Regular" y el 18% restante se encuentra en estado denominado "Fallado". Por último,

en caso de los pavimentos clasificados como "Fallado" se tiene el 80%, el 10% en estado "Excelente", el 5% en estado "Bueno", el 3% en estado "Regular" y el 2% en estado "Pobre".

Tabla 23. Valores de predicción de deterioro para un Recapeo (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011).

Estados	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Excelente	95	4	1	0	0
Bueno	8	86	6	0	0
Regular	8	4	78	7	3
Pobre	10	5	2	65	18
Fallado	10	5	3	2	80

## Rehabilitación

La matriz de evolución del deterioro correspondiente a Rehabilitación se tiene que el 95% de los pavimentos calificados como "Excelente" permanecerán en dicho estado, mientras que el 4% y 1% se degradará a "Bueno" y "Regular", respectivamente. Los pavimentos clasificados como "Bueno" tienen una probabilidad del 80% de mantener su estado actual, mientras el 10% se mantiene en estado "Excelente" y el 10% restante se degradará a estados "Regular" y "Pobre", con una disminución del 8% y 2%, respectivamente. Se espera que el 75% de los pavimentos clasificados como "Regular" permanezcan en ese estado, mientras el 10% se mantiene en estado "Excelente", el 2% en estado "Bueno" y el 13% restante se degradará a los estados "Pobre" y "Fallado", con una disminución del 10% y del 3%, respectivamente. Para los pavimentos que se clasifican como "Pobre" se tiene el 55%, mientras el 20% se mantiene en estado "Excelente" y el 25% restante se encuentra en estado denominado "Fallado". Por último, en caso de los pavimentos clasificados como "Fallado" se tiene el 75% y el 25% en estado "Excelente".

Tabla 24. Valores de predicción de deterioro para una rehabilitación (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011).

Estados	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Excelente	95	4	1	0	0
Bueno	10	80	8	2	0
Regular	10	2	75	10	3
Pobre	20	0	0	55	25
Fallado	25	0	0	0	75

## Reconstrucción

La matriz de evolución del deterioro correspondiente al Reconstrucción se tiene que el 96% de los pavimentos calificados como "Excelente" permanecerán en dicho estado, mientras que el 4% degradará a "Bueno". Los pavimentos clasificados como "Bueno" tienen una probabilidad del 80% de mantener su estado actual, mientras el 15% se mantiene en estado "Excelente" y el 5% restante se degradará al estado "Regular". Se espera que el 70% de los pavimentos clasificados como "Regular" permanezcan en ese estado, mientras el 20% se mantiene en estado "Excelente", el 7% en estado "Pobre" y el 3% restante se degradará a "Fallado". Para los pavimentos que se clasifican como "Pobre" se tiene el 60%, mientras el 30% se mantiene en estado "Excelente" y el 10% restante se encuentra en estado denominado "Fallado". Por último, en caso de los pavimentos clasificados como "Fallado" se tiene el 50% y el 50% en estado "Excelente".

Tabla 25. Valores de predicción de deterioro para una Reconstrucción (Wolters, Zimmerman, Schattler, & Rietgraf, 2011).

Estados	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Excelente	96	4	0	0	0
Bueno	15	80	5	0	0
Regular	20	0	70	7	3
Pobre	30	0	0	60	10
Fallado	50	0	0	0	50

### 3.6.3. Priorización en la intervención de la red vial

Para la obtención del resultado final sobre la curva de deterioro se establecen en orden los resultados del IDC, es decir, los pavimentos en mal estado con el valor de IDC más bajo se intervienen primero.

### 3.6.2. Jerarquización en la intervención de la red vial

Para la jerarquización se parte de la priorización ligado con los costos de cada intervención, por lo que cada vía se jerarquiza de acuerdo a la priorización del presupuesto del GAD de Santa Isabel para el 2023. De esta manera se tiene un resultado eficiente para la asignación del presupuesto para cada vía dependiendo el mantenimiento y tratamiento.

### 3.7. Rubros referenciales para el análisis presupuestal

A fin de poder realizar un análisis económico de la aplicación de las distintas intervenciones a la red vial y analizar su eficiencia en cuanto a optimizar el recurso económico en relación a la mejor recuperación funcional posible del pavimento, se crearon tablas presupuestales referenciales para cada tipo de intervención descrita en este trabajo. Se utilizó como guías rubros y valores presupuestales provenientes de APUs disponibles en la SERCOP (2020 en adelante) y trabajos de titulación como el de Gómez, D. (2019) y Becerra, A. & Sánchez, P. (2018).

Se crearon tablas presupuestarias que indican un costo de intervención en función de la cantidad de área a intervenir con cada alternativa de recuperación de la condición funcional del pavimento. Las tablas se encuentran disponibles en el enlace [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1JM6yQP4Q8F\\_UPD6GyvqwnL1pavxtjhS5bXLalV3OXYA/edit#gid=0](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1JM6yQP4Q8F_UPD6GyvqwnL1pavxtjhS5bXLalV3OXYA/edit#gid=0), donde se explica la forma de obtención de los valores referenciales para determinar los costos de intervención que se asignan a cada tratamiento seleccionado.

Tabla 26. APU referencial para pavimentos flexibles.

PREVENTIVO			CORRECTIVO			RECAPEO			REHABILITACIÓN			RECONSTRUCCIÓN		
Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo
Limpieza de alcantarillas	\$/m2	0.90	Limpieza de alcantarillas	\$/m2	0.90	60 mm de carpeta asfáltica	\$/m2	6.75	Capa de rodadura de hormigón.	\$/m2	8.67	Subbase Clase I (150 mm).	\$/m2	2.58
Limpieza de cunetas	\$/m2	1.09	Limpieza de cunetas	\$/m2	1.09	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	\$/m2	1.01	Carpeta asfáltica (e=3") Ho. Asf. mezclado en planta.	\$/m2	13.22	Base Clase I (150 mm).	\$/m2	2.60
Bacheo menor	\$/m2	10.32	Bacheo menor	\$/m2	10.32	Carpeta asfáltica (e=3") Ho. Asf. mezclado en planta	\$/m2	13.22	Piso asfáltico de 5 cm de espesor, realizado con mezcla bituminosa continua en caliente AC16 surf D, para capa de rodadura, de composición densa	\$/m2	8.23	60 mm de carpeta asfáltica	\$/m2	6.75
			Sello asfáltico.	\$/m2	2.08							Reparación de espesor dañado	\$/m2	8.67
			Tratamiento superficial	\$/m2	2.60							Carpeta asfáltica (e=3") Ho. Asf. mezclado en planta	\$/m2	13.22
												Subrasante, conformación y compactación con equipo pesado	\$/m2	1.27
												Imprimación asfáltica con barrido mecánico.	\$/m2	1,01
<b>TOTAL</b>	\$/m2	12.31	<b>TOTAL</b>	\$/m2	16.99	<b>TOTAL</b>	\$/m2	20.98	<b>TOTAL</b>	\$/m2	30.12	<b>TOTAL</b>	\$/m2	36.11

Tabla 27. APU referencial para pavimentos flexibles.

PREVENTIVO			CORRECTIVO			RECAPEO			REHABILITACIÓN			RECONSTRUCCIÓN		
Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo	Rubro	unidad	costo
Limpieza de cunetas.	\$/m2	1,09	Reacomodo del adoquinado	\$/m2	6,18	Reanudado de la superficie	\$/m2	10,59	Reposición del material de la capa	\$/m2	1,09	Cambio de cama de arena	\$/m2	0,79
Chapeo de montes.	\$/m2	1,27	Reemplazo menor de adoquines	\$/m2	3,65	Cambio de adoquines	\$/m2	11,14	Readoquinado total	\$/m2	24,22	Mejoramiento de la base	\$/m2	2,32
Limpieza de montes.	\$/m2	0,86							Retiro de adoquín	\$/m2	6,18	Readoquinado parcial	\$/m2	13,05
												Readoquinado total	\$/m2	24,22
<b>TOTAL</b>	\$/m2	3,22	<b>TOTAL</b>	\$/m2	9,83	<b>TOTAL</b>	\$/m2	21,73	<b>TOTAL</b>	\$/m2	31,49	<b>TOTAL</b>	\$/m2	40,38

Entonces, con estos costos obtenidos para cada tipo de mantenimiento y el software desarrollado se puede realizar una combinación de intervenciones para lograr obtener una optimización de la relación costo-beneficio para la recuperación de la condición funcional de la red vial del casco urbano del cantón Santa Isabel.

Tabla 28. Presupuesto referencial para cada tipo de pavimento.

	PAVIMENTO FLEXIBLE (\$/m2)	PAVIMENTO ADOQUINADO (\$/m2)
PREVENTIVO	12.31	3.22
CORRECTIVO	16.99	9.83
RECAPEO	20.98	21.73
REHABILITACIÓN	30.12	31.49
RECONSTRUCCIÓN	36.11	40.38

### 3.8. Metodología para analizar sostenibilidad y costos de intervención

Para proceder con el análisis de sostenibilidad se debe contrastar la situación actual de planificación y gestión vial con la sugerida como situación esperada y adecuada para el cantón Santa Isabel a través del programa INVEST, descrito en el apartado **2.9.2.**, que indica los criterios técnicos para la evaluación de las alternativas a analizar.

Existe cierta información que se requiere para analizar el ciclo de vida del pavimento, sin embargo, no se tienen registrada dicha información en la municipalidad, por lo cual se procede a formular hipótesis en base a la realidad de la historia del pavimento recolectada de encuestas a los usuarios.

- Se determinó que el año de construcción del pavimento fue en 1995, con una carencia de un adecuado mantenimiento, pero que al ser un pavimento nuevo presenta un bajo deterioro.
- En la transición del año 2014 al 2015, se determinó que se intervino el pavimento logrando recuperar sus condiciones funcionales, sin embargo, no se tiene registro de un mantenimiento rutinario ni periódico de la vía.
- En la transición del año 2019 al 2020, se mantiene la calidad del pavimento y es semejante a la mencionada en el punto anterior a causa de la disminución de la ocupación de las vías debido a la pandemia que produjo que el desgaste de la capa de rodadura sea bajo.
- Se propondrán dos alternativas de intervención para el pavimento a razón de evidenciar su evolución según criterios técnicos de sostenibilidad.

Para analizar los costos generados de acuerdo al tipo de intervención se utiliza el programa PaLATE 2.0, descrito en el apartado **2.9.1.**, que se encarga de realizar el cálculo de los costos totales de mantenimiento y construcción según los costos unitarios de cada rubro requerido



en la alternativa. Adicionalmente, se obtienen parámetros medioambientales que aportarán al análisis de sostenibilidad analizado en INVEST.

El programa de Sistema de Gestión de Infraestructura desarrollado para Santa Isabel sugiere un tipo de mantenimiento adecuado para cada uno de los tramos evaluados acorde a su estado funcional. Se considera la aplicación de un mantenimiento de Rehabilitación como primera alternativa y un mantenimiento de Recapeo como una segunda alternativa, debido a que este tipo de intervenciones cubre y solventa la mayor cantidad de deterioros de severidad alta dentro de la red vial, mejorando el estado funcional de las vías y garantizando su serviciabilidad.

Resulta conveniente y práctico ejemplificar un análisis de costos para un segmento de un kilómetro (1 km) de vía, dentro del cual se consideran cantidades específicas de intervención en obra. El análisis se realiza en la calle Isauro Rodríguez debido a que es una de las vías más transitadas e importantes para la movilidad de los usuarios en este grupo de vías evaluadas dentro de la zona estudiada de la cabecera cantonal de Santa Isabel. Se requiere del ancho, longitud (1 km), espesor y volumen de la vía para su adecuado análisis.

Las alternativas a estudiar se evaluarán con criterio técnico considerando la evolución del estado funcional de la vía, seleccionando intervenciones adecuadas para generar un deterioro controlado del pavimento.

**Primera alternativa:** Rehabilitación cada 8 años + Mantenimiento Preventivo anualmente.

**Segunda alternativa:** Recapeo cada 4 años + Mantenimiento Correctivo cada 2 años.

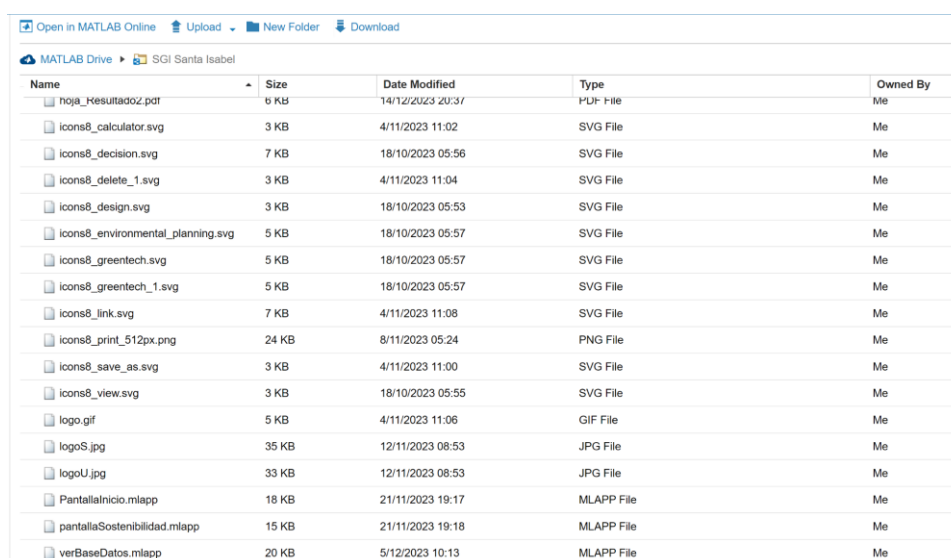
#### Capítulo 4. Desarrollo y Manual del Programa

El programa de gestión de la zona Este de la cabecera Cantonal de Santa Isabel está desarrollado en el sistema de cómputo numérico MATLAB. Para el correcto funcionamiento se debe ingresar los datos con coma, como separador de decimales. Para la operación del programa se tienen dos opciones de acceso, la primera es con la descarga e instalación de la plataforma de programación y la segunda alternativa más viable es el uso de MATLAB Online (básico) con el acceso desde cualquier computador que cuente con un navegador web.

En este trabajo de titulación se cuenta MATLAB Online (basic) para el desarrollo del programa y posterior uso académico e institucional. El uso de esta herramienta puede ser en cualquier navegador, donde el usuario debe registrarse utilizando la dirección del correo electrónico de

la organización (Universidad, Empresa, GAD Municipal de Santa Isabel) donde ofrece 20 horas al mes de uso gratuito. Una vez creada la cuenta el usuario el creador comparte un correo electrónico con la invitación de editar o visualizar la interfaz donde podrá interactuar con el programa con el fin de obtener la condición eficiente, sostenible y económica para la familia de pavimentos elegida con las respectivas alternativas a lo largo del tiempo establecido.

Inmediatamente después de acceder a la invitación se tiene la ventana que se indica en la **Figura 8**, donde se selecciona la opción **“Open in MATLAB Online”** que abre una nueva ventana donde se puede correr el código y empezar con la interacción de la interfaz del programa.



Name	Size	Date Modified	Type	Owned By
hoja_Resultado2.pdf	6 KB	14/12/2023 20:37	PDF File	Me
icons8_calculator.svg	3 KB	4/11/2023 11:02	SVG File	Me
icons8_decision.svg	7 KB	18/10/2023 05:56	SVG File	Me
icons8_delete_1.svg	3 KB	4/11/2023 11:04	SVG File	Me
icons8_design.svg	3 KB	18/10/2023 05:53	SVG File	Me
icons8_environmental_planning.svg	5 KB	18/10/2023 05:57	SVG File	Me
icons8_greentech.svg	5 KB	18/10/2023 05:57	SVG File	Me
icons8_greentech_1.svg	5 KB	18/10/2023 05:57	SVG File	Me
icons8_link.svg	7 KB	4/11/2023 11:08	SVG File	Me
icons8_print_512px.png	24 KB	8/11/2023 05:24	PNG File	Me
icons8_save_as.svg	3 KB	4/11/2023 11:00	SVG File	Me
icons8_view.svg	3 KB	18/10/2023 05:55	SVG File	Me
logo.gif	5 KB	4/11/2023 11:06	GIF File	Me
logoS.jpg	35 KB	12/11/2023 08:53	JPG File	Me
logoU.jpg	33 KB	12/11/2023 08:53	JPG File	Me
Pantallainicio.mlapp	18 KB	21/11/2023 19:17	MLAPP File	Me
pantallaSostenibilidad.mlapp	15 KB	21/11/2023 19:18	MLAPP File	Me
verBaseDatos.mlapp	20 KB	5/12/2023 10:13	MLAPP File	Me

Figura 8. Ventana en MATLAB Online para su posterior ejecución del programa.

En la nueva venta se abre el MATLAB Online y se tiene en la parte izquierda la carpeta **“SGI Santa Isabel”** que al dar doble clic sobre la misma se abren una serie de documentos similares a los de la **Figura 8**. Finalmente, antes de ejecutar el programa el usuario debe añadir una librería. Para ello, en el panel **“Environment”** se encuentra el botón **“Add-Ons”** que posteriormente despliega una lista con dos opciones, en la que se elige **“Get Add-Ons”**. **(Ver Figura 9).**

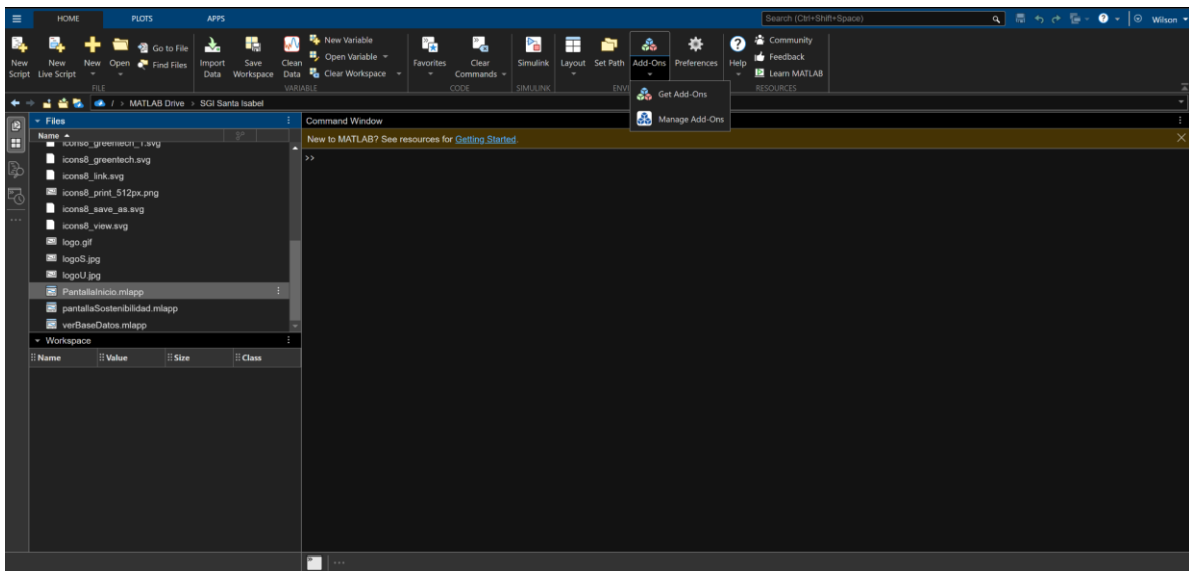


Figura 9. Ventana en MATLAB Online para añadir librería.

Al dar clic sobre este se abre una ventana nueva en la que el usuario busca la librería llamada **“Merge PDF-Documents”** y selecciona el botón azul **“Add”**. Por último, acepta las condiciones de licencia y cierra las ventanas para proceder a correr el programa en la herramienta MATLAB Online.

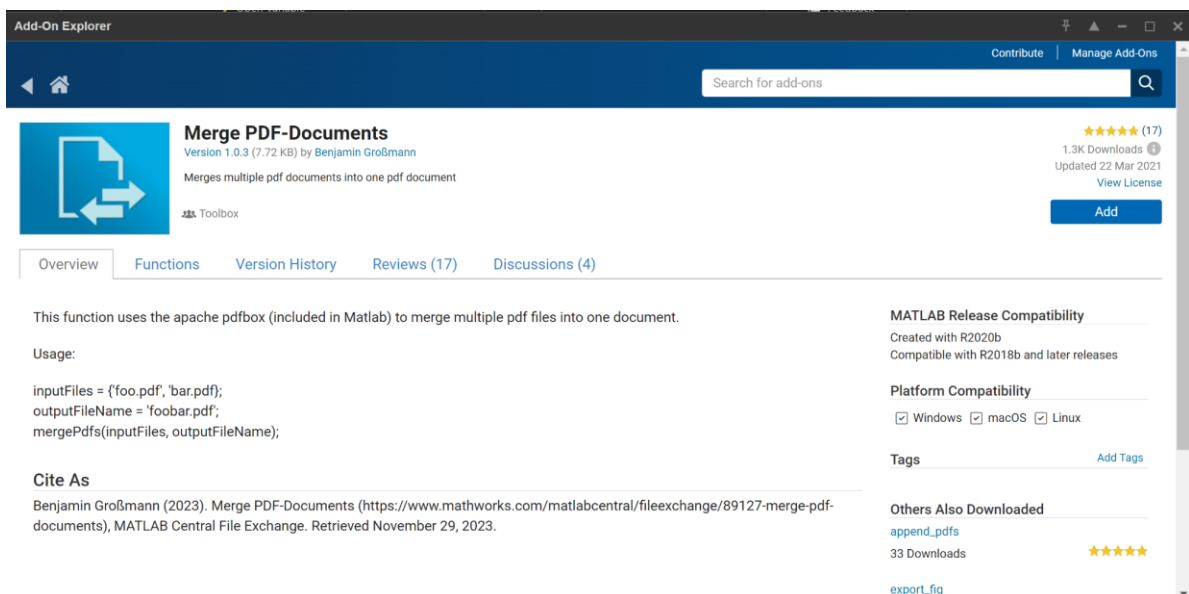


Figura 10. Ventana en MATLAB Online para instalar librería.

Finalmente, una vez instalada la librería el usuario se encuentra en la página principal de MATLAB Online, donde en la parte lateral izquierda se encuentra la lista de documentos y se busca **“PantallInicio.mlapp”**, que al dar clic derecho abre una ventana pequeña con las opciones que se indican en la **Figura 11**. Una vez desplegada la ventana se selecciona la opción **“Run”** para ejecutar el programa.

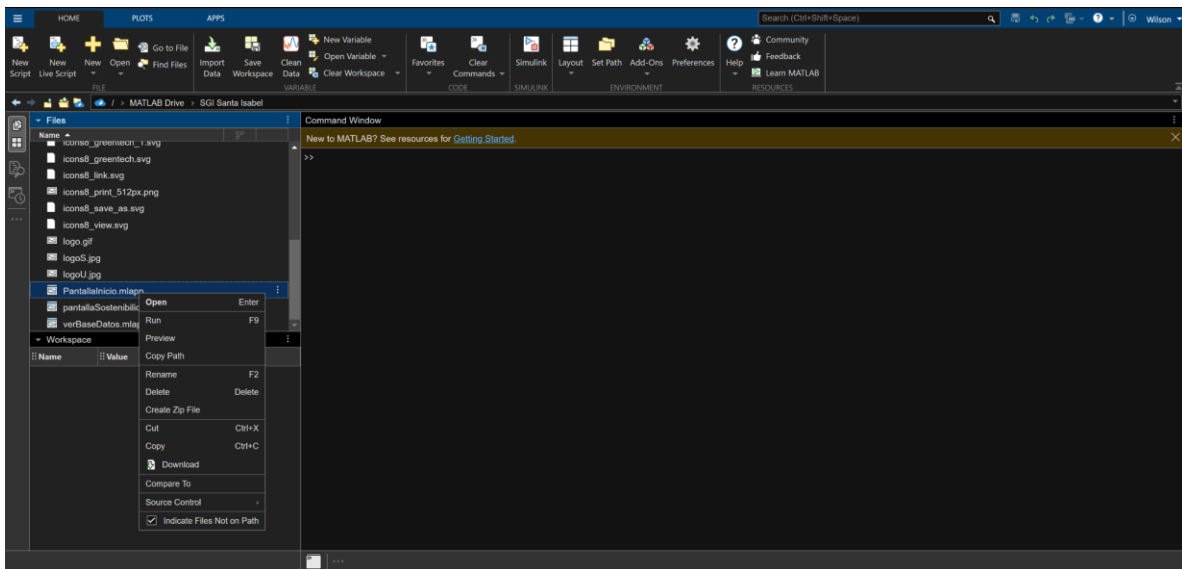


Figura 11. Ejecución del programa en MATLAB Online.

Después de ejecutar el programa con el procedimiento antes mencionado aparece una ventana nueva (**Figura 12**) que muestra la página principal donde está el menú que cuenta con las siguientes opciones: Ingresar datos de tramos, Visualizar base de datos, Toma de decisiones y Sostenibilidad.



Figura 12. Página principal con el menú del programa de gestión vial.

#### 4.1. Ingreso de Tramo

Al seleccionar el botón de **“INGRESAR DATOS DE TRAMO”** se abre una ventana nueva tal y como en la **Figura 13** donde se debe ingresar el nombre de la vía, ID del tramo, longitud

del tramo y ancho del tramo. Posterior al ingreso de los datos mencionados, el área del tramo es calculada automáticamente. El usuario debe seleccionar el tipo de pavimento de acuerdo al tramo ingresado. Una vez escogido el tipo de pavimento se encuentran la familia de fallas correspondiente, donde se tiene una *checklist* que selecciona el usuario dependiendo la severidad y frecuencia de dicha falla. Para la severidad se tiene que identificar si es alta, media, baja o ninguna. De igual manera, la frecuencia se tiene que seleccionar si la falla es frecuente, ocasional, rara o nunca.

Seguidamente de haber seleccionado la frecuencia y severidad de cada falla se presiona el botón “**Calcular**” para que el programa calcule automáticamente el valor del ICF del tramo y se pueda visualizar en el cuadro en blanco que se encuentra en la parte media inferior de la ventana. Finalmente, se selecciona el botón “**Guardar**” donde los datos del tramo se guardarán en la base de datos que posteriormente se podrá visualizar en otra ventana. Una vez seleccionado el botón “**Guardar**” los datos ingresados y calculados se borran para el posterior ingreso de un nuevo tramo. De esta manera, se describe el procedimiento que se debe llevar a cabo con cada ingreso de tramo con respecto a los Pavimentos Asfáltico y Adoquinado.

The screenshot shows a MATLAB App window titled "Ingreso de datos Tramo". On the left, there are input fields for "Nombre de la vía:", "ID del tramo:", "Longitud del tramo:" (with a value of 0), "Ancho del tramo:" (with a value of 0), and "Área del tramo:" (with a value of 0). On the right, there is a section for "Tipo de pavimento:" with tabs for "ASFALTO", "ADOQUINADO", and "LASTRE". Below this is a table of failure types with dropdown menus for severity and frequency.

FALLAS	SEVERIDAD	FRECUENCIA
GRIETAS LINEALES	Ninguna	Nunca
PIEL DE COCODRILO	Ninguna	Nunca
PARCHEO	Ninguna	Nunca
BACHES	Ninguna	Nunca
PELADURAS	Ninguna	Nunca
DESPREDIMIENTO	Ninguna	Nunca
EXUDACIÓN	Ninguna	Nunca
AHUELLAMIENTO	Ninguna	Nunca

At the bottom, there is a "VALOR ICF" field and two buttons: "Calcular" (with a calculator icon) and "Guardar" (with a save icon).

Figura 13. Página para el ingreso de información del tramo y tipos de fallas del pavimento asfáltico.

Por otro lado, para los pavimentos Lastrados se tiene un procedimiento diferente. Sin embargo, la parte de los datos del tramo es similar para cualquier tipo de pavimento. En la

**Figura 14** se puede observar que no existe cálculo alguno aparte del área de la vía. En esta página el usuario seleccionará la condición del tramo con una *checkboxlist* que contiene como buenas, aceptables y malas. Finalmente, se selecciona el botón “**Guardar**” donde los datos del tramo se guardarán en la base de datos que posteriormente se podrá visualizar en otra ventana. Una vez seleccionado el botón “**Guardar**” los datos ingresados y calculados se borran para el posterior ingreso de un nuevo tramo.



Figura 14. Página para el ingreso de información del tramo y tipos de fallas del pavimento lastrado.

## 4.2. Visualizar Base de Datos

Una vez finalizado el Ingreso de tramos, se regresa a la página principal, donde al seleccionar la opción de “**VISUALIZAR BASE DE DATOS**” se abre una ventana nueva tal y como en la **Figura 15**. En la parte superior izquierda se pueden filtrar los tipos de pavimentos mediante un *checkbox box*. Además, si por motivo alguno se ingresó un tramo incorrecto o se desea eliminar ciertos tramos se puede seleccionar el botón “**Eliminar Tramo**” y la base de datos se actualiza en tiempo real. Cabe recalcar que esta ventana de base de datos es solamente para la visualización y eliminación de tramos, mas no para ingresar algún tramo; para ello la **sección 4.1**, indica el procedimiento que se debe llevar a cabo para el respectivo ingreso.

MATLAB App

Base de Datos

Asfalto     
  Adoquinado     
  Lastre

Eliminar Tramo

Marcar	Nombre de la vía	ID del tramo	Tipo vía	Longitud del tramo (m)	Ancho del tramo (m)	Área del tramo (m2)	ICF
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	3A - 5B	Asfalto	117.44	7.30	857.31	43
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5B - 5C	Asfalto	56.07	7.30	409.31	66
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5C - 5C2	Asfalto	44.07	7.30	321.71	79
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5F - 5E	Asfalto	148.02	7.30	1080.55	43
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5E - 5D	Asfalto	147.02	7.30	1073.25	44
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5D - 5C2	Asfalto	60.00	7.30	438.00	84
<input type="checkbox"/>	SIN NOMBRE	31D1 - 31D	Asfalto	27.80	8.30	230.74	88
<input type="checkbox"/>	JOSÉ PERALTA	3D-31D	Asfalto	64.82	8.30	538.01	35
<input type="checkbox"/>	JOSÉ PERALTA	31D - 5D	Asfalto	37.63	8.30	312.33	29
<input type="checkbox"/>	JOSÉ PERALTA	5D - 6D	Asfalto	52.20	8.30	433.26	82
<input type="checkbox"/>	ROLANDO SARMIE...	6D - 5C1	Asfalto	85.90	7.20	618.48	66
<input type="checkbox"/>	ROLANDO SARMIE...	6D - 6E - 6F	Asfalto	202.29	7.20	1456.49	54
<input type="checkbox"/>	RODRIGO PALACIOS	6F - 5F	Asfalto	299.54	7.20	2156.69	43
<input type="checkbox"/>	SIN NOMBRE	5F1_1 - 5F2_1	Asfalto	75.66	6.20	469.09	85
<input type="checkbox"/>	SIN NOMBRE	5F3_1 - 5F4_1	Asfalto	87.60	6.20	543.12	82
<input type="checkbox"/>	MANABÍ	5E - 6E	Asfalto	187.87	8.70	1634.47	61

Figura 15. Página de visualización de base de datos y eliminación de tramos.

### 4.3. Toma de Decisiones

Una vez finalizado el Ingreso de tramos, se regresa a la página principal, donde al seleccionar la opción de **“TOMA DE DECISIONES”** se abre una ventana nueva tal y como en la **Figura 16**. En esta ventana se encuentra con tres pestañas superiores: **“Análisis de Mantenimiento”**, **“Resultados de Mantenimiento”** y **“Análisis de Intervención”**.

MATLAB App

ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO    RESULTADOS DE MANTENIMIENTO    ANÁLISIS DE INTERVENCIÓN

< Importante   Configuración   Pon >

**AVISO IMPORTANTE**  
Los tramos seleccionados deben pertenecer a la misma vía y ser del mismo tipo de Pavimento. En la Ponderación la suma de los pesos siempre debe ser UNO

ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO

ASFALTO 
 Calcular

Marcar	Nombre de la vía	ID del tramo	Tipo vía	Área (m2)	ICF
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	3A - 5B	Asfalto	857.31	43
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5B - 5C	Asfalto	409.31	66
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5C - 5C2	Asfalto	321.71	79
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5F - 5E	Asfalto	1080.55	43
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5E - 5D	Asfalto	1073.25	44
<input type="checkbox"/>	ISAURO RODRIGUEZ	5D - 5C2	Asfalto	438.00	84
<input type="checkbox"/>	SIN NOMBRE	31D1 - 31D	Asfalto	230.74	88
<input type="checkbox"/>	JOSÉ PERALTA	3D-31D	Asfalto	538.01	35
<input type="checkbox"/>	JOSÉ PERALTA	31D - 5D	Asfalto	312.33	29
<input type="checkbox"/>	JOSÉ PERALTA	5D - 6D	Asfalto	433.26	82
<input type="checkbox"/>	ROLANDO SARMIE...	6D - 5C1	Asfalto	618.48	66

Figura 16. Página de Toma de Decisiones.

### 4.3.1. Análisis de Mantenimiento

En la primera pestaña encontramos 3 sub pestañas para el uso y configuración del “Análisis de Mantenimiento”. Además, se encuentra la base de datos de la red vial clasificada según el tipo de pavimento. La primera sub pestaña es una nota importante de restricción para el desarrollo del proceso de configuración. (**Ver Figura 17**).

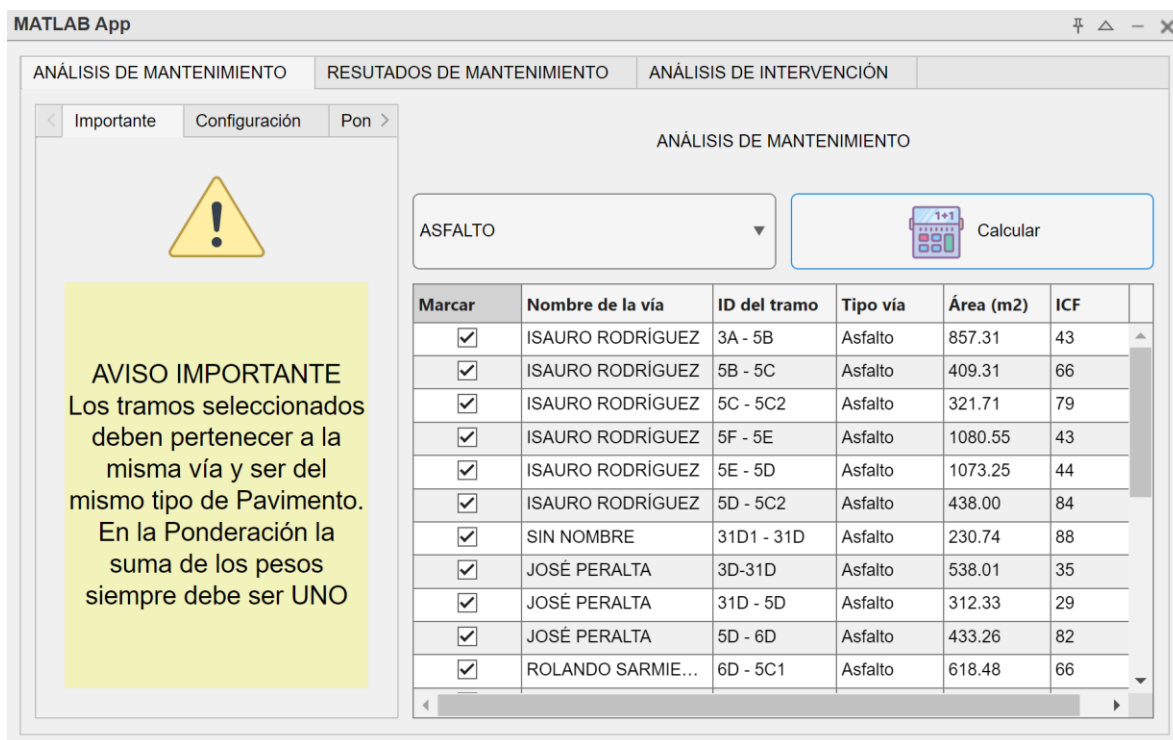


Figura 17. Sub pestaña de nota importante para el “Análisis de Mantenimiento”.

La segunda sub pestaña es la configuración de los 8 criterios mencionados en el capítulo **3.6.1.**, donde a cada criterio es asignado un peso para el posterior cálculo del IDC. (**Ver Figura 18**).



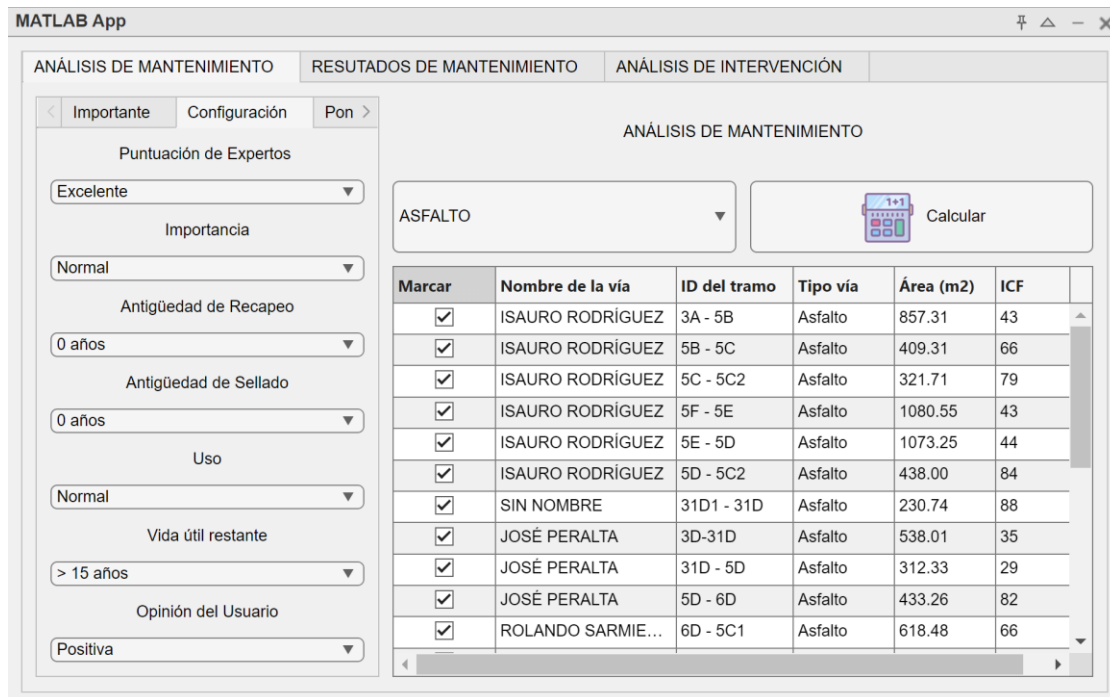


Figura 18. Sub pestaña de los 8 criterios para la obtención del IDC.

La tercera sub pestaña es la ponderación de pesos de los 8 criterios, donde la suma de estos siempre debe ser 1. (**Ver Figura 19**).

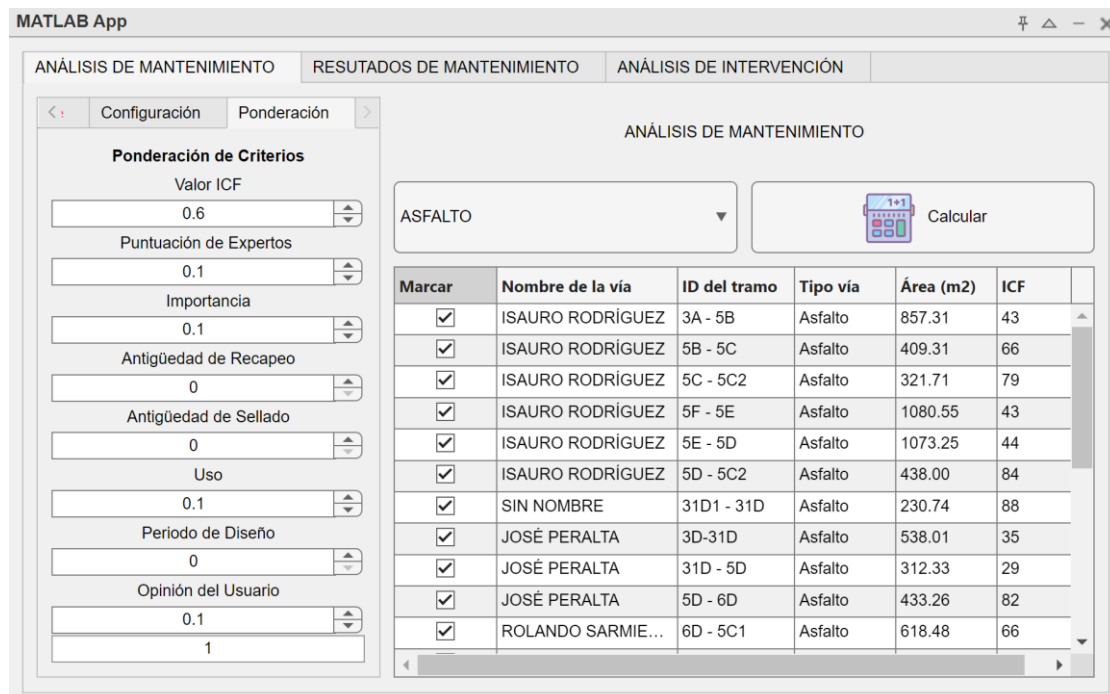


Figura 19. Sub pestaña de la configuración de los 8 criterios para la obtención del IDC.

Finalmente, una vez configurados los criterios se selecciona el tipo de pavimento y los tramos de vías que desea realizar el análisis y posterior cálculo del IDC. Seguidamente, el usuario debe dar clic en el botón calcular y pasar a la siguiente pestaña.

### 4.3.2. Resultados de Mantenimiento

En esta pestaña se encuentran los resultados del cálculo del IDC con su respectivo mantenimiento sugerido e intervenciones y/o algunos tratamientos sugeridos para su respectivo tramo antes seleccionado. **(Ver Figura 20).**

Nombre de la vía	ID del tramo	Tipo vía	Área (m2)	IDC	Mantenimiento Sugerido	Tratamiento Sugerido
ISAURO RODRIGUEZ	3A - 5B	Asfalto	857.31	43	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
ISAURO RODRIGUEZ	5B - 5C	Asfalto	409.31	66	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
ISAURO RODRIGUEZ	5C - 5C2	Asfalto	321.71	79	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carp...
ISAURO RODRIGUEZ	5F - 5E	Asfalto	1080.55	43	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
ISAURO RODRIGUEZ	5E - 5D	Asfalto	1073.25	44	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
ISAURO RODRIGUEZ	5D - 5C2	Asfalto	438.00	84	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carp...
SIN NOMBRE	31D1 - 31D	Asfalto	230.74	88	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carp...
JOSÉ PERALTA	3D-31D	Asfalto	538.01	35	Reconstruccion	Mejoramiento de la subbase, Mejoramiento de la ba...
JOSÉ PERALTA	31D - 5D	Asfalto	312.33	29	Reconstruccion	Mejoramiento de la subbase, Mejoramiento de la ba...
JOSÉ PERALTA	5D - 6D	Asfalto	433.26	82	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carp...
ROLANDO SARMIE...	6D - 5C1	Asfalto	618.48	66	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
ROLANDO SARMIE...	6D - 6E - 6F	Asfalto	1456.49	54	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
RODRIGO PALACIOS	6F - 5F	Asfalto	2156.69	43	Rehabilitacion	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
SIN NOMBRE	5F1_1 - 5F2_1	Asfalto	469.09	85	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carp...

Figura 20. Pestaña de Resultados de mantenimiento.

Además, en esta pestaña se encuentra en la parte inferior el botón **“Imprimir”** el cual genera un informe detallando los resultados antes mencionados, es decir: el nombre, ID del tramo, tipo de vía, Área, IDC, Mantenimiento Sugerido y Tratamiento Sugerido.

En caso de que el usuario desee imprimir el informe, el usuario debe dar doble clic en el botón **“Imprimir”** y la herramienta abre una pestaña nueva instantáneamente en el navegador donde tiene el informe detallado en formato pdf listo para su impresión. **(Ver Figura 21).**



## Resultados de Evaluación y Mantenimiento

Fecha: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_

Nombre del evaluador: \_\_\_\_\_ Cantón: \_\_\_\_\_

Firma del evaluador: \_\_\_\_\_ Parroquia: \_\_\_\_\_

	Nombre de la vía	Id	Tipo	IDC	Mantenimiento	Tratamiento Sugerido
1	ISAURO RODRÍGUEZ	3A - 5B	Asfalto	43	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
2	ISAURO RODRÍGUEZ	5B - 5C	Asfalto	66	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
3	ISAURO RODRÍGUEZ	5C - 5C2	Asfalto	79	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
4	ISAURO RODRÍGUEZ	5F - 5E	Asfalto	43	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
5	ISAURO RODRÍGUEZ	5E - 5D	Asfalto	44	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
6	ISAURO RODRÍGUEZ	5D - 5C2	Asfalto	84	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
7	SIN NOMBRE	31D1 - ...	Asfalto	88	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
8	JOSÉ PERALTA	3D-31D	Asfalto	35	Reconstrucción	Mejoramiento de la subbase, Mejoramiento de la base, Cambio de la carpeta asfáltica parcial, Cambio de la carpeta asfáltica total
9	JOSÉ PERALTA	31D - 5D	Asfalto	29	Reconstrucción	Mejoramiento de la subbase, Mejoramiento de la base, Cambio de la carpeta asfáltica parcial, Cambio de la carpeta asfáltica total
10	JOSÉ PERALTA	5D - 6D	Asfalto	82	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
11	ROLANDO SARMIENTO	6D - 5C1	Asfalto	66	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
12	ROLANDO SARMIENTO	6D - 6E...	Asfalto	54	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
13	RODRIGO PALACIOS	6F - 5F	Asfalto	43	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
14	SIN NOMBRE	5F1_1 - ...	Asfalto	85	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
15	SIN NOMBRE	5F3_1 - ...	Asfalto	82	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
16	MANABÍ	5E - 6E	Asfalto	61	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
17	SIN NOMBRE	6F1 - 5E2	Asfalto	85	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
18	SIN NOMBRE	5E1 - 5...	Asfalto	86	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
19	MANABÍ	6E1 - 6D	Asfalto	78	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
20	SIN NOMBRE	6E2 - 6...	Asfalto	90	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble

	Nombre de la vía	Id	Tipo	IDC	Mantenimiento	Tratamiento Sugerido
1	AMAZONAS	1G - 5G	Asfalto	61	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
2	AMPARITO TAMARIZ	30A-6D	Asfalto	80	Recapeo	Reparación del espesor parcial, Colocación de carpeta asfáltica, Tratamiento superficial doble
3	ISAURO RODRÍGUEZ	5H-5F	Asfalto	52	Rehabilitación	Fresado y sobrecarpeta, Cambio de carpeta asfáltica
4	ISAURO RODRÍGUEZ	21A-3A	Asfalto	41	Reconstrucción	Mejoramiento de la subbase, Mejoramiento de la base, Cambio de la carpeta asfáltica parcial, Cambio de la carpeta asfáltica total

Figura 21. Informe detallado de resultados de mantenimiento en formato pdf para su impresión.

### 4.3.3. Análisis de Intervención

En esta pestaña se tiene dos sub pestañas para el análisis y la generación de resultados cuantitativos y gráficos sobre la evolución en el tiempo de la red vial. En la **Figura 22**, se aprecia la ventana donde se tienen las sub pestañas: **“Configuración”** y **“Análisis de Intervención”**. Para iniciar el análisis primero en la sub pestaña **“Configuración”** se realiza la modificación de la Matrices de Markov y los Rubros en caso de ser necesarios.

Sin intervención	Preventivo	Correctivo	Recapeo	Rehabilitación	Reconstrucción	
<b>Exelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Pobre</b>	<b>Fallado</b>		
0.85		0.06	0.05	0.03		0.01
0		0.72	0.15	0.08		0.05
0		0	0.64	0.20		0.16
0		0	0	0.50		0.50
0		0	0	0		1.00

Figura 22. Página de Análisis de Intervención.

#### 4.3.3.1. Configuración

En esta sub pestaña se realiza el análisis de matrices de Markov y la configuración de los rubros.

##### Configuración de Matrices

En la “**Configuración de Matrices**” se encuentran las diferentes matrices para los tipos de mantenimiento, las cuales son: Sin Intervención, Preventivo, Correctivo, Recapeo, Rehabilitación y Reconstrucción. La Herramienta da la posibilidad de que se puede modificar los valores de estas matrices las veces que sean necesarias y en cualquiera de sus pestañas antes mencionadas. La modificación de estos valores se lleva a cabo al dar doble clic sobre la celda que se escoja, siempre y cuando se ingrese el valor usando el punto decimal. Sin embargo, los valores que están preestablecidos fueron determinados en base a la evolución del deterioro de las familias de pavimentos. Por lo que, el nivel de servicio disminuye mientras el avance del deterioro aumenta rápidamente. (**Ver Figura 22**).

Sin intervención	Preventivo	Correctivo	Recapeo	Rehabilitación	Reconstrucción	
<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Pobre</b>	<b>Fallado</b>		
0.95		0.04	0.01		0	0
0.10		0.80	0.08		0.02	0
0.10		0.02		0.75	0.10	0.03
0.20		0		0	0.55	0.25
0.25		0		0	0	0.75

Figura 23. Configuración de Matrices de Markov.

Para entender con mayor facilidad sobre los valores de Matrices de Markov revisar la sección **3.6.2.1.**

### Configuración de Rubros

En la “**Configuración de Rubros**” se encuentran los diferentes tipos de mantenimientos con sus respectivas Áreas afectadas (m<sup>2</sup>) y Rubros (\$/m<sup>2</sup>) (**Ver Figura 24**). En esta pestaña el programa permite al usuario ingresar los valores que cubren los costos aproximados con respecto a un área establecida por los tramos escogidos. Por otro lado, los valores encontrados en esta sub pestaña son valores predeterminados de rubros para el cantón Santa Isabel que se encuentran explicados en la **sección 3.7.**

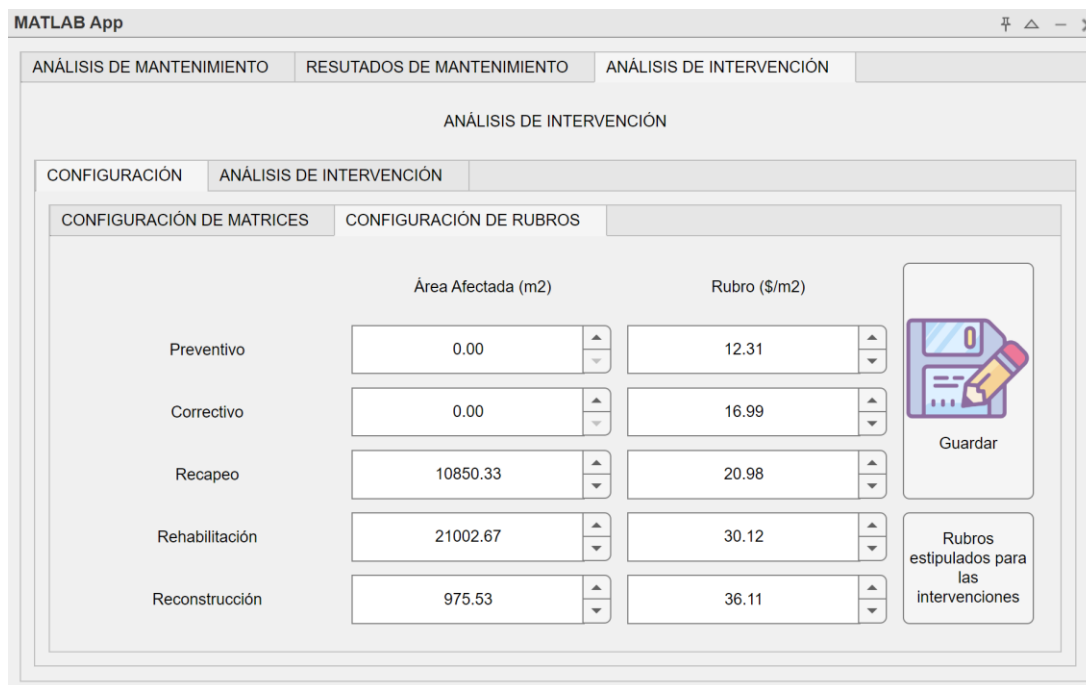


Figura 24. Configuración de Rubros.

Estos valores son utilizados en la pestaña de **“Análisis de Intervención”** para obtener resultados sostenibles y eficientes para el nivel de servicio de los tramos escogidos previamente. Sin embargo, en la misma ventana se encuentra un botón **“Rubros estipulados para las intervenciones”** donde se abre una ventana con una hoja de Excel que es permitida para que el usuario verifique y use como base de datos sobre los costos que tiene cada intervención para el cantón Santa Isabel (Ver Figura 24). Posterior a esta visualización de base de datos de rubros, el usuario debe dar clic sobre el botón guardar y proceder a la pestaña de **“Análisis de Intervención”** para finalizar con el procedimiento.

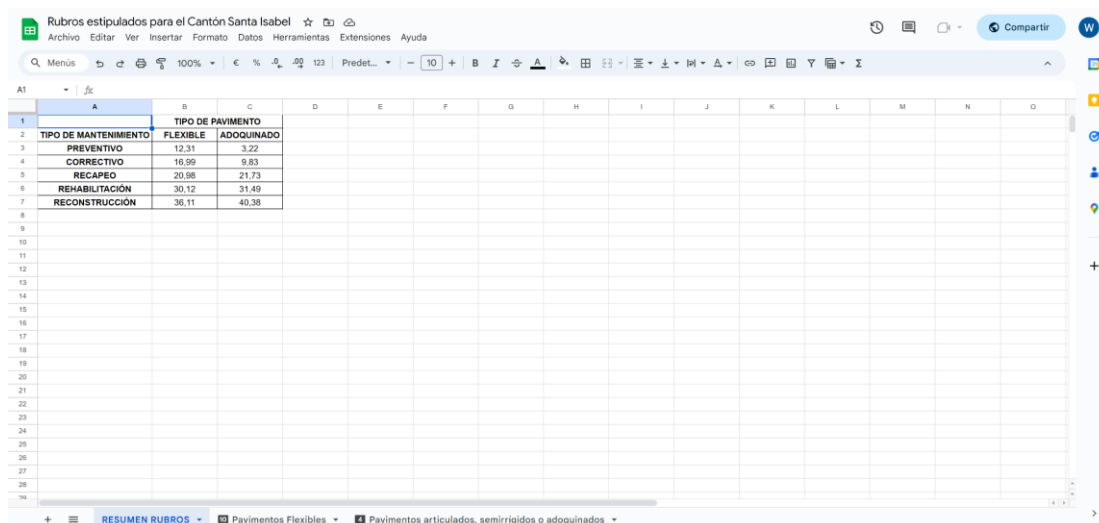


Figura 25. Pestaña en el navegador sobre los rubros estipulados para el cantón Santa Isabel.

#### 4.3.3.2. Análisis de Intervención

En esta sub pestaña el usuario lo primero que debe modificar es el “**año de inicio de proyección**” y el “**periodo de proyección**”. Con los datos ingresados el usuario debe dar click en el botón “**Calcular**” para que el programa use los datos calculados con el uso de las Matrices de Markov indiquen la condición actual de la familia de pavimentos escogida con su respectivo porcentaje y presente tabularmente y gráficamente la evolución de dicha familia a lo largo de periodo de proyección. Inmediatamente después de dar clic en dicho botón se muestra la gráfica de evolución de los pavimentos y las tablas con los resultados de las Matrices de Markov año por año, hasta el fin del periodo de proyección que el usuario ingresó anteriormente. **(Ver Figura 26)**

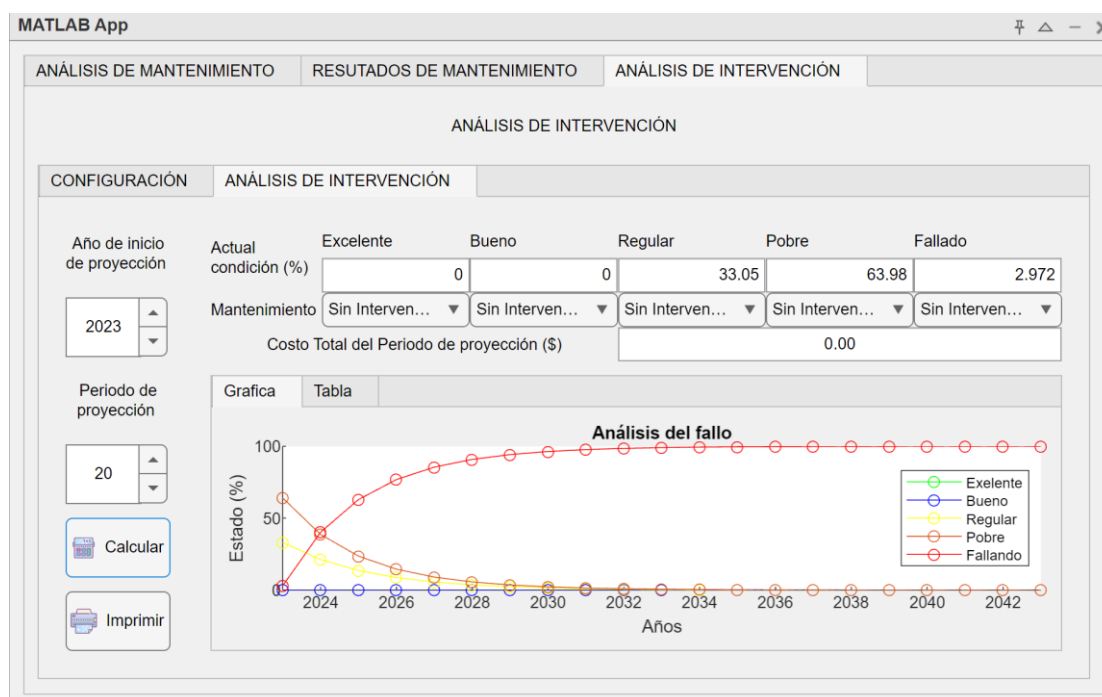


Figura 26. Resultados del análisis de Intervención a priori.

Sin embargo, estos resultados son iniciales ya que el usuario tiene la opción de escoger qué tipo de mantenimiento desea realizar a los diferentes estados de la familia de pavimentos escogida. Por otro lado, el usuario debe tener presente que al escoger el tipo de mantenimiento se relaciona con el costo sumado de todos los años que se plantea en el periodo de proyección. Esto quiere decir que si el usuario desea una intervención a esta familia de pavimentos a lo largo del periodo indicado debe verificar que el mantenimiento y el costo total sea el viable con respecto al presupuesto destinado para mejorar el nivel de servicio de la red vial del lugar. **(Ver Figura 27)**.

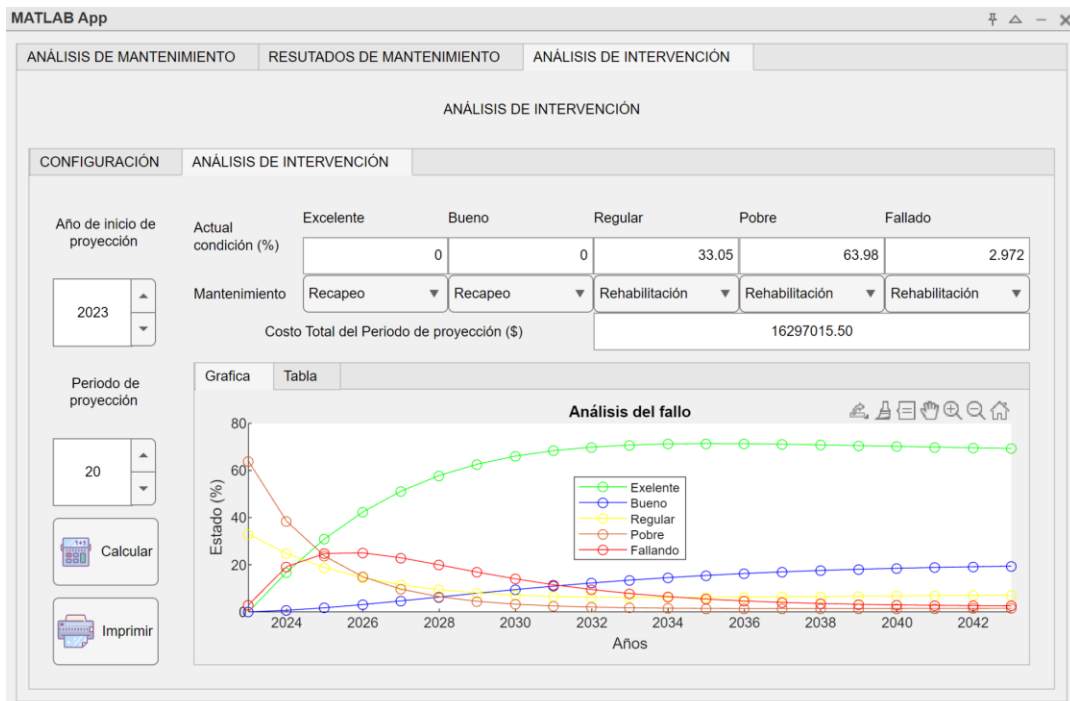


Figura 27. Resultados finales del análisis de Intervención verificando el presupuesto de la entidad.

Finalmente, en caso de que el usuario desee imprimir un informe sobre los resultados tabulados y graficados sobre la evolución de la familia de pavimento; el usuario debe dar doble clic en el botón **“Imprimir”** y la herramienta abre una pestaña nueva instantáneamente en el navegador donde tiene el informe detallado en formato pdf listo para su impresión. (**Ver Figura 28**).



### Resultados de Evaluación y Mantenimiento



Fecha: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_  
 Nombre del evaluador: \_\_\_\_\_ Cantón: \_\_\_\_\_  
 Firma del evaluador: \_\_\_\_\_ Parroquia: \_\_\_\_\_

	Año	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado	Costo por año
1	2023	0.00	0.00	33.05	63.98	2.97	988795.32
2	2024	16.84	0.66	24.79	38.49	19.21	936272.71
3	2025	31.04	1.74	18.80	23.65	24.78	890458.73
4	2026	42.43	3.11	14.51	14.89	25.06	852155.00
5	2027	51.25	4.66	11.50	9.64	22.95	821030.25
6	2028	57.87	6.29	9.41	6.45	19.97	796266.35
7	2029	62.71	7.91	8.02	4.49	16.87	776894.77
8	2030	66.12	9.47	7.11	3.27	14.02	761963.80
9	2031	68.44	10.93	6.57	2.51	11.54	750614.20
10	2032	69.94	12.27	6.26	2.04	9.48	742106.40
11	2033	70.83	13.48	6.13	1.75	7.81	735823.03
12	2034	71.28	14.55	6.12	1.57	6.48	731259.65
13	2035	71.43	15.48	6.17	1.48	5.44	728010.73
14	2036	71.37	16.30	6.27	1.43	4.63	725754.54
15	2037	71.17	17.00	6.40	1.41	4.02	724238.71
16	2038	70.90	17.59	6.53	1.42	3.56	723267.37
17	2039	70.59	18.10	6.66	1.43	3.22	722690.03
18	2040	70.27	18.52	6.79	1.45	2.97	722392.23
19	2041	69.95	18.87	6.90	1.48	2.80	722287.90
20	2042	69.65	19.17	7.01	1.50	2.67	722313.03
21	2043	69.37	19.41	7.10	1.53	2.59	722420.72

Figura 28. Resultados finales para imprimir.



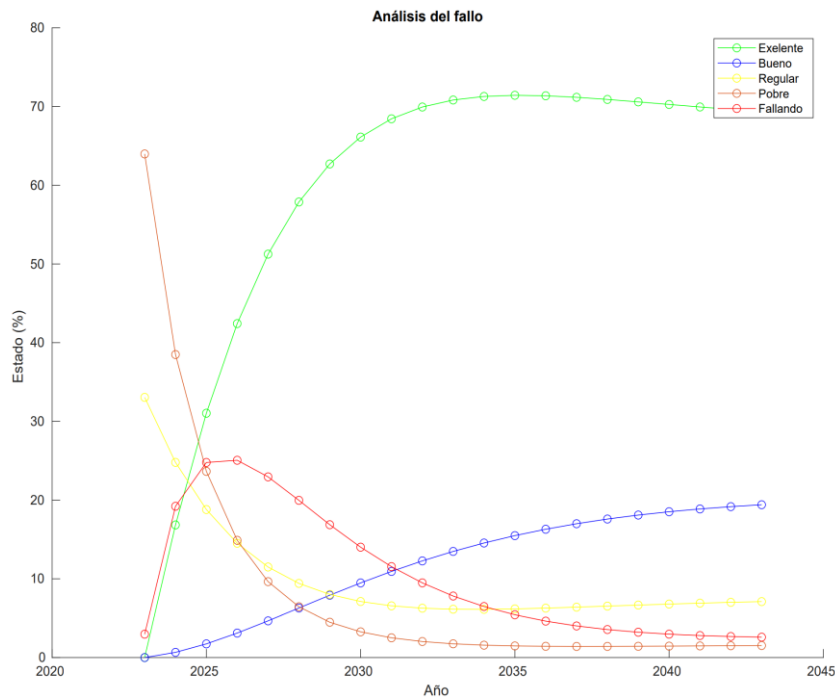


Figura 29. Informe Final sobre el Análisis de Intervención con su respectivo costo.

#### 4.4. Sostenibilidad

Una vez finalizada la toma de decisiones, se regresa a la página principal, donde al seleccionar la opción de “**SOSTENIBILIDAD**” se abre una ventana nueva tal y como en la **Figura 30** donde se tienen dos opciones, “**PaLATE**” e “**INVEST**”. Estos dos botones dirigen a páginas web en el navegador predeterminado, donde se pueden descargar el programa para su posterior LCA y LCCA, correspondientemente. Como se explica en los puntos **2.8.**, **2.9.** y **2.10.**



Figura 30. Herramientas para el análisis de ciclo de vida y sostenibilidad.

## Capítulo 5. Resultados y Análisis

### 5.1. Resultados de la validación de los métodos de evaluación

Con la ayuda de la obtención del Índice de Condición del Pavimento a través del método PCI definido en la norma ASTM D6433-11 es posible corroborar y validar los resultados de estudiar el estado funcional de los pavimentos con el método *Windshield*. Para ello, la variabilidad del ICF con la del PCI debe ser baja para poder validar el estudio realizado.

Se evalúan 39 tramos en total entre, pavimento flexible y semirrígido o adoquinado, acumulando una longitud total de 5575 m aproximadamente. Para poder obtener el número de unidades de muestra a evaluar para la validación de datos se utiliza la ecuación de **n** de la **sección 3.4.4.** con una confiabilidad del 95% de confianza.

Una vez evaluada la ecuación con los datos de entrada como la cantidad de tramos (39), el error admisible (5) y la desviación estándar admisible se obtiene un total de 12 tramos como mínimo a tomarse en cuenta para la validación del método.

$$n = \frac{39 * 10^2}{\left( \left( \frac{5^2}{4} \right) * (39 - 1) + 10^2 \right)}$$

$$n = 12$$

Entonces, **n** indica la cantidad mínima de unidades de muestra que se deben considerar en la evaluación para poder validar adecuadamente los resultados obtenidos por el método *Windshield*, en este caso, para no tomar un análisis dentro del límite mínimo se realizó la evaluación en 14 unidades de muestra comprendidas por 7 tramos de pavimento flexible que acumulan una longitud de aproximadamente 397 m; y 7 tramos de pavimento semirrígido o adoquinado con una longitud acumulada de aproximadamente 545 m.

#### 5.1.1. Comprobación del método *Windshield* a través del PCI para pavimentos Flexibles

Para pavimentos flexibles se han seleccionado como unidades de muestra los tramos 2\_1A-3A (17 m), 3A-5B (117 m), 5B-5C (56 m), 5C-5C1-5C2 (44 m) y 5D-5C2 (60 m) de la calle Isauro Rodríguez; además los tramos 3D-3-1D (65 m) y 3\_1D-5D de la calle José Peralta acumulando una longitud total de 397 m. Estos tramos se evaluaron con el método PCI definido en la norma ASTM D6433-11 y *Windshield* para su comparativa, se evidenciará el proceso de cálculo de un tramo y se indicará un compilado de resultados de los demás.

## Tramo 2\_1A-3A

Tabla 29. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 2\_1A--3A.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
1	L	m2	3.35	0.74	1	2.48	2.80
1	L	m2	1.32	0.24	1	0.32	
1	M	m2	1.50	0.75	1	1.13	4.88
1	M	m2	1.37	0.83	1	1.14	
1	M	m2	1.45	1.15	1	1.67	
1	M	m2	1.12	0.85	1	0.95	
4	M	m2	0.60	0.52	1	0.31	0.98
4	M	m2	0.80	0.83	1	0.66	
10	L	m	1.10		1	1.10	4.62
10	L	m	0.83		1	0.83	
10	L	m	2.69		1	2.69	
10	M	m	6.60		1	6.60	12.80
10	M	m		2.32	1	2.32	
10	M	m		3.88	1	3.88	
11	L	m2	0.94	1.00	1	0.94	0.94
11	M	m2	2.80	2.50	1	7.00	7.00

La numeración indicada en la columna de falla, identifica al tipo de falla detallado en la **Tabla 13**, según la clasificación de la norma ASTM D6433-11, además, se registran características de la falla como su severidad, unidad de medida, dimensionamiento y cantidad. Para obtener las cantidades parciales se obtiene el área medida de rectángulos de falla, es decir, multiplicando la longitud por el ancho, y para el caso del total, solo se suma las cantidades parciales de cada grupo de falla identificado por su número y nivel de severidad, para el caso de fallas que se miden en longitud, no se calcula área y solo se suman sus dimensiones, y fallas que se miden solo unidades, igualmente, se suman sus cantidades.

Seguido de esto, se procede a obtener las cantidades de densidad porcentual de cada tipo de falla, obteniéndose al dividir la cantidad total de cada falla para el área total de la unidad de muestra que se obtiene de la multiplicación del ancho por la longitud del tramo evaluado. Para este caso, el área del tramo es de 147.46 m<sup>2</sup>. Finalmente, para este paso, los valores

deducidos se obtienen de los ábacos representativos para cada falla presentes en pavimentos flexibles que se encuentran detallados en el método PCI de la norma ASTM D6433-11.

Tabla 30. Valores deducidos para el tramo 2\_1A--3A.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	L	m2	2.80	1.9%	15
1	M	m2	4.88	3.3%	32
4	M	m2	0.98	0.7%	20
10	L	m	4.62	3.1%	8
10	M	m	12.80	8.7%	28
11	L	m2	0.94	0.6%	1
11	M	m2	7.00	4.7%	21

Seguidamente a esto, se cuentan los números deducidos mayores a 2 y el valor deducido más alto y en función de la fórmula de m de la **sección 3.4.4.** se determinan el número máximo de fallas a ser consideradas en la evaluación.

Tabla 31. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 2\_1A--3A.

Número de valores deducidos mayor a 2 (q)	6
Valor deducido más alto	32
número máximo de DV (Fallas Permitidas) (m)	7.24

Posteriormente, se procede a obtener el valor deducido corregido (CDV) para cada falla, para lo cual se emplean los factores VDT y q en el ábaco correspondiente presentado en la norma ASTM D6433-11.

Tabla 32. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 2\_1A--3A.

N°	VALORES DEDUCIDOS						TDV	q	CDV
1	32	28	20	21	15	8.0	124.0	6	60
2	32	28	20	21	15	2	118.0	5	62
3	32	28	20	21	2	2	105.0	4	60
4	32	28	20	2	2	2	86.0	3	56
5	32	28	2	2	2	2	68.0	2	50
6	32	2	2	2	2	2	42.0	1	42

De estos valores deducidos corregidos (CDV) se obtiene el máximo y se resta de 100 para obtener el Índice de Condición del Pavimento (PCI), que para este caso es de 38 y clasifica al pavimento en una condición Pobre.

Tabla 33. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 2\_1A--3A.

MÁXIMO CDV	62
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI	38
CONDICIÓN	POBRE

Para los siguientes tramos se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos y el procedimiento de cálculo se puede observar en la sección de anexos, **ANEXO A.**

Tabla 34. Resultado PCI de todos los tramos.

TRAMO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	MÉTODO PCI	
		PCI	CONDICIÓN
2_1A--3A	147.46	38	POBRE
3A--5B	857.31	38	POBRE
5B--5C	409.31	70	MUY BUENO
5C--5C1--5C2	321.71	82	MUY BUENO
5D--5C2	438	80	MUY BUENO
3D--3_1D	538.01	34	POBRE
3_1D--5D	312.33	26	POBRE

Como se puede observar, así como existen pavimentos en buenas condiciones, también se pueden encontrar pavimentos en condiciones de calidad baja que requerirán de intervenciones para la recuperación de su funcionalidad.

Luego de ello se presenta el proceso de evaluación mediante el método Windshield para la obtención del Índice de Condición Funcional (ICF) del pavimento.

Tabla 35. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 2\_1A--3A.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ISAURO RODRÍGUEZ 21_A--3A					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RA RA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	ocasional
	M		1.0				12		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILLO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	media	frecuente
	M		0.7				12		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	frecuente
	M		0.8				9		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	ocasional
	M		0.6				17		
	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR	media	ocasional
	M		1.0				8		
	L		0.6						
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	frecuente
	M		1.0				15		
	L		0.6						
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		1.0				5		
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	ocasional
	M		0.8				14		
	L		0.5						
							LDR	41	
							NDR	58	

<b>ICF</b>	<b>41</b>
<b>CONDICIÓN</b>	<b>MUY POBRE</b>

Ahora se presenta una tabla de resultados para cada tramo y en el **ANEXO C** se encontrarán las tablas de evaluación para cada tramo.

Tabla 36. Resultado Windshield de todos los tramos.

TRAMO	ÁREA (m2)	MET. WINDSHIELD	
		ICF	CONDICIÓN
2_1A--3A	147.46	41	MUY POBRE
3A--5B	857.31	43	MUY POBRE
5B--5C	409.31	66	REGULAR
5C--5C1--5C2	321.71	79	BUENO
5D--5C2	438	84	BUENO
3D--31D	538.01	35	MUY POBRE
31D--5D	312.33	29	MUY POBRE

De igual manera en la metodología presente, de acuerdo al rango de calificación de la metodología se pueden evidenciar pavimentos en condiciones buenas como en malas condiciones que eventualmente requerirán intervenciones para la recuperación de su funcionalidad.

Ahora, para lograr validar los resultados obtenidos por ambas metodologías, se procede a realizar una comparativa de resultados con la obtención de sus factores de variabilidad, verificando que la desviación estándar sea menor a la admisible ( $s < 10$ ) para pavimentos flexibles.

Tabla 37. Resultado de evaluación de todos los tramos.

TRAMO	DISTANCIA (m)	MÉTODO PCI		MÉT. WINDSHIELD	
		PCI	CONDICIÓN	ICF	CONDICIÓN
2_1A--3A	17	38	POBRE	41	MUY POBRE
3A--5B	117	38	POBRE	43	MUY POBRE
5B--5C	56	70	MUY BUENO	66	REGULAR
5C--5C1--5C2	44	82	MUY BUENO	79	BUENO
5D--5C2	60	80	MUY BUENO	84	BUENO
3D--3_1D	65	34	POBRE	35	MUY POBRE

3_1D--5D	38	26	POBRE	29	MUY POBRE
----------	----	----	-------	----	-----------

Con los resultados obtenidos de cada método se pueden obtener los parámetros que analizan la variabilidad de los resultados y la precisión en su estimación.

Tabla 38. Parámetros estadísticos de estimación del método.

TRAMO	Error Abs	(Er- $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>
2_1A--3A	3	0.08
3A--5B	5	2.94
5B--5C	4	0.51
5C--5C1--5C2	3	0.08
5D--5C2	4	0.51
3D--3_1D	1	5.22
3_1D--5D	3	0.08
<b>Media (x)</b>		<b>3.29</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>1.16</b>

Se puede observar que los resultados obtenidos por ambos métodos aseguran una variabilidad baja en su correspondencia del uno con el otro generando una desviación estándar mucho menor a 10, que es la admisible.

### 5.1.2. Comprobación del método *Windshield* para pavimentos Semirrígidos o Adoquinados

Como ya se describió anteriormente ([sección 3.4.5.](#)) la metodología de evaluación para pavimentos rígidos se realiza a través del método *Windshield* y el método de Higuera y Pacheco, para corroborar la validez de los resultados y sus estimaciones obtenidas. A continuación, se presentarán los resultados del procedimiento de evaluación para un tramo y los demás resultados se presentarán en una tabla de resumen. Los resultados de cada tramo se podrán verificar en el [Anexo C.](#)



Tabla 39. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 5C--4C--3C.

Tramo: 24 DE MAYO 5C--3C				%Aa por nivel de severidad			%Ae	%Área Equivalente Afectada (FA)					FA	IF* FA
Clase	Tipo de deterioro	Influencia (IF)	Peso (PI)	Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	abultamiento	48	1.2	0.00	0.38	0.00	4.86	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.49	23
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.60	0.00								
	Depresiones		1.0	0.73	2.28	0.00								
Desprendimientos	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.92	0.00	3.39	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.34	3
	Pérdida de arena		1.0	1.22	0.83	0.00								
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.35	0.00	0.00	0.87	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.09	1
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.52	0.00	0.00								
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.47	0.63	0.00	2.32	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.23	2
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.81	0.00								
Otros deterioros	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00	0.11	3
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.00	0.00	0.00								
	Juntas		1.0	0.00	0.58	0.00								

	abiertas													
	Vegetación en la calzada		1.1	0.42	0.00	0.00								
<b>ICF=</b>													<b>68</b>	
<b>CONDICIÓN</b>													<b>REGULAR</b>	

Se puede observar que en el método Higuera y Pacheco se consideran los daños en áreas cuantificables para evaluar su incidencia en la condición del pavimento, produciendo un método un poco más detallado que el *Windshield* y asemejándose al PCI para pavimentos flexibles, por lo que es bastante viable realizar una comparativa del mismo con el *Windshield* aplicado para pavimentos semirrígidos o adoquinados.

Para los siguientes tramos se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos y el procedimiento de cálculo se puede observar en la sección de anexos, **ANEXO B**.

Tabla 40. Resultado del método Higuera y Pacheco de todos los tramos.

TRAMO	ÁREA (m2)	MÉTODO H&P	
		ICF	CONDICIÓN
<b>5C--4C--3C</b>	463.16	68	REGULAR
<b>3C--3B2--3B1</b>	238.28	70	BUENO
<b>3B1--3B--3A</b>	270.52	68	REGULAR
<b>3C--2C</b>	274.76	71	BUENO
<b>3B1--4B1</b>	234.96	71	BUENO
<b>3B--2B</b>	268.96	72	BUENO
<b>3C--3D</b>	624.41	52	POBRE

Como se puede observar los pavimentos se encuentran es estados desde una condición hasta una condición bastante mala, que posteriormente requerirán de una intervención oportuna para recuperar las condiciones de su funcionalidad.

Tabla 41. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5C--4C--3C.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: 24 DE MAYO 5C--4C--3C					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORMACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	media	ocasional
	M		0.94				32		
	L		0.60						
DESPRENDIMIENTOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
DESPLAZAMIENTOS	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	baja	rara
	M		0.34				1		
	L		0.20						
FRACTURAMIENTOS	H	12.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.37				1		
	L		0.20						
ESCALONAMIENTOS	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
VEGETACIÓN	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	baja	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
							<b>LDR</b>	<b>66</b>	
							<b>NDR</b>	<b>95</b>	
							<b>ICF</b>	<b>66</b>	
							<b>CONDICIÓN</b>	<b>REGULAR</b>	

Se puede observar que por el método de Higuera y Pacheco se obtiene un ICF de 68 y por el método *Windshield* un índice de 66, ambos casos calificando al pavimento en un estado regular y solo con dos puntos de diferencia en sus índices, significando una estimación bastante aproximada.

Ahora se presenta una tabla de resultados para cada tramo y en el **ANEXO C** se encontrarán las tablas de evaluación para cada tramo.

Tabla 42. Resultado *Windshield* de todos los tramos.

TRAMO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	MÉT. WINDSHIELD	
		ICF	CONDICIÓN
5C--4C--3C	463.16	66	REGULAR
3C--3B2--3B1	238.28	73	BUENO
3B1--3B--3A	270.52	65	REGULAR
3C--2C	274.76	73	BUENO
3B1--4B1	234.96	70	BUENO
3B--2B	268.96	70	BUENO
3C--3D	624.41	51	POBRE

A continuación, se presentará una tabla resumida de los resultados obtenidos para todos los tramos evaluados.

Tabla 43. Resultado de evaluación de todos los tramos.

TRAMO	DISTANCIA (m)	MÉTODO H&P		MÉT. WINDSHIELD	
		ICF	CONDICIÓN	ICF	CONDICIÓN
5C--4C--3C	115.79	68	REGULAR	66	REGULAR
3C--3B2--3B1	82.07	70	BUENO	73	BUENO
3B1--3B--3A	67.63	68	REGULAR	65	REGULAR
3C--2C	68.69	71	BUENO	73	BUENO
3B1--4B1	58.74	71	BUENO	70	BUENO
3B--2B	67.24	72	BUENO	70	BUENO
3C--3D	84.38	52	POBRE	51	POBRE

Con los resultados obtenidos de cada método se pueden obtener los parámetros que analizan la variabilidad de los resultados y la precisión en su estimación considerando la desviación estándar admisible ( $s < 10$ ).

Tabla 44. Parámetros estadísticos de estimación del método.

TRAMO	Error Abs	$(E_r - \bar{x})^2$
5C--4C--3C	2	0.00
3C--3B2--3B1	3	1.00
3B1--3B--3A	3	1.00
3C--2C	2	0.00
3B1--4B1	1	1.00
3B--2B	2	0.00
3C--3D	1	1.00
<b>Media (x)</b>		<b>2.00</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>0.76</b>

Se puede observar que los resultados obtenidos por ambos métodos aseguran una variabilidad baja en su correspondencia del uno con el otro generando una desviación estándar mucho menor a 10, que es la permisible.

Finalmente, se realiza una línea de tendencia para evaluar la confiabilidad de la estimación en la correspondencia de resultados entre los métodos de evaluación aplicados.

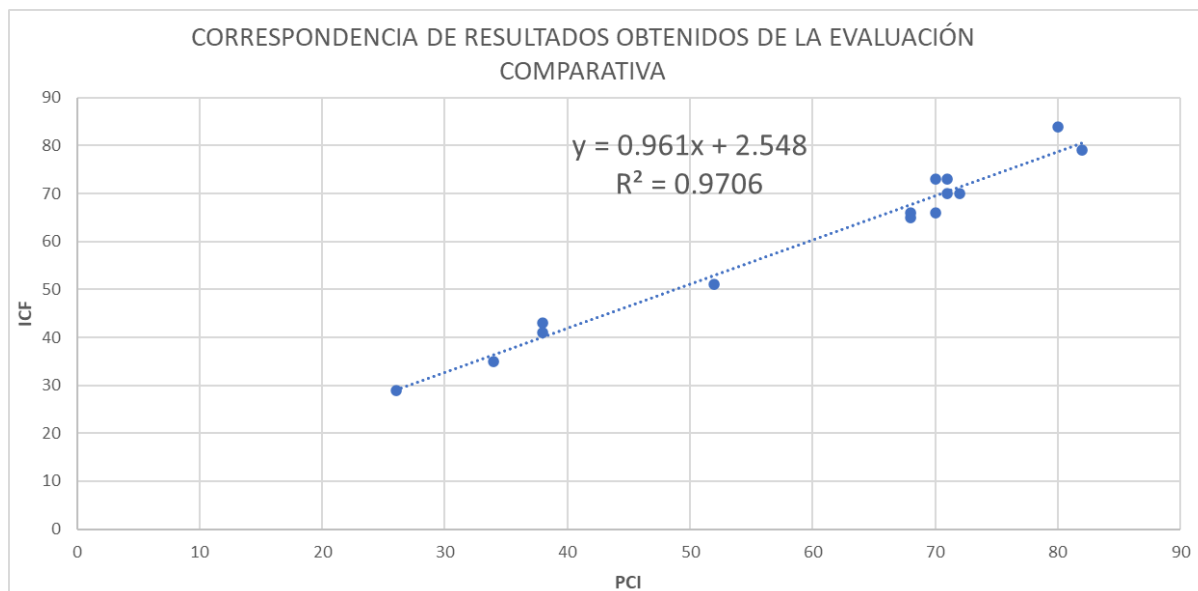


Figura 31. Dispersión de datos de la correspondencia de los métodos evaluados.

De acuerdo al gráfico de dispersión de datos se puede observar que los resultados obtenidos cuentan con un factor de ajuste de 0.97 (97%) que es muy cercano a 1 (100%), indicando una confiabilidad muy alta y mayor a la de 0.95 (95%) que se indica como una confiabilidad admisible para la validación de la estimación obtenida entre la aproximación de resultados obtenidos de la evaluación de los pavimentos a través de los métodos aplicados.

## 5.2 Resultados Herramienta MATLAB

### 5.2.1. Índice de Condición Funcional (ICF) del pavimento

En total se analizaron 18 vías divididas en distintos tramos respectivamente identificados y etiquetados con su ID, su tipo de pavimento y el resultado de su ICF correspondiente. En su mayoría, las vías estudiadas presentan una estructura de un solo tipo de pavimento, a excepción de la Isauro Rodríguez que cuenta con un tramo de pavimento articulado o adoquinado.

Tabla 45. ICF obtenidos para cada tramo.

NOMBRE DE LA VÍA	ID_TRAMO	TIPO DE PAVIMENTO	ICF
ISAURO RODRÍGUEZ	2_1A--3A	FLEXIBLE	41
	3A--5B	FLEXIBLE	43
	5B--5C	FLEXIBLE	66
	5C--5C2	FLEXIBLE	79
	5F--5E	FLEXIBLE	43
	5E--5D	FLEXIBLE	44
	5D--5C2	FLEXIBLE	84
	5H--5F	FLEXIBLE	52
	2A--2_1A	ARTICULADO	76
SIN NOMBRE 1	3_1D1--3_1D	FLEXIBLE	88
JOSÉ PERALTA	3D--3_1D	FLEXIBLE	35
	3_1D--5D	FLEXIBLE	29
	5D--6D	FLEXIBLE	82
ROLANDO SARMIENTO	6D--5C1	FLEXIBLE	66
	6D--6E--6F	FLEXIBLE	54
RODRIGO PALACIOS	6F--5F	FLEXIBLE	43
SIN NOMBRE 2	5F1_1--5F2_1	FLEXIBLE	85
SIN NOMBRE 3	5F3_1--5F4_1	FLEXIBLE	82
MANABÍ	5E--6E	FLEXIBLE	61
	6E1--6D	FLEXIBLE	78
SIN NOMBRE 4	6F1--5E2	FLEXIBLE	85
SIN NOMBRE 5	5E1--5F1_2	FLEXIBLE	86
SIN NOMBRE 6	6E2--6E3	FLEXIBLE	90
AMAZONAS	1G--5G	FLEXIBLE	61

AMPARITO TAMARIZ	30A--6D	FLEXIBLE	80
GALO MOLINA	2A1--2_1A	ARTICULADO	72
TOMEBAMBA	5C2--4C	ARTICULADO	70
	3B--5B	ARTICULADO	71
	4B--4B1--4C	ARTICULADO	73
	3B--2B	ARTICULADO	70
24 DE MAYO	5C--3C	ARTICULADO	66
	3C--2C	ARTICULADO	73
ABDÓN CALDERÓN	3C--3B1	ARTICULADO	73
	3B1--3A	ARTICULADO	65
	2B1--3B2	ARTICULADO	57
	3C--3D	ARTICULADO	51
	3D--5E	ARTICULADO	37
SIMÓN BOLÍVAR	3B1--4B1	ARTICULADO	70
SIN NOMBRE 7	11A1--11A2	ARTICULADO	55

En su mayoría la composición de cada una de las vías es de un mismo tipo de pavimento, sin embargo, en ciertos tramos se usan combinaciones en la estructura de pavimento, como es el caso de un pequeño tramo de la Av. Isauro Rodríguez.

### 5.2.2. Resultados de tipos de mantenimientos y tratamientos que determina el programa

Para el análisis se ha determinado estudiar la calle Isauro Rodríguez debido a su importancia en transitabilidad, pues conecta varias calles principales que llevan a las zonas céntricas del cantón como también conectan a la entrada y salida del casco urbano.

Esta sección vial presenta un valor de ICF de alrededor de 46, lo que la clasifica en un estado Fallado. Sin embargo, se determinó que tres tramos se encuentran en estado Regular, cinco en estado Pobre y uno en estado Fallado. Mayoritariamente, los tramos se encuentran en mal estado, determinando que necesitan una intervención de Reconstrucción con alternativas de tratamiento como: mejoramiento de la subbase, mejoramiento de la base, cambio de la carpeta asfáltica parcial o cambio de la carpeta asfáltica total, y también una intervención de Rehabilitación con alternativas de tratamiento como: fresado y sobrecarpeta o cambio de carpeta asfáltica, todas estas alternativas son para pavimento asfáltico puesto que

únicamente un pequeño tramo analizado está conformado por una estructura de pavimento adoquinado.

Tabla 46. Tipo de mantenimiento y tratamiento sugerido para la calle Isauro Rodríguez.

NOMBRE DE LA VÍA	ID TRAMO	TIPO DE MANTENIMIENTO	TRATAMIENTOS RECOMENDADOS			
ISAURO RODRÍGUEZ	2_1A--3A	RECONSTRUCCIÓN	Mejoramiento de la subbase.	Mejoramiento de la base.	Cambio de la carpeta asfáltica parcial.	Cambio de la carpeta asfáltica total.
	3A--5B	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
	5B--5C	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
	5C--5C2	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
	5F--5E	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
	5E--5D	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
	5D--5C2	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
	5H--5F	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
	2A--2_1A	RECAPEO	Reanudado de la superficie.	Cambio de adoquines.		

A continuación, se presentan las sugerencias de los tipos de mantenimientos con sus respectivas alternativas de intervención para las 18 vías restantes analizadas en la cabecera cantonal de Santa Isabel. De las cuales, el 45.32 % requieren un mantenimiento de Recapeo, el 49.13% Rehabilitación y el 5.55 % Reconstrucción.

Tabla 47. Tipo de mantenimiento y tratamiento sugerido para la red vial.

NOMBRE DE LA VÍA	ID TRAMO	TIPO DE MANTENIMIENTO	TRATAMIENTOS RECOMENDADOS
------------------	----------	-----------------------	---------------------------



SIN NOMBRE 1	3_1D1--3_1D	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
JOSÉ PERALTA	3D--3_1D	RECONSTRUCCIÓN	Mejoramient o de la subbase.	Mejoramien to de la base.	Cambio de la carpeta asfáltica parcial.	Cambio de la carpeta asfáltica total.
	3_1D--5D	RECONSTRUCCIÓN	Mejoramient o de la subbase.	Mejoramien to de la base.	Cambio de la carpeta asfáltica parcial.	Cambio de la carpeta asfáltica total.
	5D--6D	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
ROLAND O SARMIENTO	6D--5C1	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
	6D--6E--6F	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
RODRIGO PALACIOS	6F--5F	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
SIN NOMBRE 2	5F1_1--5F2_1	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
SIN NOMBRE 3	5F3_1--5F4_1	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
	5E--6E	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		

MANABÍ	6E1--6D	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
SIN NOMBRE 4	6F1--5E2	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
SIN NOMBRE 5	5E1--5F1_2	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
SIN NOMBRE 6	6E2--6E3	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
AMAZONAS	1G--5G	REHABILITACIÓN	Fresado y sobrecarpeta.	Cambio de carpeta asfáltica.		
AMPARITO TAMARIZ	30A--6D	RECAPEO	Reparación del espesor parcial.	Colocación de carpeta asfáltica.	Tratamiento superficial doble.	
GALOMOLINA	2A1--2_1A	REHABILITACIÓN	Readoquinarlo parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado o total.	
TOMEBA MBA	5C2--4C	REHABILITACIÓN	Readoquinarlo parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado o total.	
	3B--5B	REHABILITACIÓN	Readoquinarlo parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado o total.	
	4B--4B1--4C	REHABILITACIÓN	Readoquinarlo parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado o total.	
	3B--2B	REHABILITACIÓN	Readoquinarlo parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado o total.	

24 DE MAYO	5C--3C	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
	3C--2C	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
ABDÓN CALDERÓN	3C--3B1	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
	3B1--3A	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
	2B1--3B2	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
	3C--3D	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
	3D--5E	RECONSTRUCCIÓN	Cambio de cama de arena.	Mejoramien to de la base.	Readoquinado total.	
SIMÓN BOLÍVAR	3B1--4B1	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	
SIN NOMBRE 7	11A1--11A2	REHABILITACIÓN	Readoquina do parcial.	Reposición del material de la capa.	Readoquinado total.	

### 5.2.3. Resultados de la evolución de la red vial mediante el uso de matrices de Markov

#### Pavimentos flexibles

Para la red vial de pavimentos flexibles se obtiene una condición actual vial como se muestra a continuación:

Tabla 48. Estado actual de la red vial de pavimento flexible.

	ÁREA (m2)	PORCENTAJE
<b>EXCELENTE</b>	0.00	0.00%
<b>BUENO</b>	0.00	0.00%
<b>REGULAR</b>	10850.33	33.05%
<b>POBRE</b>	21002.66	63.98%
<b>FALLADO</b>	975.53	2.97%

A la red vial de pavimentos flexibles es posible aplicarle cualquier tipo de mantenimiento, sin embargo, de acuerdo a su condición actual se debe aplicar el más adecuado para su recuperación de condición funcional y obtener una evolución de deterioro controlada. Por lo que, acorde al análisis realizado la mayor parte de la red vial requiere de una intervención de mantenimiento de Rehabilitación. Y los resultados obtenidos de su evolución se verifican para 20 años.



### Resultados de Evaluación y Mantenimiento



Fecha: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_

Nombre del evaluador: \_\_\_\_\_ Cantón: \_\_\_\_\_

Firma del evaluador: \_\_\_\_\_ Parroquia: \_\_\_\_\_

	Año	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado	Costo por año
1	2023	0.00	0.00	33.05	63.98	2.97	988795.32
2	2024	16.84	0.66	24.79	38.49	19.21	988795.32
3	2025	31.05	1.70	18.81	23.66	24.78	988795.32
4	2026	42.47	2.98	14.56	14.93	25.06	988795.32
5	2027	51.36	4.37	11.58	9.73	22.97	988795.32
6	2028	58.07	5.78	9.55	6.60	20.00	988795.32
7	2029	63.02	7.14	8.20	4.70	16.94	988795.32
8	2030	66.58	8.40	7.35	3.55	14.12	988795.32
9	2031	69.06	9.53	6.85	2.85	11.70	988795.32
10	2032	70.74	10.52	6.59	2.45	9.69	988795.32
11	2033	71.83	11.38	6.49	2.21	8.08	988795.32
12	2034	72.49	12.11	6.50	2.10	6.81	988795.32
13	2035	72.85	12.71	6.57	2.04	5.83	988795.32
14	2036	73.00	13.22	6.67	2.04	5.08	988795.32
15	2037	73.01	13.63	6.79	2.05	4.52	988795.32
16	2038	72.94	13.96	6.91	2.08	4.10	988795.32
17	2039	72.83	14.22	7.03	2.11	3.81	988795.32
18	2040	72.68	14.43	7.14	2.15	3.59	988795.32
19	2041	72.54	14.60	7.24	2.19	3.45	988795.32
20	2042	72.39	14.72	7.32	2.22	3.35	988795.32
21	2043	72.26	14.82	7.39	2.25	3.29	988795.32

Figura 32. Proyección del estado de condición funcional de los pavimentos flexibles a 20 años.

Finalmente, con el tipo de mantenimiento sugerido y aplicado a la red vial, es posible evidenciar que la condición vial se recupera a un 72.26% en estado Excelente, 14.82% en Bueno, 7.39% en Regular, 2.25% en Pobre y 3.29% en Fallado. Y se corrobora una mejora

en la red vial debido a que los estados menos favorables se reducen y los más adecuados aumentan su existencia.

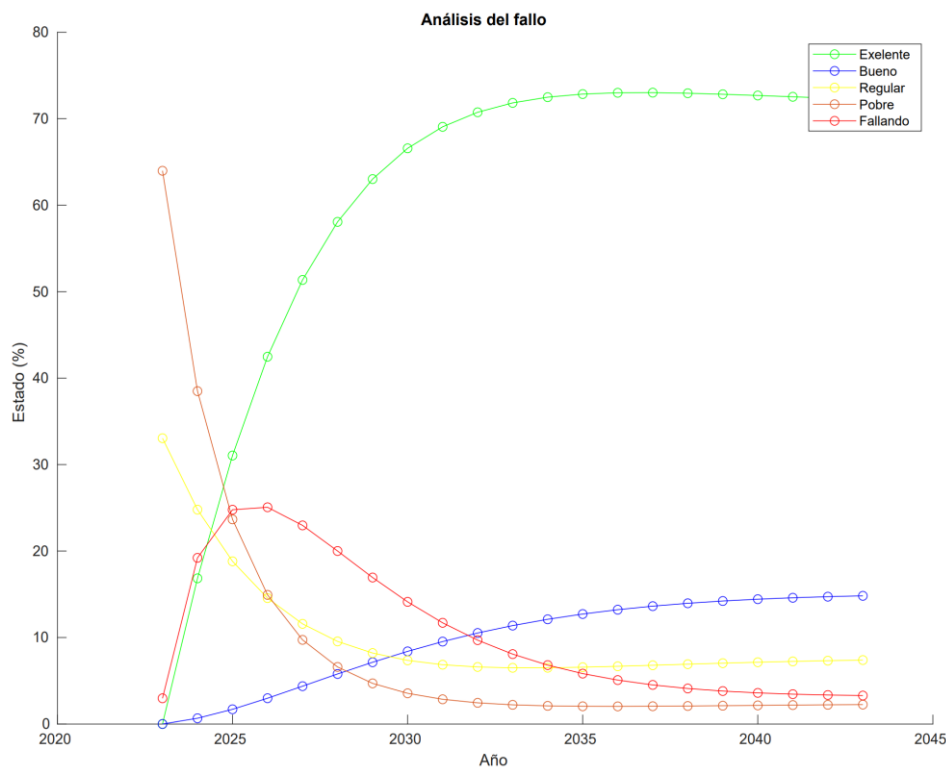


Figura 33. Proyección del estado funcional de la red vial para pavimentos flexibles.

Finalmente, se obtiene el costo de aplicar la alternativa de intervención recomendada por la jerarquización y priorización de la red vial y poder tomar una decisión de intervención en función del presupuesto disponible para la recuperación de la condición funcional del pavimento.

	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
Actual condición (%)	0	0	33.05	63.98	2.972
Mantenimiento	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼
Costo Total del Periodo de proyección (\$)	20764701.80				

Figura 34. Costos de intervención para la recuperación de la condición funcional del pavimento flexible.

Una vez realizada la intervención a cada condición de la red vial es posible observar que cada uno de ellos tiene un costo dependiente de los porcentajes de condición año a año y su rubro correspondiente resultando un costo total de alrededor de un 21 millones de dólares, que representa un valor bastante considerable en cuanto a presupuesto disponible, sin embargo, se debe considerar la mejoría a futuro que representará esta inversión a lo largo de los 20 años indicados como periodo de proyección.

## Pavimentos semirrígidos o adoquinados

Para la red vial de pavimentos semirrígidos, articulados o adoquinados se obtiene una condición actual vial como se muestra a continuación:

Tabla 49. Estado actual de la red vial de pavimento semirrígido, articulado o adoquinado.

	ÁREA (m2)	PORCENTAJE
<b>EXCELENTE</b>	0.00	0.00%
<b>BUENO</b>	0.00	0.00%
<b>REGULAR</b>	0.00	0.00%
<b>POBRE</b>	4077.16	91.36%
<b>FALLADO</b>	385.56	8.64%

Para la red vial de pavimentos semirrígidos, articulados o adoquinados también es posible aplicar cualquier tipo de mantenimiento, sin embargo, como medida reparadora se determina que la mejor sugerencia de intervención es un mantenimiento de tipo rehabilitación debido a que la gran mayoría de la red vial de este tipo se encuentra en un estado pobre. Para ello, se evalúa la proyección de su evolución a 20 años.



### Resultados de Evaluación y Mantenimiento



Fecha: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_

Nombre del evaluador: \_\_\_\_\_ Cantón: \_\_\_\_\_

Firma del evaluador: \_\_\_\_\_ Parroquia: \_\_\_\_\_

	Año	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado	Costo por año
1	2023	0.00	0.00	5.95	85.41	8.64	134417.13
2	2024	19.84	0.12	4.46	47.57	28.01	134417.13
3	2025	35.82	0.98	3.56	26.61	33.03	134417.13
4	2026	48.06	2.29	3.10	15.01	31.54	134417.13
5	2027	57.08	3.81	2.99	8.61	27.50	134417.13
6	2028	63.51	5.39	3.12	5.11	22.87	134417.13
7	2029	67.92	6.92	3.41	3.23	18.52	134417.13
8	2030	70.84	8.32	3.79	2.26	14.80	134417.13
9	2031	72.66	9.56	4.21	1.79	11.78	134417.13
10	2032	73.70	10.64	4.65	1.60	9.41	134417.13
11	2033	74.22	11.56	5.08	1.56	7.59	134417.13
12	2034	74.38	12.31	5.47	1.59	6.24	134417.13
13	2035	74.32	12.94	5.84	1.67	5.24	134417.13
14	2036	74.12	13.44	6.15	1.76	4.52	134417.13
15	2037	73.86	13.84	6.43	1.85	4.02	134417.13
16	2038	73.57	14.15	6.67	1.94	3.67	134417.13
17	2039	73.28	14.40	6.87	2.02	3.44	134417.13
18	2040	73.00	14.59	7.04	2.08	3.29	134417.13
19	2041	72.75	14.73	7.18	2.14	3.20	134417.13
20	2042	72.53	14.84	7.29	2.19	3.15	134417.13
21	2043	72.35	14.92	7.38	2.23	3.13	134417.13

Figura 35. Proyección del estado de condición funcional de los pavimentos semirrígidos, articulados o adoquinados proyectado a 20 años.

Por último, de acuerdo al tipo de mantenimiento aplicado a la red vial actual, se proyecta la evolución de la condición vial determinando que su mejoría asciende a un 72.35% en excelente estado, 14.92% en bueno, 7.38% en regular, 2.23% en pobre y 3.13% en fallado. Y se verifica una mejoría de la red vial existente puesto que el porcentaje de pavimentos en peor condición se reduce y los de mejor condición aumentan su porcentaje de existencia.

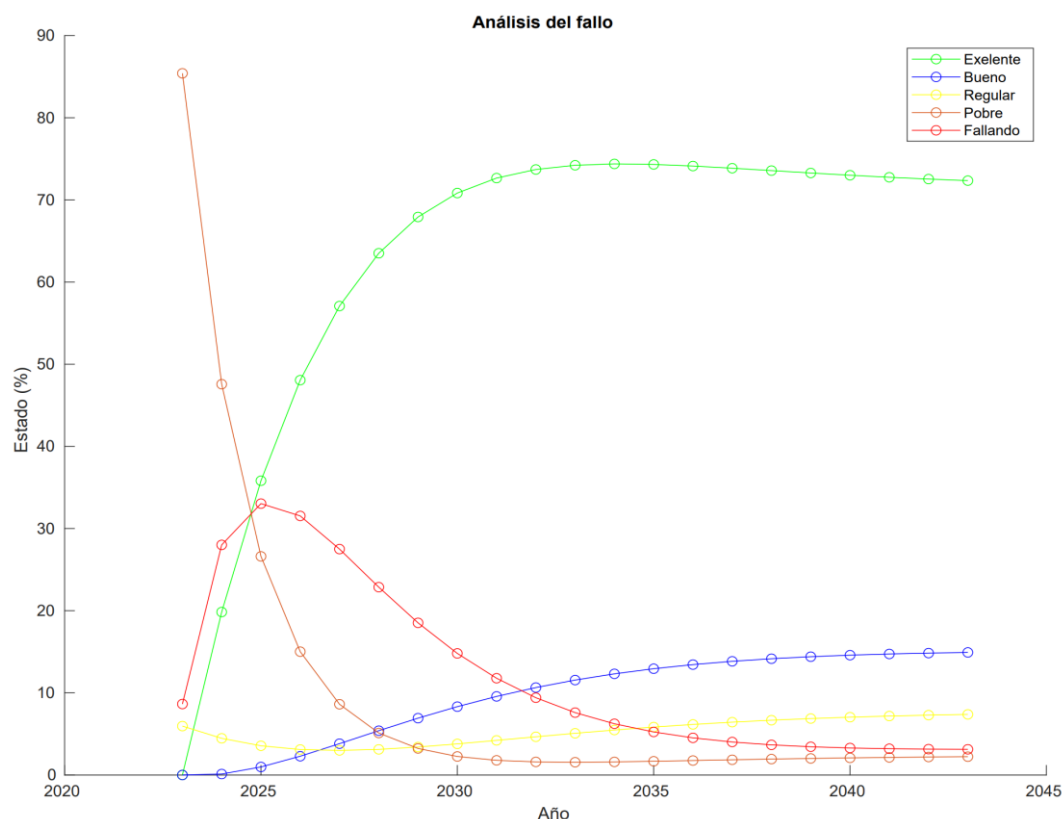


Figura 36. Proyección del estado funcional de la red vial para pavimentos semirrígidos, articulados o adoquinados.

Después de todo el proceso de jerarquizar y priorizar cada uno de los tramos, se obtienen los costos de intervenir y proyectar la mejoría de la condición funcional del pavimento, como otro punto clave para la toma de decisiones en cuanto a su intervención o determinar una alternativa más viable para el caso.

	Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado	
Actual condición (%)		0	0	5.953	85.41	8.64
Mantenimiento	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	Rehabilitación ▼	
Costo Total del Periodo de proyección (\$)	2951152.11					

Figura 37. Costos de intervención para la recuperación de la condición funcional del pavimento adoquinado.

Finalmente, se determina un costo de alrededor de 3 millones de dólares de la alternativa propuesta por el programa como mejor solución a la mejora de la condición funcional de la red de pavimentos adoquinados. Este costo, es un valor bastante manejable, y que a su vez ayuda a obtener una mejoría bastante considerable en la calidad de las vías, por lo que no se debería considerar este presupuesto como un gasto, sino, más bien como una inversión durante el periodo de proyección indicado anteriormente.

#### 5.2.4. Condición actual de la red vial

A continuación, se puede evidenciar el estado de condición actual (año 2023) de la red vial de la zona este del casco urbano del cantón Santa Isabel. De esta manera se pueden tomar las decisiones adecuadas de intervención para mejorar la evolución del estado funcional de las vías y conservar adecuadamente su infraestructura.

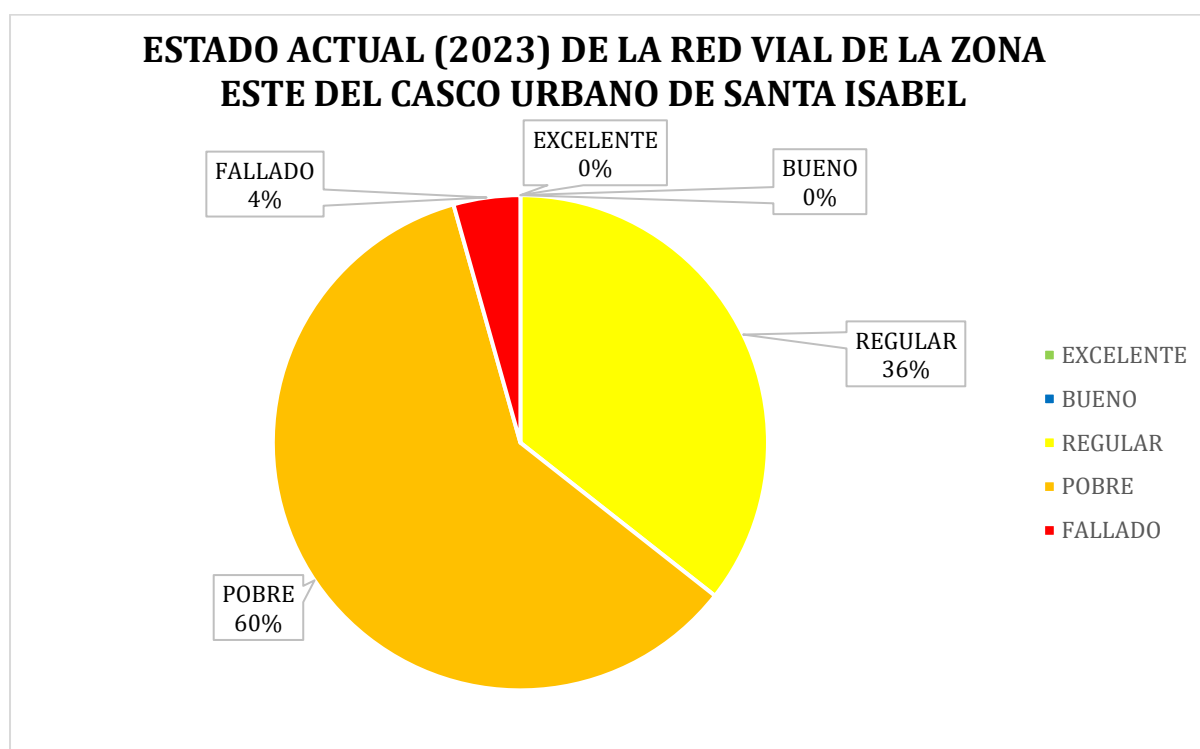


Figura 38. Estado de la red vial de Santa Isabel.

De acuerdo a la figura, se puede evidenciar que la red vial de la zona este del casco urbano del cantón Santa Isabel presenta una condición funcional de un 36% en estado Regular, un 60% en estado Pobre y un 4% en estado Fallado, por lo que se puede considerar que los estados dominantes a considerar para ser tratados, se deben intervenir con las alternativas correspondientes al mantenimiento de Recapeo y Rehabilitación correspondientes a los estados Regular y Fallado, respectivamente.



## 5.2.5. Resultados de las intervenciones para la red vial

En este apartado se encontrarán las alternativas de intervención con sus respectivos costos y evolución de la red vial en el tiempo debido a la aplicación de las mismas.

### 5.2.5.1. Pavimentos Asfálticos

Para los pavimentos flexibles se considera no intervenir la red vial y aplicar cada una de las cinco alternativas de mantenimiento propuestas en este trabajo, además de proponer un par de combinaciones de alternativas buscando que se mejore la condición funcional del pavimento al mismo tiempo que se optimice el uso de recursos económicos para su aplicación.

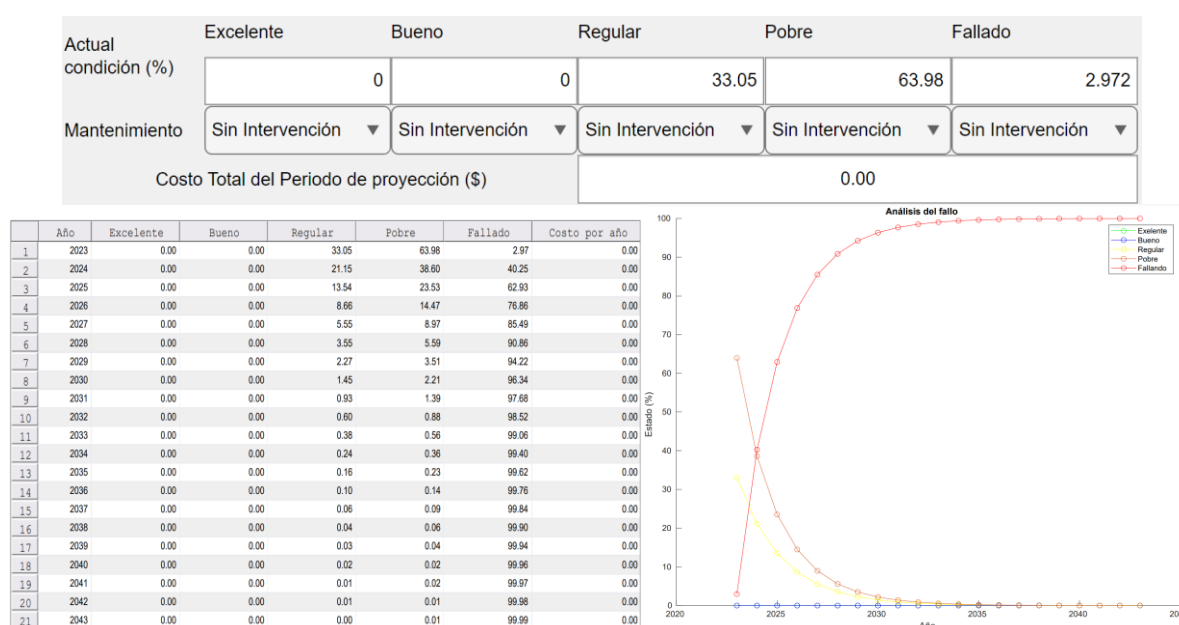


Figura 39. Costos y evolución de los pavimentos flexibles Sin Intervención.

Como se observa en la figura anterior, si no se intervienen las vías de manera oportuna, en los próximos 10 años la condición de la red vial disminuirá muy considerablemente, obteniendo que el porcentaje de pavimentos en estado Fallado aumentará de alrededor del 3% hasta un 99%, mientras que los pavimentos en estado Regular decaerán de un 33% a casi el 0%, es decir, la red vial fracasará totalmente. No se invierte dinero, pero se pierde totalmente la estructura ya existente.

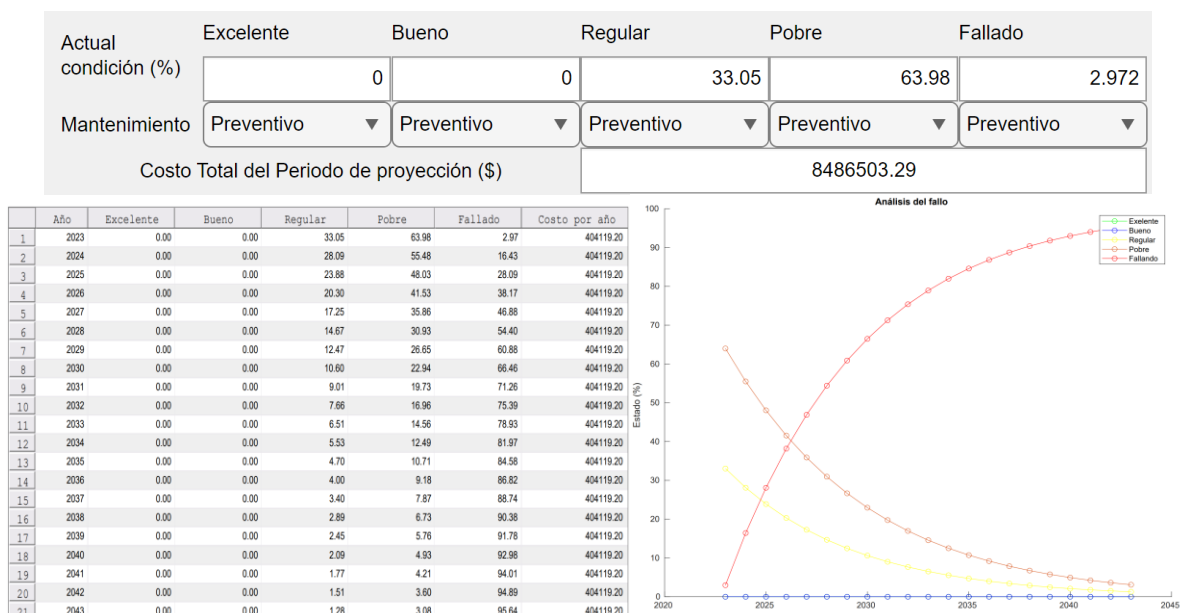


Figura 40. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento Preventivo.

Al aplicar un mantenimiento Preventivo a toda la red vial se puede determinar que en los primeros 5 años de evolución la condición del pavimento decae considerablemente, puesto que los pavimentos en estado Regular descienden a menos de la mitad (de cerca del 33% a cerca del 14%) de su condición actual, mientras que, los pavimentos en estado Fallado aumentan muy considerablemente, pasando de cerca del 3% a alrededor de un 54%. La mejoría del estado de condición no es una opción muy satisfactoria, puesto que, se invierte una suma de dinero considerable (alrededor de 8 millones y medio de dólares) y no se obtiene una mejoría aceptable en el estado de las vías a lo largo del periodo de proyección, además de que su estado seguirá empeorando hasta que las vías fracasen completamente o que los costos de intervención sigan siendo elevados y consiguiendo los mismos resultados de empobrecimiento de su condición funcional. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$404.119,20.

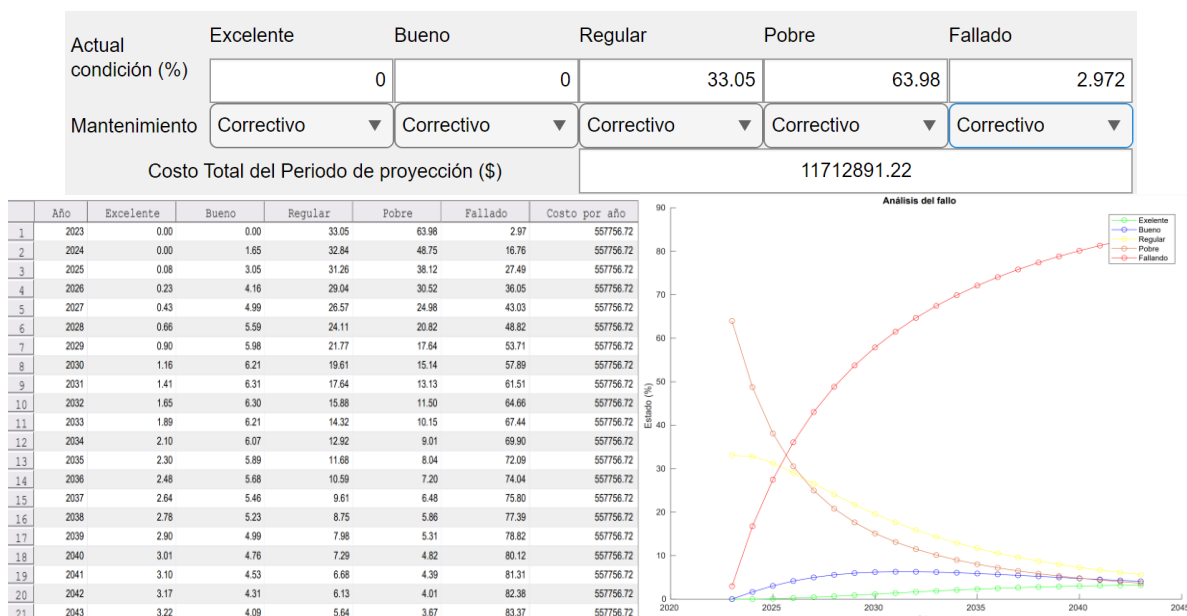


Figura 41. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento Correctivo.

Al aplicar un mantenimiento Correctivo, se puede observar que se empieza a obtener una ligera mejoría en el estado funcional de la red vial, puesto que, en los primeros 6 años los pavimentos empiezan a mejorar a un estado Bueno en cerca del 6% y un estado Excelente en alrededor del 1%, sin embargo, los pavimentos en estado Fallado se siguen deteriorando y aumentan alrededor de 50 puntos porcentuales (de alrededor 3% al 53% aproximadamente), esto sucede puesto que esta alternativa de mantenimiento no es la recomendada para el estado de esas vías. Por último, el costo de alrededor de \$11.7 millones dólares que se invierten no genera beneficios viables a lo largo del periodo de proyección, puesto que eventualmente la mejoría final de la red es muy baja, es decir, estado Excelente del alrededor del 3% y Fallado de cerca del 84% de existencia a 20 años de proyección. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$557.756,72.

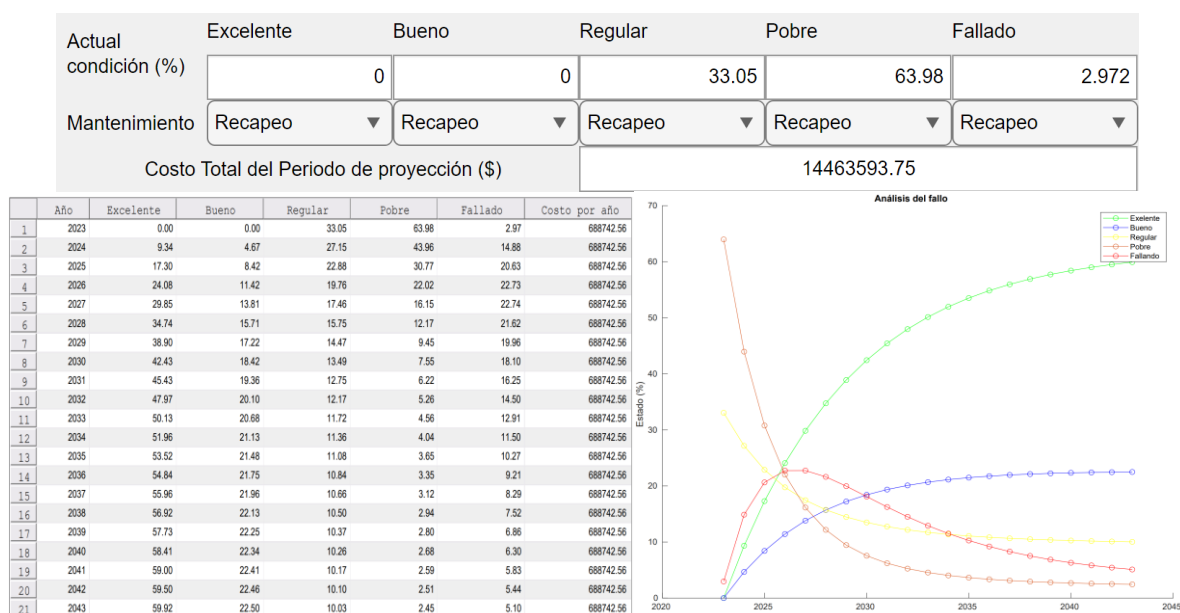


Figura 42. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento de Recapeo.

Cuando se aplica un mantenimiento de Recapeo a toda la red vial, la condición de los pavimentos de calidad mayor a la de los que se encuentran en el estado Fallado empieza a mejorar positivamente desde el primer año de intervención. En los primeros 4 años, se puede observar que todos los estados de condición mejoran positivamente a excepción del estado Fallado que aumenta, pero llega a su máximo (cerca del 23%), y posteriormente se reduce y empieza a decaer, obteniéndose una mejoría, puesto que a este punto el tratamiento aplicado mejora lo suficiente la calidad del pavimento como para empezar a disminuir el deterioro de su infraestructura y continuar mejorando a futuro. Finalmente, a 20 años, se ha logrado recuperar los pavimentos a alrededor del 60% en estado Excelente y obtener únicamente cerca del 5% de pavimentos en estado Fallado, es decir, pocos pavimentos para intervenir con mantenimientos más invasivos. Esta alternativa se logra utilizando una inversión económica de cerca de los \$14 millones y medio de dólares, pero a su vez obteniéndose un beneficio favorablemente positivo para la condición futura de la red vial. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$688.742,56.

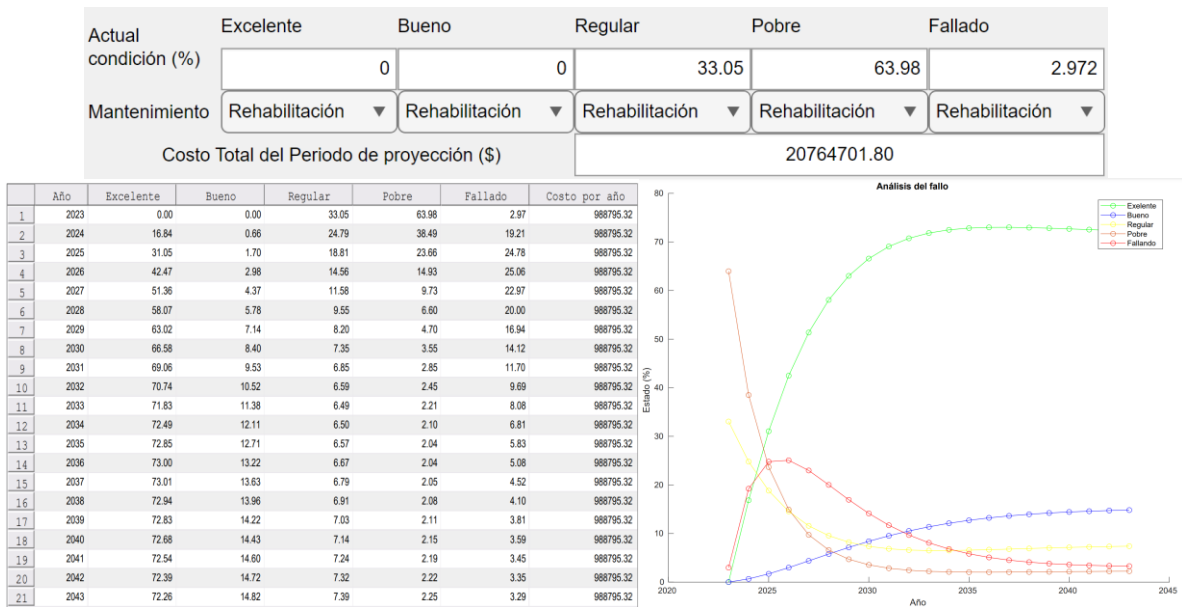


Figura 43. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento de Rehabilitación.

Al aplicar un mantenimiento de Rehabilitación a toda la red vial se puede observar una gran mejoría durante 13 años, logrando que los pavimentos en estado Bueno y Excelente pasen de no existir a estar presentes en cerca del 13% y 73% respectivamente, además de que los pavimentos en estado Fallado solo aumenten alrededor de 2 puntos porcentuales (de cerca del 3% a alrededor del 5%). Para aplicar esta alternativa se requiere de una inversión de alrededor \$20.8 millones de dólares, que si bien ayuda a mejorar y mantener en buenas condiciones la red vial, es un costo bastante elevado. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$988.765,32.

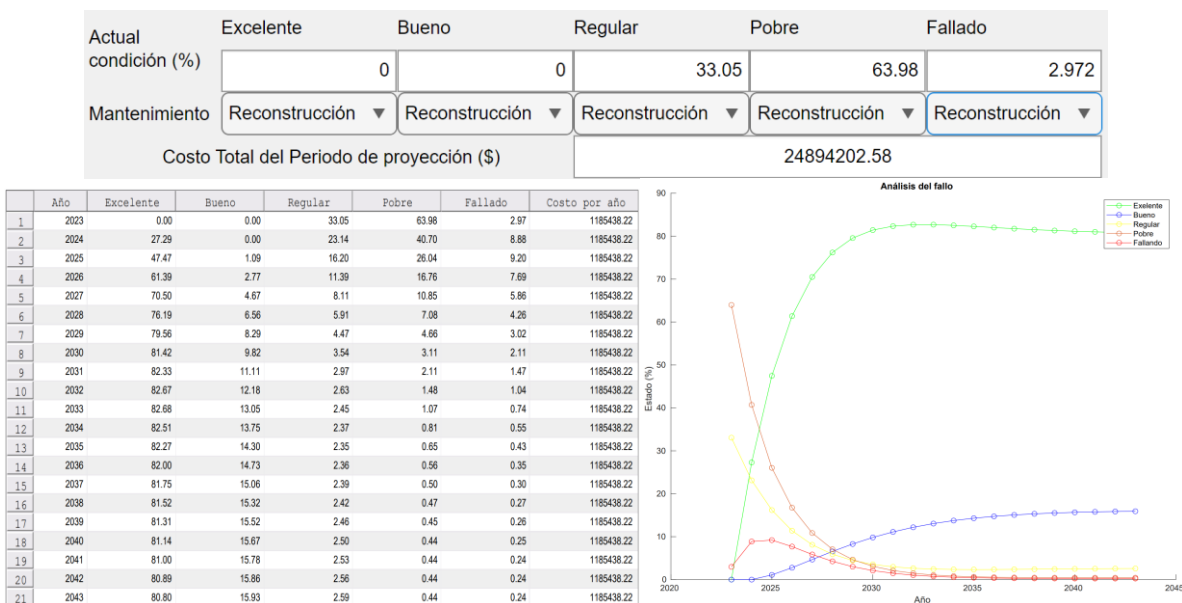


Figura 44. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con mantenimiento de Reconstrucción.

Al momento de aplicar un mantenimiento de Reconstrucción a toda la red vial, se obtiene una gran mejoría en todos los estados de condición de los pavimentos, logrando en 10 años mejorar los estados de condición de Bueno y Excelente que no existían a porcentajes de alrededor de 13% y 83% respectivamente, mientras que los estados Regular, Pobre y Fallado descienden, puesto que, mejoran a estados de mejor valía como Excelente y Bueno, éstos pasan del cerca del 33% a alrededor del 3%, de cerca del 64% a aproximadamente el 1% y de cerca del 3% a casi el 0%, respectivamente. Al ser una de las intervenciones más invasivas y de intervención más profunda, su costo es el más elevado, llegando a costar alrededor de \$24.9 millones de dólares, pero con la recuperación más favorable para la infraestructura de la red vial con respecto a los pavimentos en condición Fallado. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$1.185.438,22.

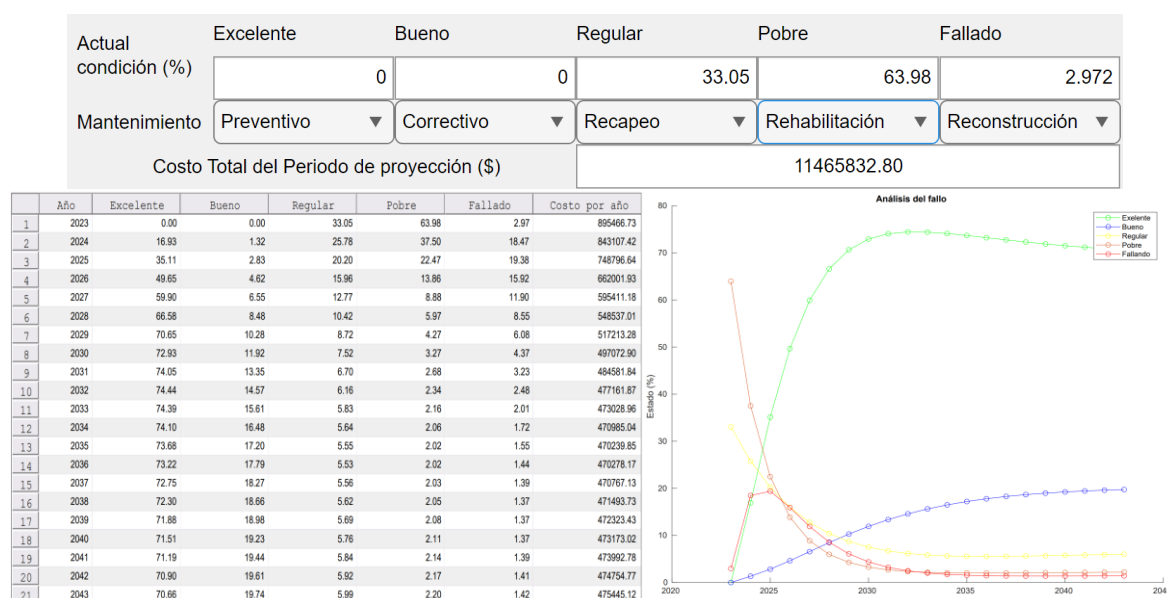


Figura 45. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con alternativa combinada 1.

Al aplicar una alternativa combinada en la cual se considera aplicar un mantenimiento de acuerdo al nivel de gravedad del daño que mantiene cada estado de condición de la red vial se puede verificar que en los primeros 3 años los estados de peor condición llegan a su máximo desarrollo y empiezan a mejorar rápidamente disminuyendo su presencia mientras aumenta la existencia de los estados de mejor calidad. Finalmente, se invierte un valor de \$11 millones y medio de dólares, aproximadamente, obteniéndose una gran mejoría en la calidad de la red vial, recuperando los pavimentos en condición adecuada de su no existencia a una existencia muy aceptable como los de Excelente a alrededor del 70% y los de Bueno a aproximadamente el 20% y manteniendo los estados de baja calidad en poca presencia como los de Pobre y Fallado en alrededor del 2%.

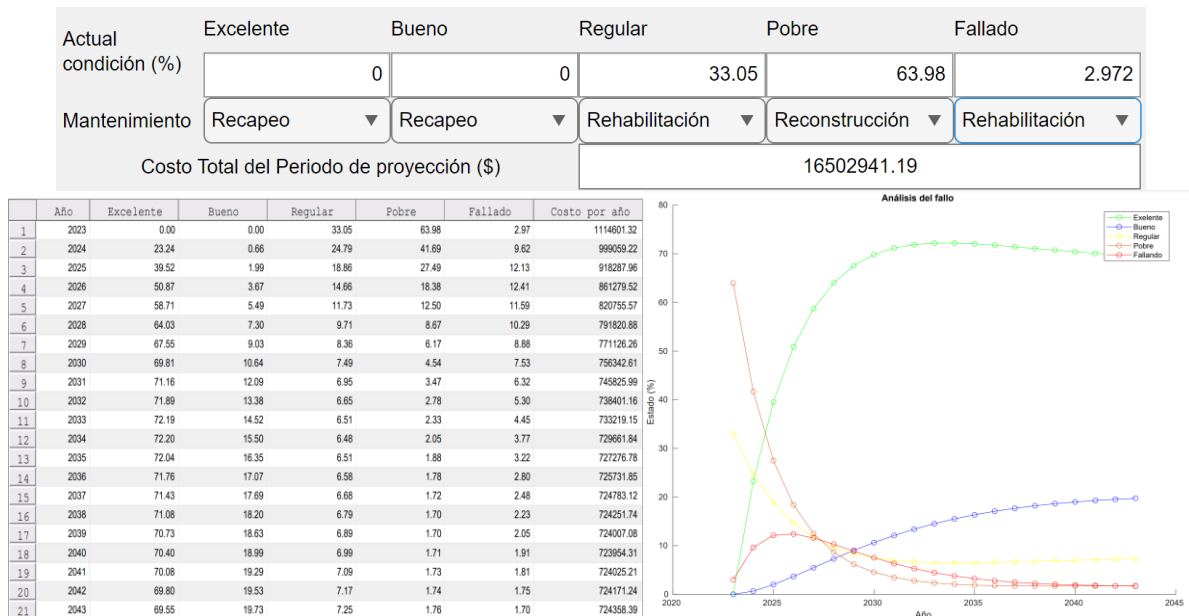


Figura 46. Costos y evolución de los pavimentos flexibles vial con alternativa combinada 2.

En esta alternativa el costo de inversión de alrededor de \$16 millones y medio de dólares representa una mayor inversión a comparación de la alternativa anterior, sin embargo, se aprecia una mejoría no muy superior a la obtenida previamente. Se puede notar que los pavimentos en estado Excelente aumentan a alrededor del 70% y los de estado Pobre y Fallado descenden a alrededor del 2%, evidenciándose la misma situación que el caso anterior, pero a un costo superior. Además, se puede notar que no sería adecuado dar intervenciones muy exhaustivas como Recapeo a las vías que se encuentren en estado Excelente y Bueno.

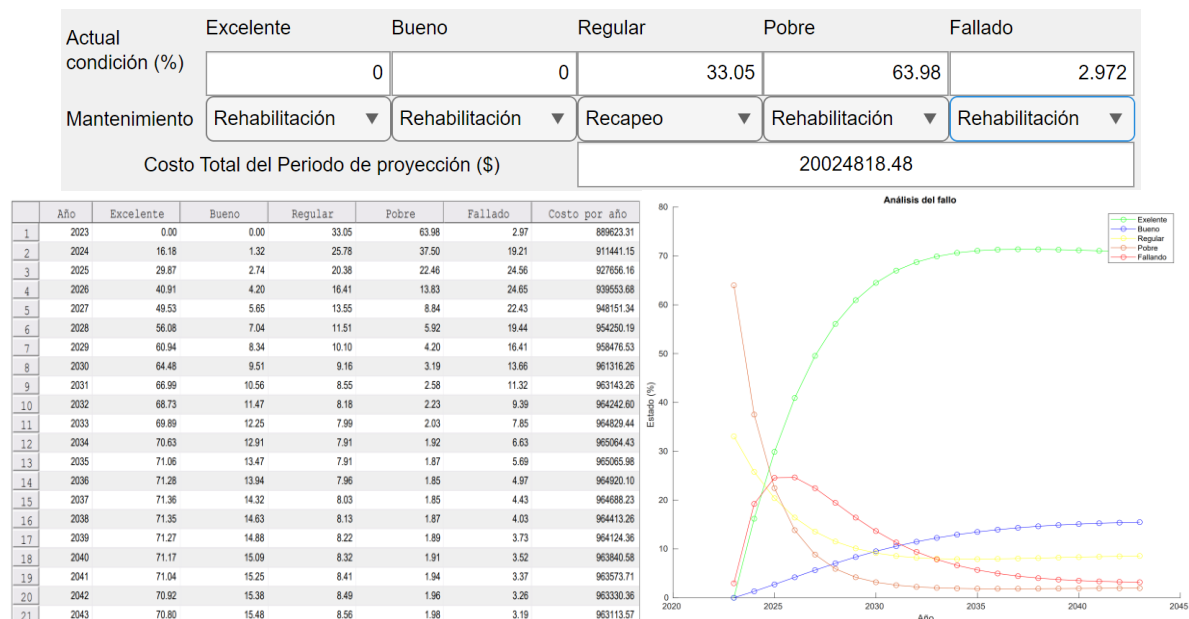


Figura 47. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con alternativa combinada 3.



Al aplicar esta alternativa combinada se logra obtener un costo de alrededor de \$20 millones de dólares, mucho más que la alternativa combinada 1, y donde no se obtienen mejoras considerables que en dicha alternativa, en cuanto a los pavimentos en condición Excelente (70%), pero para los pavimentos en estado Bueno se obtienen 5 puntos porcentuales menos (15%), mientras que los estados de condición Regular y Malo aumentan ligeramente su existencia a alrededor del 9% y 3% respectivamente, sin embargo, los mantenimientos aplicados a cada tipo de condición no son los adecuados, debido a que se aplican unos muy exhaustivos a condiciones de calidad bastantes buenas que no requerirán de ellos.

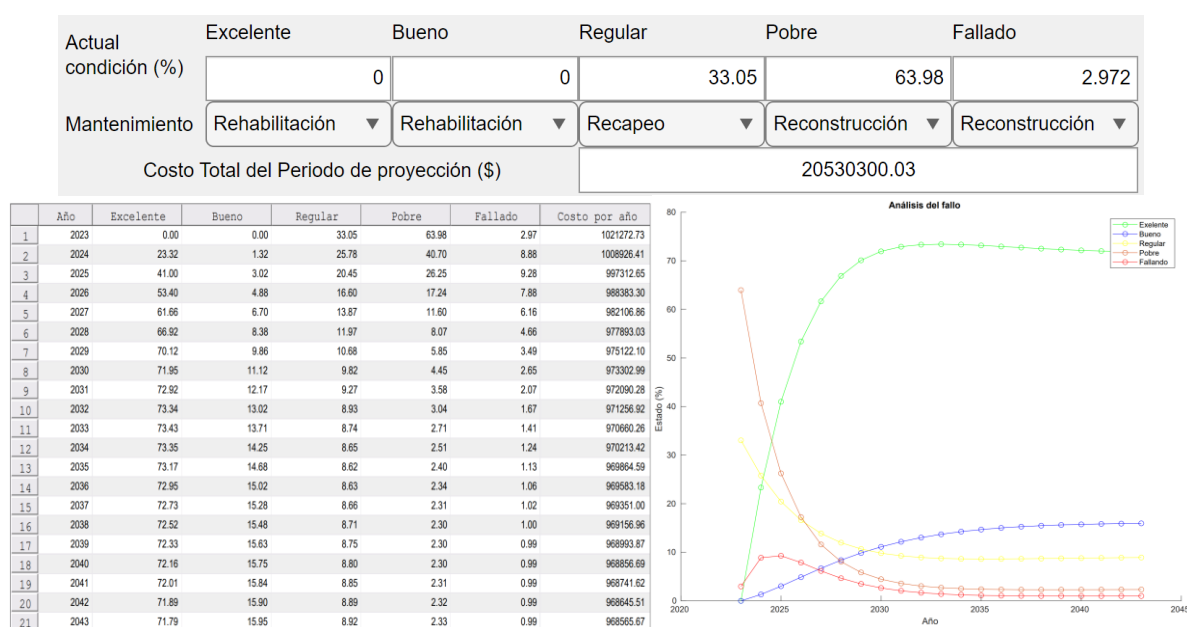


Figura 48. Costos y evolución de los pavimentos flexibles con alternativa combinada 4.

Para esta alternativa combinada, si bien es cierto que las condiciones de evolución se mantienen similares a las demás alternativas, pero con una ligera disminución en los de estado Fallado pasando de alrededor de un 3% a menos del 1%, el costo aumenta aproximadamente \$20 millones y medio de dólares con respecto a la alternativa combinada anterior, sin influir en un gran aporte a la evolución de las vías e incurriendo en el error de intervenir de manera exagerada a las condiciones de estado Excelente y Bueno.

### Resumen de resultados para pavimentos Asfálticos

A continuación, se analiza una comparativa entre todas las alternativas de intervención propuestas para analizar la evolución de la red vial y verificar la mejor alternativa en cuestiones de mejor relación costo-beneficio.



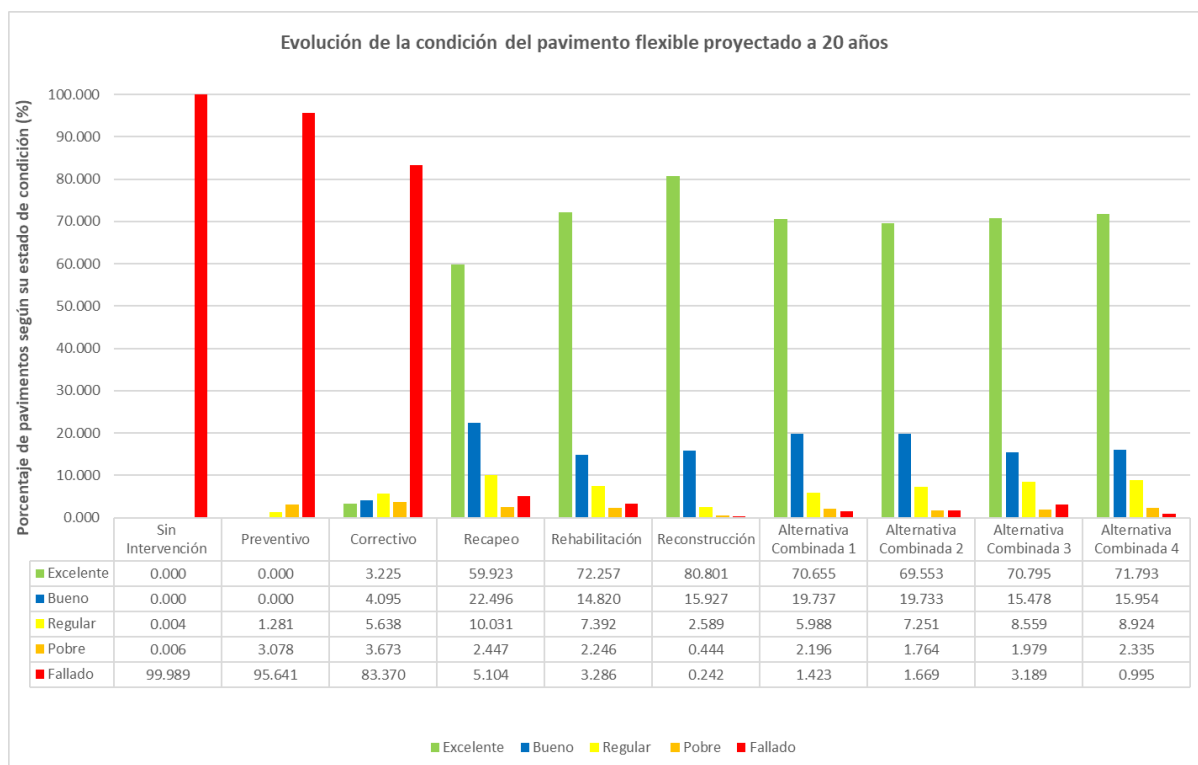


Figura 49. Evolución de la condición de los pavimentos flexibles de acuerdo a su intervención proyectada a 20 años.

Se puede evidenciar que, al no aplicar ningún tipo de intervención, la red vial, eventualmente fracasa por completo, ocasionado que se pierda toda la infraestructura vial. Debido a que la condición actual de los pavimentos es bastante deteriorada, encontrándose la mayoría de pavimentos en estado Regular y Pobre, al aplicar mantenimientos muy leves como son el de tipo Preventivo y Correctivo a toda la red vial, se puede notar que no se logra obtener algún tipo de beneficio conveniente, de igual forma la red vial fracasa, obteniéndose casi el 100% de pavimentos en estado Fallado. Al combinar alternativas de intervención para cada uno de los estados de condición en los que se encuentra cada porción de pavimento, se puede obtener buenos beneficios como es el caso de la Alternativa Combinada 1 y la alternativa de Reconstrucción obteniéndose pavimentos en estado Excelente de entre el 70% y 80%, sin embargo, ésta última resulta ser muy fuerte para ciertas condiciones de estado que no lo requerirán como la de Excelente y Bueno. Por ello, la Alternativa Combinada 1 obtiene un buen beneficio y aplica las correspondientes intervenciones a cada condición de estado de acuerdo a su nivel de daño, provocando que los pavimentos en estado Fallado se reduzcan a alrededor del 2%.

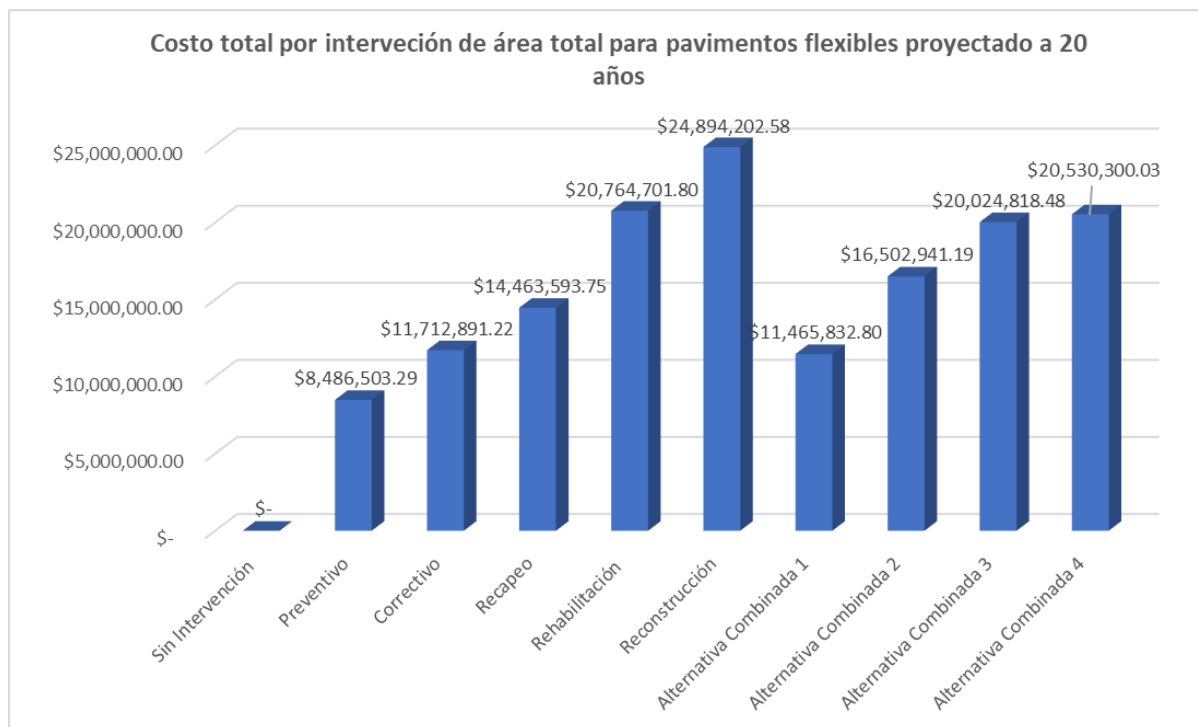


Figura 50. Comparativa de costos totales por intervención aplicada para pavimentos flexibles a 20 años.

Si bien es cierto que, al no intervenir los pavimentos, no se invierte presupuesto alguno, la red vial fracasará rotundamente perdiendo su infraestructura por completo. En cuanto a costos de intervención, mientras más rigurosa es la intervención aplicada más costosa resulta la recuperación del estado de condición del pavimento, por ejemplo, al aplicar el más riguroso (reconstrucción), se obtiene un costo de aproximadamente \$25 millones de dólares, adicionalmente, en algunos casos, las alternativas no logran obtener una mejoría favorable a pesar del presupuesto invertido. Para el caso de las intervenciones que obtenían la mejor evolución del estado de condición de los pavimentos, se puede determinar que son la de Reconstrucción y Alternativa Combinada 1 (\$11.5 millones), sin embargo, la relación costo beneficio de la Alternativa Combinada 1 es la mejor opción puesto que su evolución resulta muy similar a la de la alternativa de Reconstrucción, pero con un costo de menos de la mitad de la misma.

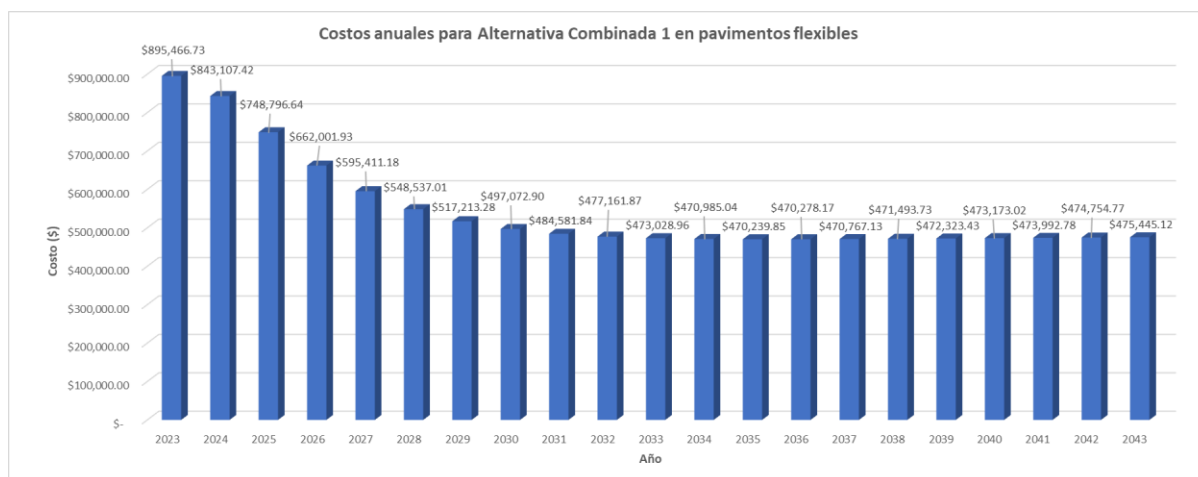


Figura 51. Evolución de costos para Alternativa Combinada 1 a 20 años para pavimentos flexibles.

Considerando la evolución de los costos a lo largo de los años, se puede observar que en los primeros 10 años, los costos de intervención de cada año, se reducen considerablemente (de cerca de \$900 mil dólares a cerca de \$475 mil dólares), y a partir de ahí, se empiezan a volver casi constantes, con variaciones mínimas (manteniendo un valor de alrededor de \$475 mil dólares), esto se explica debido a que la recuperación del estado de condición de la red vial llega a su máximo y posteriormente mejora muy levemente, lo que ayuda a tomar la decisión de aplicar alternativas de intervención menos fuertes y que a su vez reducirán aún más los costos de intervención.

**5.2.5.2. Pavimentos Adoquinados**

Para evaluar y analizar adecuadamente la evolución de la red vial de pavimentos adoquinados, se opta por probar su evolución sin ninguna intervención, con cada uno de los mantenimientos mencionados en este documento y con alternativas combinada para poder verificar la mejor opción de costo y evolución de la red vial de pavimentos adoquinados.

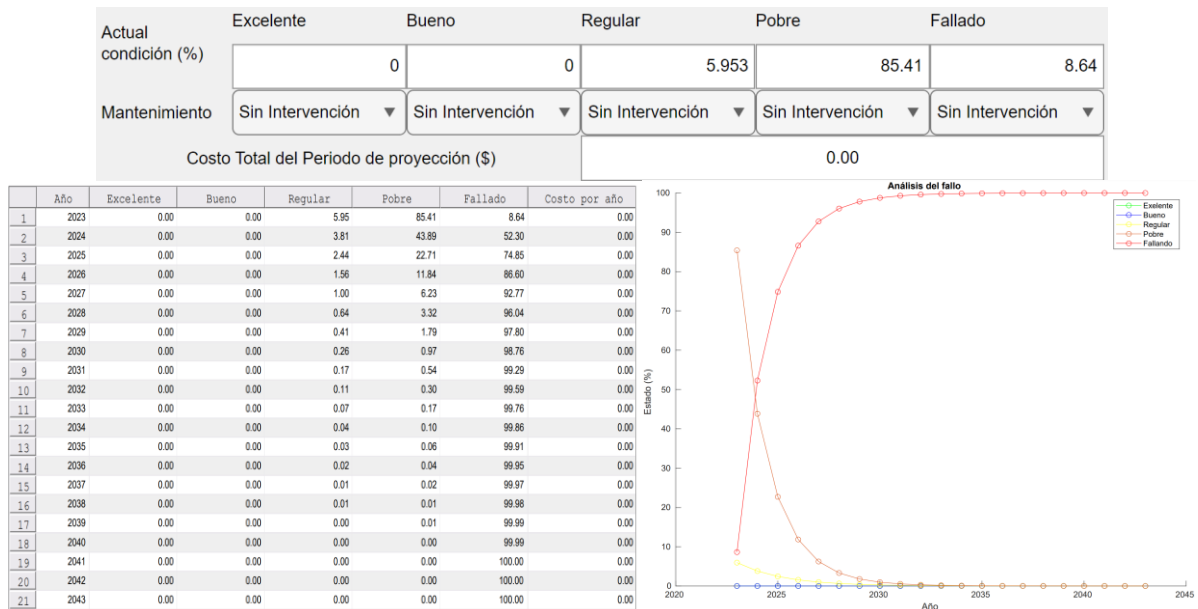


Figura 52. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados Sin Intervención.

Se puede observar que, al no aplicar ningún tipo de intervención a la red vial, el deterioro es bastante acelerado debido a que en sí la condición inicial ya se encuentra en un estado bastante agravado. Se puede observar que en los primeros 5 años, los pavimentos en mejor condición (Regular) descienden a menos del 1% y los pavimentos en estado Fallado aumentan a alrededor del 96%, es decir, una red vial al borde del fracaso. Si bien no se invierte dinero, pero, se pierde completamente la infraestructura vial.

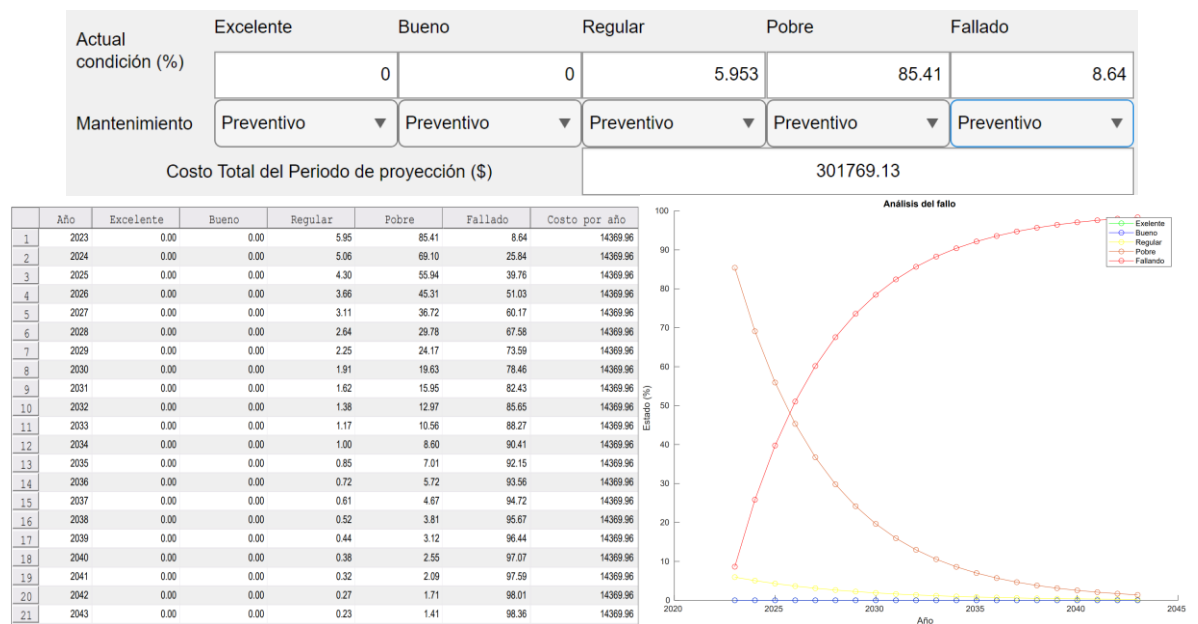


Figura 53. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento Preventivo.

Al aplicar un mantenimiento Preventivo a la red vial, se obtiene un ligero retardamiento en el deterioro del estado funcional de las vías, sin embargo, de igual forma que en el caso anterior, la intervención realizada no es suficiente, provocando que eventualmente la red vial fracase

y se pierda la infraestructura, tal como se puede observar en los primeros 5 años, los pavimentos en estado Fallado pasan de alrededor del 8% a un 68% aproximadamente. A pesar de que esta intervención llega a tener un costo alrededor de \$302 mil dólares durante el periodo de proyección de 20 años, no es suficiente para poder mejorar las condiciones de funcionalidad de la red vial. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$14.369,96.

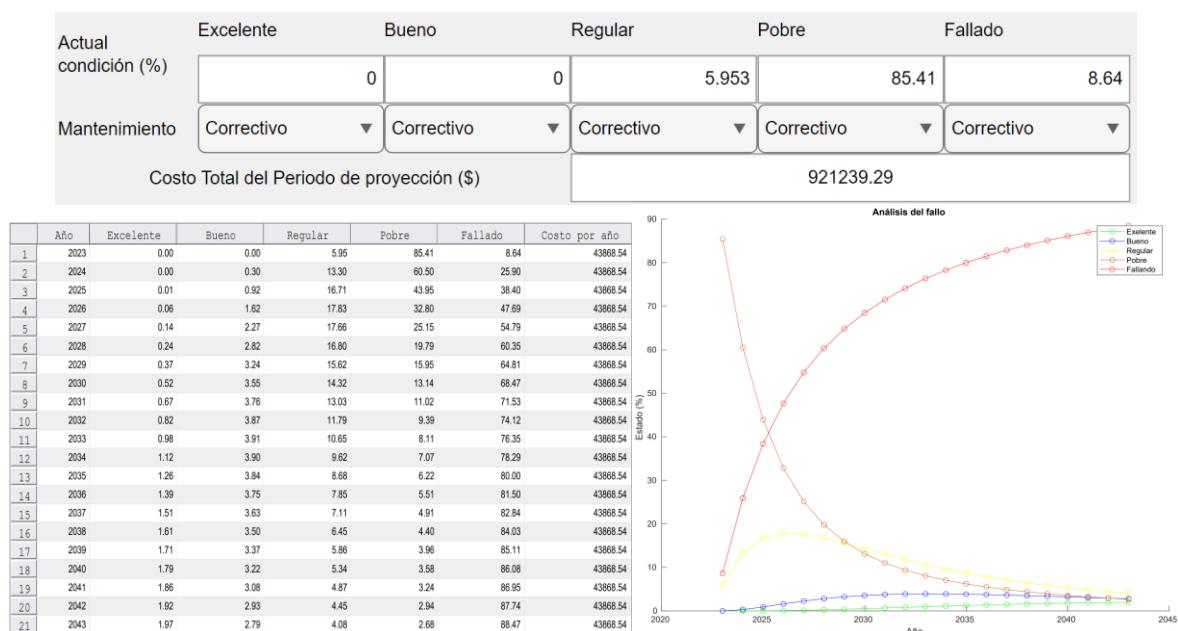


Figura 54. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento Correctivo.

Con un costo de alrededor de \$921 mil dólares, al aplicar un mantenimiento Correctivo, se logra disminuir el daño en una mejor proporción que los casos anteriores. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$43.868,54. Sin embargo, la evolución del deterioro de los pavimentos no se frena, y resultaría aplicar otro tipo de intervención para poder frenar el deterioro a tan solo unos 5 años de haber intervenido inicialmente la red vial. Se puede observar cómo al menos parte de los pavimentos asciende a un estado Excelente, llegando a una existencia del 2% a un periodo de evolución de 20 años, sin embargo, este mantenimiento no es suficiente para el estado predominante de daño produce que la red vial se coloque en muy malas condiciones pasando de alrededor de un 8% a aproximadamente un 88%, un ascenso de alrededor de 80 puntos porcentuales.



Figura 55. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento de Recapeo.

Al aplicar un mantenimiento de Recapeo a toda la red vial de pavimentos adoquinados, se puede observar que en 4 años los pavimentos en estado Fallado llegan a su desarrollo máximo pasando de alrededor de un 8% a cerca del 30%, sin embargo, al mismo tiempo los pavimentos en los otros estados empiezan a mejorar, como el el Estado Bueno y Excelente que pasan de no existir a estar en cerca del 12% y 25% respectivamente. De ahí en adelante, la intervención aplicada produce que, al término de 20 años, los pavimentos en estado Bueno y Excelente ascienden a cerca del 23% y 60% respectivamente a más de que los pavimentos en estado Fallado descienden a un 5% aproximadamente. Con una inversión de \$2 millones de dólares aproximadamente, se consiguió una mejoría bastante considerable en el estado funcional de la red vial. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$96.974,91.

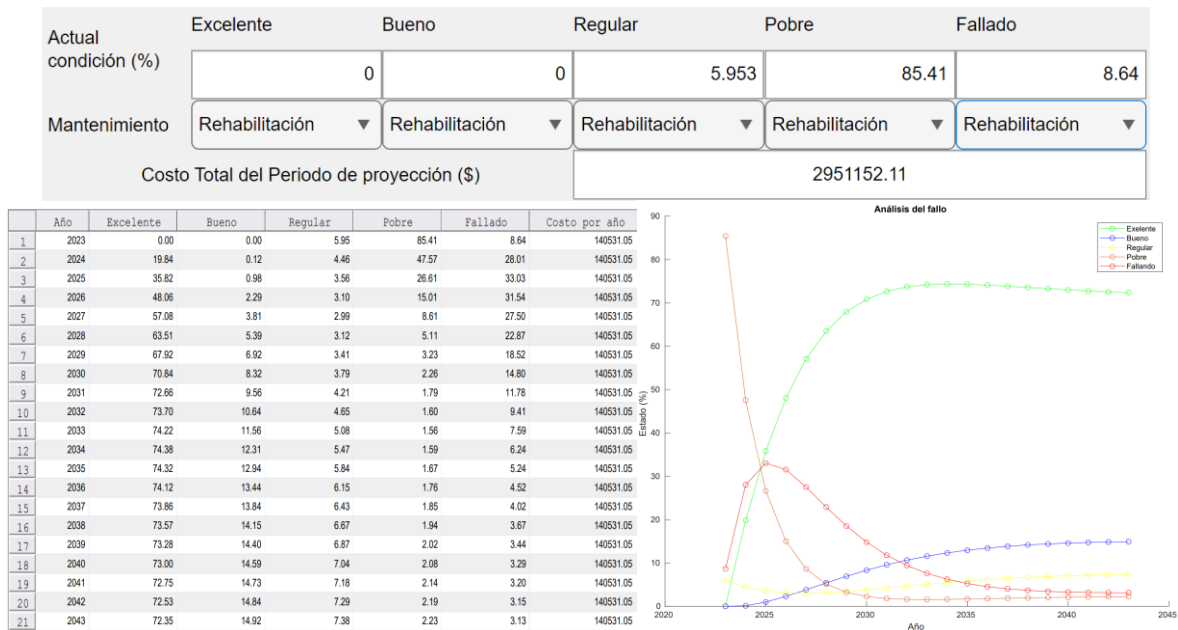


Figura 56. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento de Rehabilitación.

Al aplicar una inversión de Rehabilitación con un costo de alrededor de los \$3 millones dólares, se logra obtener que el deterioro de los pavimentos se reduzca considerablemente. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$140.531,05. Esto ocasiona que en tan sólo 7 años la condición del estado Excelente mejore a cerca de un 72%, es decir, a partir de ese momento se podría aplicar una nueva intervención de menor grado y menor costo para seguir manteniendo el estado de las vías. Así mismo, los estados de menor calidad empiezan a reducirse mientras que los de mejor estado empiezan a aumentar como el caso del estado Pobre, que desciende de aproximadamente un 85% a menos del 3%.

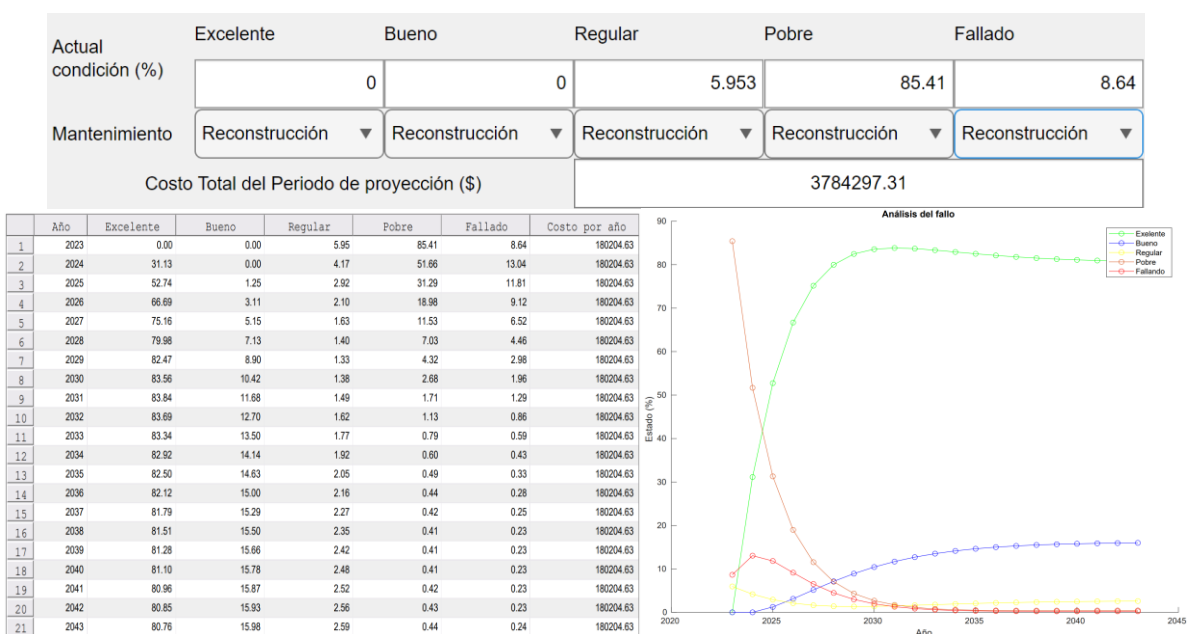


Figura 57. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con mantenimiento de Reconstrucción.

Al aplicar un mantenimiento de Reconstrucción, se puede observar que por una gran diferencia económica de cerca de un millón de dólares más que la anterior alternativa, es decir, un total de \$4 millones de dólares aproximadamente, al ser una intervención adecuada para el estado de Fallado, se observa que los pavimentos pertenecientes a esta categoría únicamente comienzan a descender, pasando de alrededor del 9% a menos del 1% en 20 años, además de ello tanto el estado Bueno como excelente aumentan muy favorablemente, puesto que pasan de no existir a alrededor del 16% y 81% respectivamente, y de igual manera, los de menor calidad como el estado Regular y Pobre, descienden de cerca del 6% a menos del 3% y de alrededor del 84% a menos del 1%, respectivamente. Cabe recalcar que en este mantenimiento se va a tener un costo anual constante de \$180.204,63.

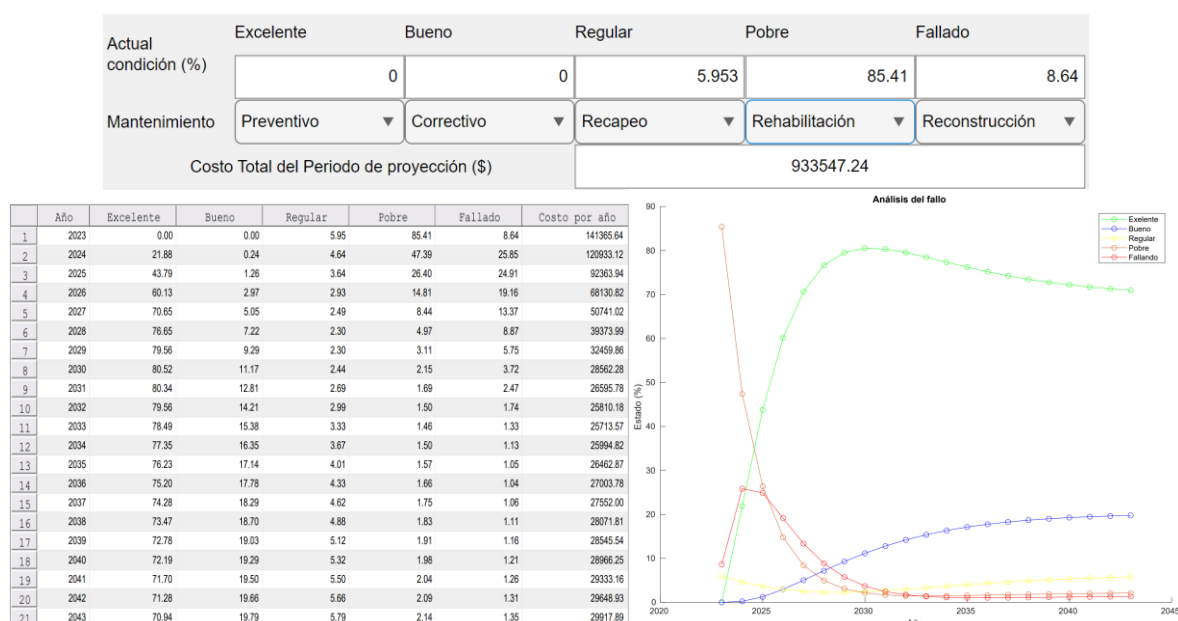


Figura 58. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 1.

Esta alternativa se obtiene al combinar los tipos de mantenimientos correspondientes de acuerdo al nivel de daño en el que se encuentra cada porción de pavimento adoquinado. Se asigna a cada estado el mantenimiento que implique el nivel de intervención necesaria. De esta manera se obtiene una gran mejoría en la evolución del nivel funcional de la red vial. Se logran recuperar los pavimentos en estado Excelente y Bueno a cerca del 71% y 20% respectivamente, además de lograr reducir los pavimentos de condición Pobre y Fallado de alrededor del 85% y 8% a un 2% respectivamente. Adicionalmente, se puede notar que el costo de intervención durante todo el periodo de proyección es de alrededor de \$934 mil dólares.





Figura 59. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 2.

Al realizar esta combinación de intervención, se puede determinar que la alternativa no mejora considerablemente en sus condiciones, es más se obtienen mejoras menores en cuanto a los pavimentos en estado Bueno y Regular con un aproximado del 16% y 9% de existencia. Adicionalmente, se puede notar que el costo de intervención inicial resulta de aproximadamente \$170 mil dólares, esto implica un costo durante todo el periodo de proyección de aproximadamente \$3 millones de dólares, indicando un costo de aproximadamente \$2 millones más que la alternativa combinada 1 y sin obtener mejoras mayores.



Figura 60. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 3.

Al aplicar esta alternativa combinada se puede observar que el costo es de cerca de \$3 millones y medio de dólares, lo que implica que se invierte alrededor de medio millón de dólares más que la alternativa anterior a ésta y manteniendo las condiciones de mejora muy similares. Sin embargo, se aplican mantenimientos muy invasivos a condiciones de estado que no lo requieren.

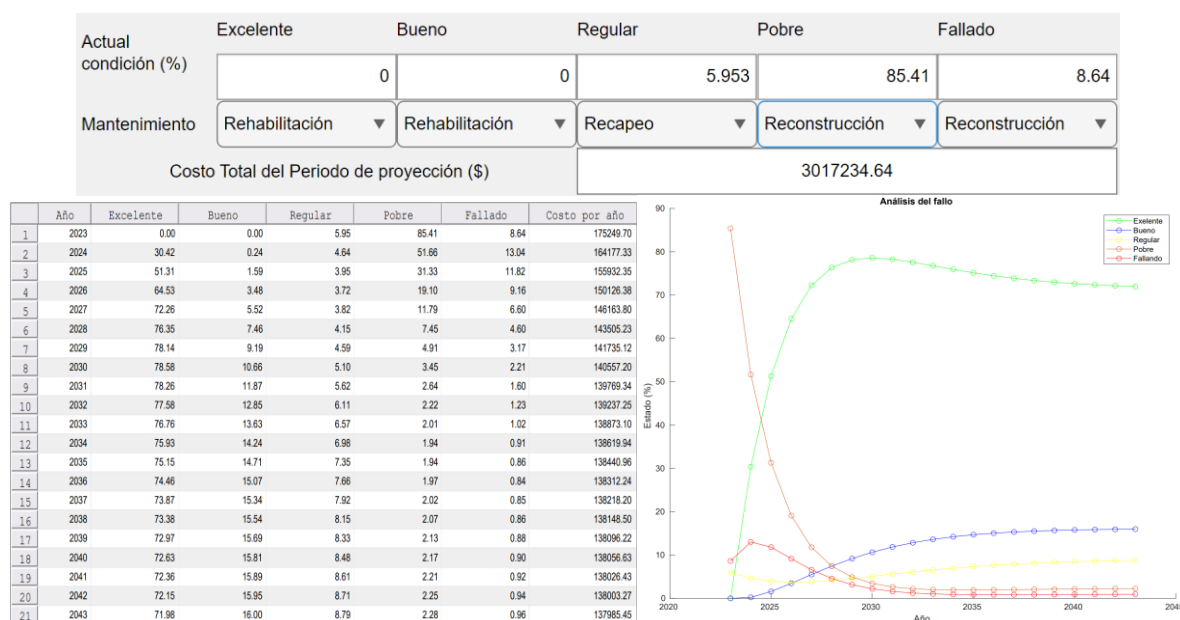


Figura 61. Costos y evolución de los pavimentos adoquinados con alternativa combinada 4.

Esta alternativa de intervención implica una ligera mejora en la condición de los pavimentos con respecto a la aplicación de la alternativa combinada 1, sin embargo, el costo resulta de alrededor de \$3 millones de dólares, que implica una inversión mayor de cerca de \$2 millones de dólares y obteniendo una mejoría cuya diferencia implica una ganancia pequeña pero considerable en la evolución del estado vial. Por ejemplo, a término del análisis de la evolución los pavimentos en condición Excelente se recuperan a cerca del 72% y los que se encuentran en estado Fallado se reducen de cerca del 9% a menos del 1%, muy favorablemente para conservar la infraestructura vial, pero implicando que se apliquen intervenciones muy intensas a estados de condición que requieren acciones de menor grado de exhaustividad.

### Resumen de resultados para pavimentos Adoquinados

En este apartado se evalúa un análisis comparativo entre las alternativas de intervención propuestas para estudiar la evolución del estado de condición de la red vial y determinar la mejor solución en relación costo-beneficio.

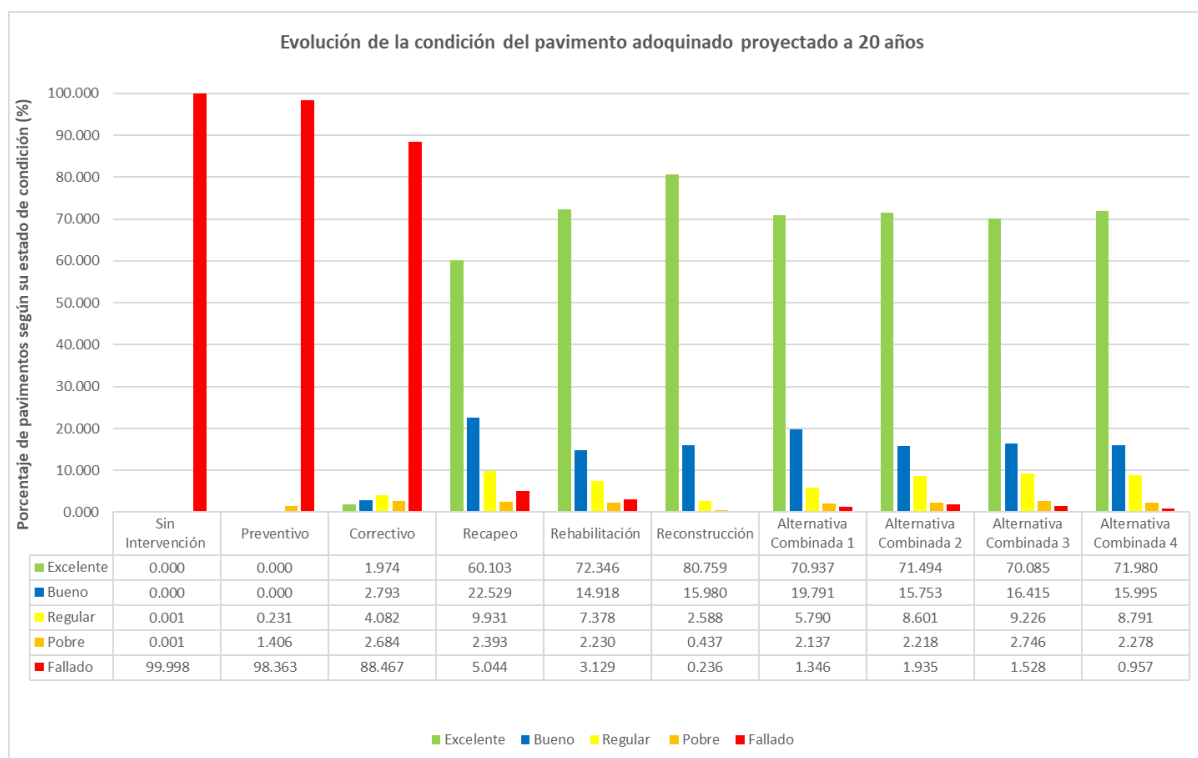


Figura 62. Evolución de la condición de los pavimentos adoquinados de acuerdo a su intervención proyectada a 20 años.

Es razonable observar que, al no aplicar ninguna intervención a la red vial de pavimentos adoquinados, ésta se deteriora a tal nivel que la infraestructura se pierde completamente notándose por el porcentaje de pavimentos deteriorados existentes, cerca del 100%. La Alternativa Combinada 1 logra obtener una recuperación del estado de condición de las vías a alrededor del 70% de vías en estado Excelente y menos del 2% en estado Fallado. Además, esta alternativa implica la aplicación de intervenciones de un nivel de rigurosidad adecuado para el nivel de daño que presenta cada estado de condición en contraste con la mejoría que se puede obtener de aplicar una intervención de Reconstrucción (estado Excelente en un 80% y Fallado en menos del 1%), debido a que ésta aplica intervenciones muy fuertes a estados de gran calidad que no lo requieren.



Figura 63. Comparativa de costos totales por intervención aplicada para pavimentos adoquinados a 20 años.

Como se determinó anteriormente, la Alternativa Combinada 1 representa la mejor opción en cuestión de evolución de la condición esperada y por aplicación adecuada de tipos de mantenimiento. Además de ello, El costo que ésta representa es el más beneficioso en cuanto a relación costo-beneficio, puesto que presenta un costo bastante bajo (alrededor de \$950 mil dólares) con respecto a los demás y se obtiene una gran mejoría en la red vial. Otra de las alternativas que presentaba una gran mejoría en la recuperación de la condición vial es la de aplicar Reconstrucción a toda la red vial, pero representa un costo de cerca de \$2 millones de dólares más que la Alternativa Combinada 1.

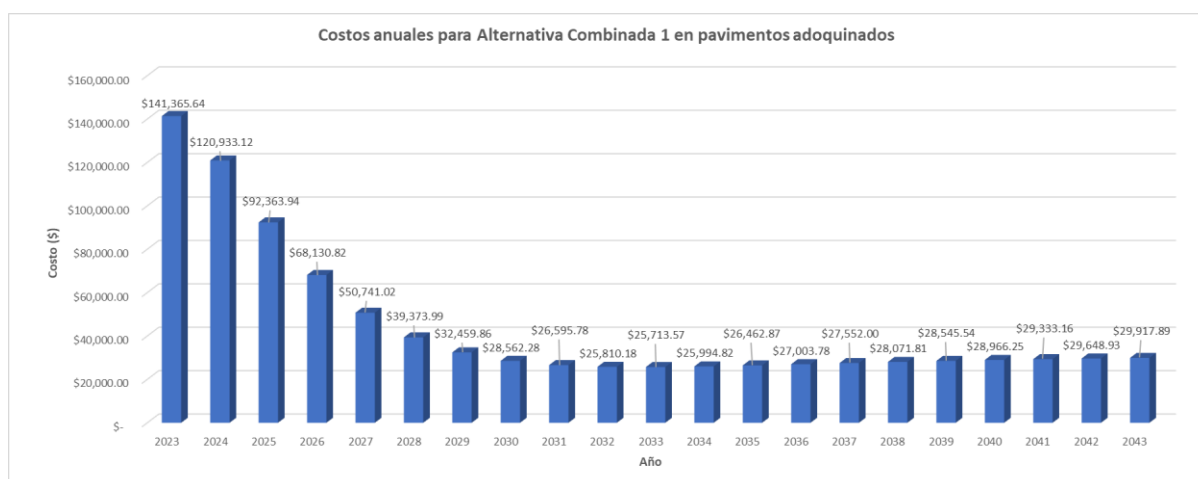


Figura 64. Evolución de costos para Alternativa Combinada 1 a 20 años para pavimentos adoquinados.

La evolución de los costos anuales debido a la aplicación de las adecuadas intervenciones a cada estado de condición de la red vial, ayuda a que los estados de condición de menor calidad como el de Regular, Pobre y Fallado, se recuperen y en cierto porcentaje pasen a un estado Excelente y Bueno, ocasionando que los costos de intervenir la red vial disminuyen grandemente, pasando de un costo inicial de alrededor de \$141 mil dólares a aproximadamente \$25 mil dólares en 10 años de evolución. Punto en el cual la condición del pavimento se recupera lo suficiente como para poder cambiar el tipo de intervención y aplicar combinaciones menos rigurosas para que los costos se logren disminuir aún más. Ya que desde el año 2033, el costo se mantiene casi sin cambios abruptos, manteniéndose en alrededor de \$25 mil dólares.

### 5.3. Resultados de los Softwares INVEST Y PaLATE

#### 5.3.1. Resultados del programa INVEST

A continuación, se puede observar que la alternativa 1 muestra un puntaje de 46, que no registra ningún tipo de calificación dentro del aplicativo. Sin embargo, también es evidenciable que la alternativa 2 logra obtener un puntaje de 75 que se clasifica en una calificación de Bronce.

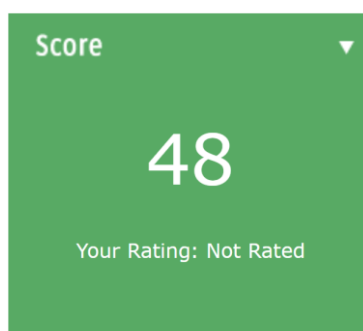


Figura 65. Resultado de la alternativa 1 en INVEST (U.S. Department of Transportation- Federal Highway Administration , 2021).

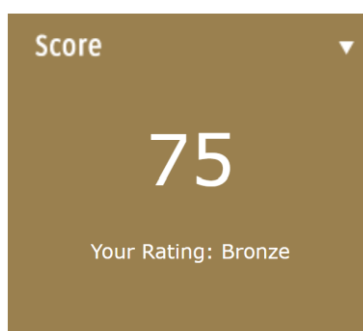


Figura 66. Resultado de la alternativa 2 en INVEST (U.S. Department of Transportation- Federal Highway Administration, 2021).

Es notable que la alternativa 2 logra obtener un puntaje más alto en correspondencia a la alternativa 1, con esto, dicha alternativa logra obtener una insignia de sostenibilidad de tipo bronce, debido a que, considera más criterios de sostenibilidad que ayudan a mejorar el desarrollo de operaciones y mantenimiento de intervenciones a cargo del GAD de Santa Isabel.

Para entender la diferencia obtenida en calificación de ambas alternativas, se procede a listar las principales diferencias entre cada una de las dos alternativas evaluadas en INVEST. La alternativa 1 considera menos parámetros de sostenibilidad que la alternativa 2.

Tabla 50. Diferencias obtenidas entre las alternativas evaluadas en INVEST.

<b>ALTERNATIVA 1</b>	<b>ALTERNATIVA 2</b>
No incluye.	Incluye un sistema de monitoreo y seguimiento.
No incluye.	Incluye un plan de implementación.
No incluye.	Incluye capacitación en sostenibilidad al personal con respecto al Plan Integral de Sostenibilidad.
No se implementa.	Se implementa un empleado o comité encargado de promover la sostenibilidad.
No se implementa.	Se implementa un sistema de monitoreo de electricidad para operaciones y mantenimiento que rastrea el uso de electricidad para todas las instalaciones de la carretera.
No se implementa.	Se implementa un programa de concientización para los empleados.
No tiene un plan de gestión de flota documentado.	Se desarrolla un plan para flotas livianas o para equipos pesados y todoterrenos.
No se desarrolla ningún plan para manejo de residuos.	Se desarrolla un plan para los residuos administrativos o los residuos de operaciones y mantenimiento.
Cuantifica el desempeño de seguridad en términos de una tasa o únicamente con el uso de una métrica.	Identifica las medidas de desempeño de seguridad y evalúa el desempeño de seguridad a través de una evaluación cuantitativa.
Utiliza la tasa o el número total de lesiones mortales y graves como única métrica de desempeño de seguridad.	Identifica métricas de desempeño de seguridad para cada una de las áreas de énfasis identificadas durante la evaluación del desempeño de seguridad.
No existe un plan de seguridad.	Se desarrolla un plan de seguridad.
No se establecen métricas para el Sistema Integral de Seguimiento del Cumplimiento Ambiental.	Se establecen métricas cuantificables para el Sistema Integral de Seguimiento del Cumplimiento Ambiental.

No se establecen objetivos cuantificables relacionados tanto con la condición como con la puntualidad del proyecto; o establecer objetivos cuantificables relacionados tanto con la condición como con la puntualidad, pero no monitorear, o no haber monitoreado el progreso hacia las metas durante al menos un año después del establecimiento de las metas.	Se han establecido objetivos cuantificables relacionados tanto con la condición como con la puntualidad del proyecto, incluyendo cuándo se deben alcanzar estos objetivos, y monitorear el progreso hacia las metas durante al menos un año después del establecimiento de las metas.
No se aplica.	Se aprovecha el sistema de manejo de pavimentos para vincular proyectos de reparación, preservación y mantenimiento de pavimentos.
No se aplica.	El Plan de Mantenimiento Vial destaca actividades que contribuyen a la sostenibilidad durante el mantenimiento y las operaciones.
No utiliza.	Utiliza métricas de desempeño cuantificables para evaluar el desempeño general del Plan de Mantenimiento de Control de Tráfico.
Se utilizan 4 categorías de tecnologías de Sistemas de Transporte Inteligente.	Se utilizan 6 categorías de tecnologías de Sistemas de Transporte Inteligente.
No se ha integrado un sistema.	Se ha integrado un sistema para garantizar que las necesidades de las estrategias de Mantenimiento y Operación se consideren plenamente en el diseño de la infraestructura vial.
Se han establecido métricas de desempeño, incluyendo al menos una relacionada con la seguridad, la movilidad y la integración de estrategias de Mantenimiento y Operación en el diseño.	No se han establecido métricas.
No tiene un programa de control de tráfico en zonas de trabajo que cubra dos o más elementos de control.	Tiene un programa de control de tráfico en zonas de trabajo que cubre dos o tres elementos de control.

### 5.3.2. Resultados del programa PaLATE

En la actualidad (2023), el estado de condición de las vías muestra una condición de Regular en su mayoría, seguido del estado Pobre. Por ello, es necesario intervenir oportunamente las vías, para recuperar su condición y prolongar la vida útil de funcionamiento de su infraestructura hasta el 2043 (20 años de evolución).

De esta manera es que se considera en una primera alternativa de intervención como un mantenimiento de Rehabilitación y posteriormente combinarlo con un mantenimiento Preventivo anualmente para mantener adecuadamente la condición del pavimento.

Así mismo, se aplica como una segunda alternativa un mantenimiento de Recapeo y posteriormente se lo combina con mantenimientos de tipo Correctivo cada dos años, cuya finalidad será reducir el ritmo de deterioro del estado del pavimento.

**5.3.3. Resultados de costos para los diferentes tipos de Mantenimientos (PaLATE).**

El resultado obtenido para la primera alternativa, que consiste en la aplicación de un Mantenimiento de Rehabilitación combinado con un Mantenimiento Preventivo, es el siguiente:

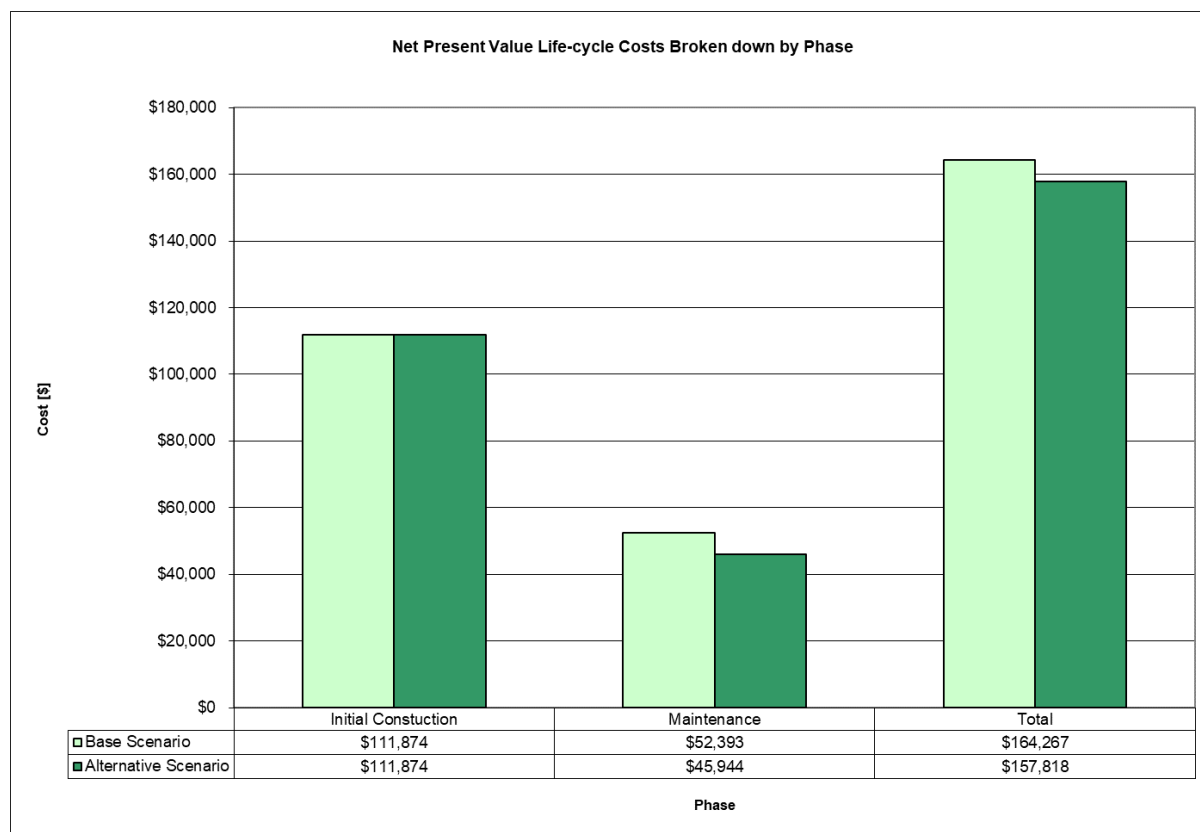


Figura 67. Costos de intervención de la primera alternativa (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).

Para esta primera alternativa de intervención se puede observar cómo serían los costos de aplicar un mantenimiento de Rehabilitación combinado con mantenimientos Preventivos. Es posible observar que el costo inicial de construcción es de alrededor de \$111 mil dólares, el de mantenimiento, alrededor de \$52 mil dólares, obteniéndose un costo final de \$164 mil dólares aproximadamente.

El resultado obtenido para la segunda alternativa, que consiste en la aplicación de un Mantenimiento de Recapeo combinado con un Mantenimiento Correctivo, es el siguiente:



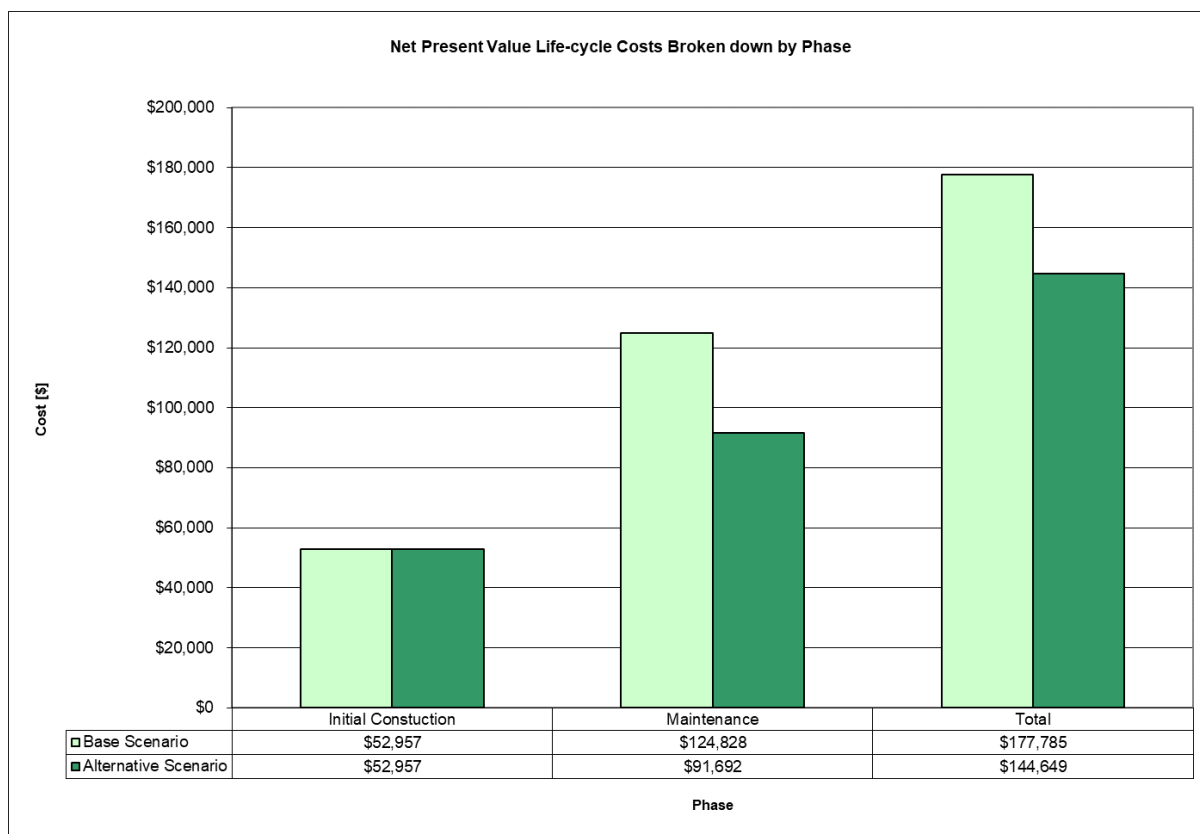


Figura 68. Costos de intervención de la segunda alternativa (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).

Para la segunda alternativa de intervención es evidenciable que los costos de aplicar un mantenimiento de Recapeo combinado con mantenimientos Correctivos, ocasionan que el costo inicial de construcción sea de cerca de \$53 mil dólares, el de mantenimiento, alrededor de \$124 mil dólares, obteniéndose un costo final de \$178 mil dólares aproximadamente.

Una vez aplicados los tipos de intervención, se pueden resumir sus resultados de costos según el tipo de mantenimiento aplicado, con su costo inicial de intervención en el año 2023 y su costo final proyectado a 20 años en el 2043.

Tabla 51. Resultados de costos de las alternativas aplicadas.

Intervención	Costo inicial (\$)	Tratamiento complementario	Costo (\$)
<b>Mantenimiento de Rehabilitación</b>	\$ 111,874.00	<b>Mantenimiento Preventivo</b>	\$ 2,757.53 (anual)
<b>Mantenimiento de Recapeo</b>	\$ 52,957.00	<b>Mantenimiento Correctivo</b>	\$ 8,321.87 (c/2 años)

El mantenimiento de Rehabilitación, al ser un mantenimiento más fuerte, tendrá un costo inicial de intervención mayor, pero cuyas intervenciones de mantenimiento rutinario serán menos costosas que las del mantenimiento de Recapeo por ser menos invasivo, pudiendo provocar que el costo final resulte menor y ayudando a que la evolución del deterioro sea más controlada.

Finalmente, se puede proceder a comprobar la evolución de los costos de cada intervención a lo largo del tiempo de estudio, para evidenciar con certeza cuál de ellos resulta menos costoso, y por ende, más conveniente para su aplicación.

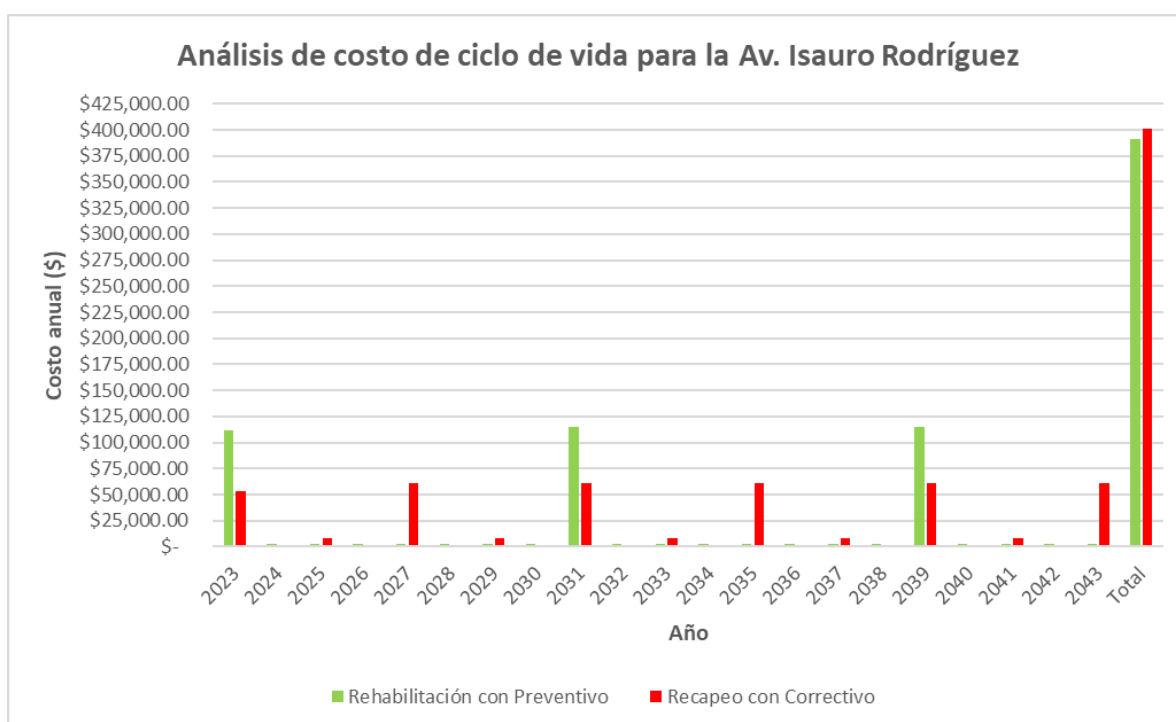


Figura 69. Costo anual de intervención y costo total de cada alternativa para la Av. Isauro Rodríguez.

De esta manera se puede observar que el costo de realizar la alternativa de Rehabilitación + Preventivo, al final del periodo de análisis, resulta menor que el de aplicar un Recapeo + Correctivo, debido a que el costo inicial de intervención de aplicar un mantenimiento más fuerte es mayor en su etapa de intervención inicial, pero es más económica su mantención a lo largo del tiempo, por ello, el costo final de éste, resulta más conveniente.

### 5.3.4. Resultados medioambientales para los diferentes tipos de Mantenimientos (PaLATE).

Es importante tener consciencia de que las intervenciones en obras civiles resultan en impactos medioambientales de los que hay que tener consideración, puesto que, al intervenir

vías, según el tipo de intervención que se realice, se producen escombros y desechos que aportan a ciertos tipos de contaminantes. Por ello, es lógico pensar que al aplicar intervenciones que sean menos fuertes o invasivas, producirán menos desechos y emisiones contaminantes que implica obtener una alternativa más amigable con el medioambiente.

A continuación, se puede observar el consumo de energía utilizado para poder llevar a cabo cada una de las alternativas de intervención.

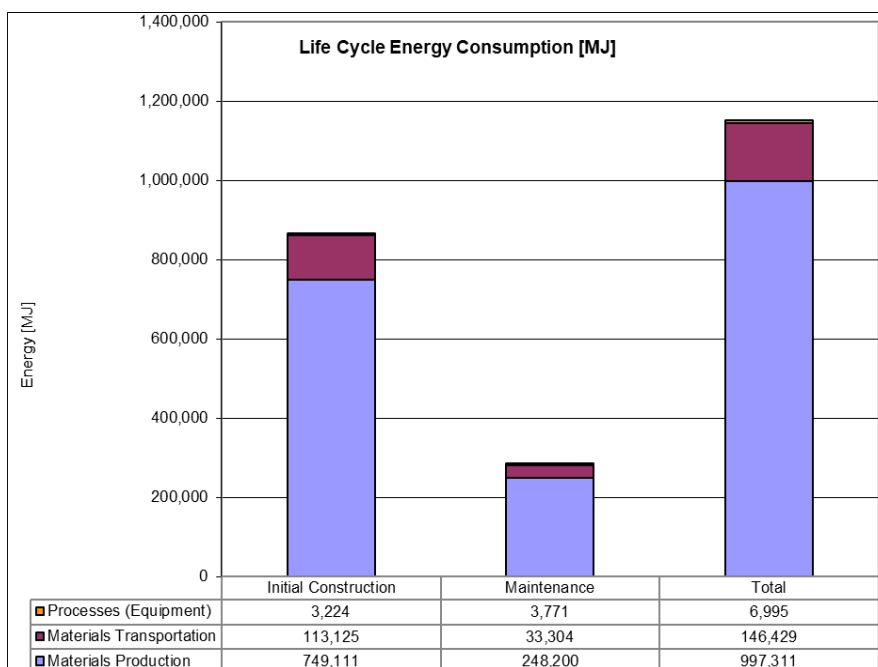


Figura 70. Primera Alternativa - Consumo de Energía (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).

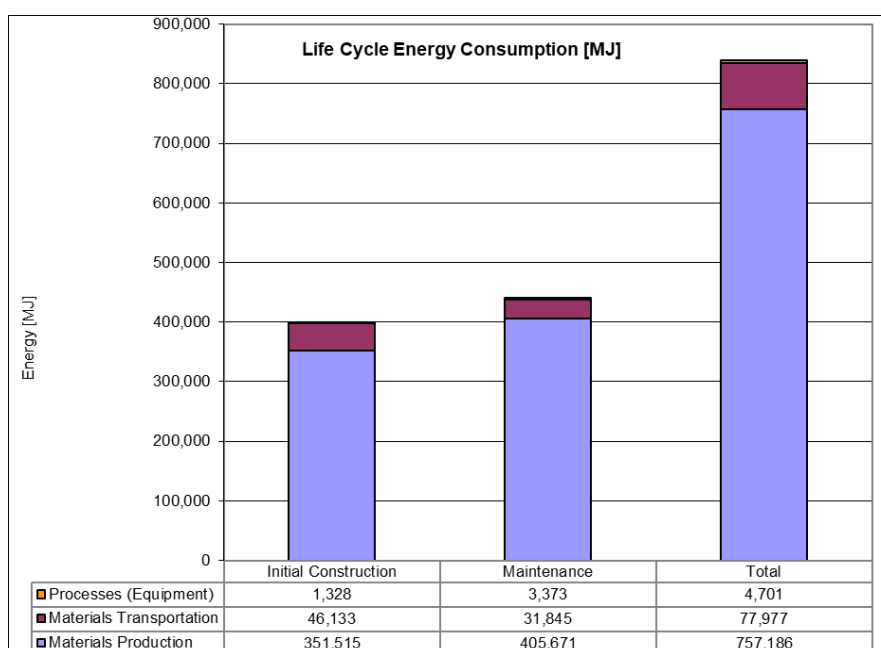


Figura 71. Segunda Alternativa - Consumo de Energía (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).

La primera alternativa consume 310,871 MJ más que la segunda alternativa. Esto representa un exceso de consumo del 37%.

También se analizan las emisiones de CO2 que produce cada una de las alternativas.

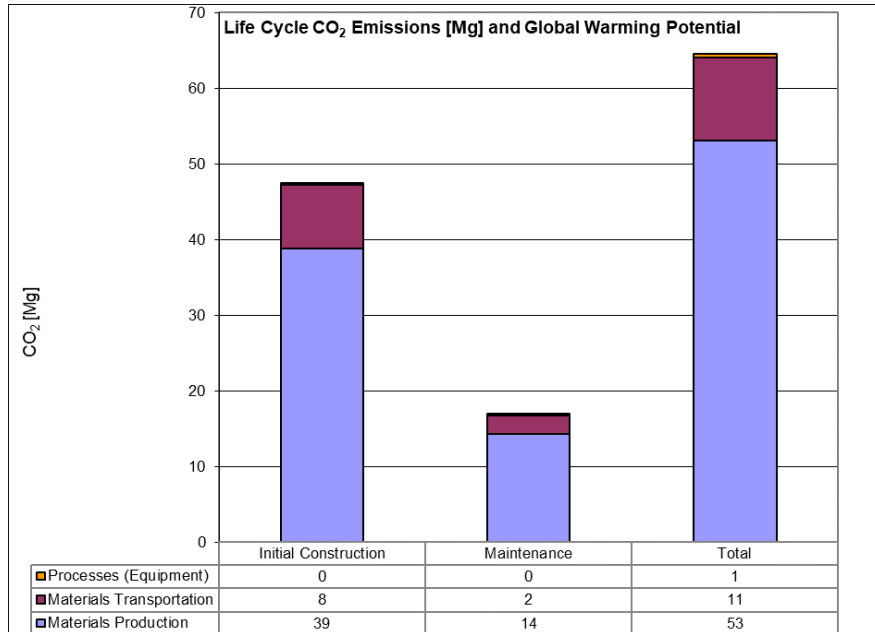


Figura 72. Primera Alternativa - Emisiones de CO2 (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).

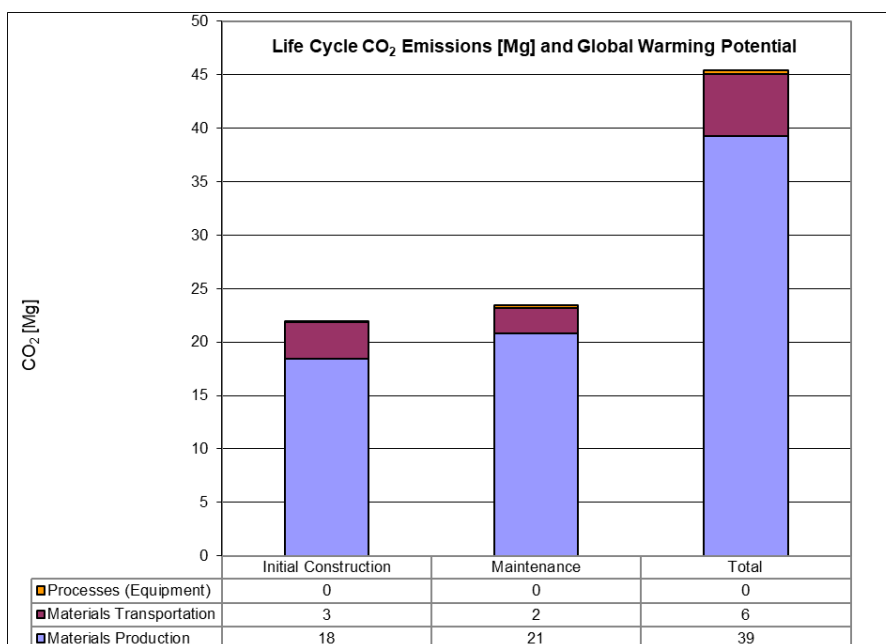


Figura 73. Segunda Alternativa - Emisiones de CO2 (Recycled Materials Resource Center (RMRC), 2021).

La primera alternativa produce un 44% más de emisiones de CO2 que la segunda alternativa.

Resumiendo, los resultados del software, se puede decir que el intervenir una vía con una alternativa combinada de Rehabilitación y mantenimiento Preventivo, resulta menos conveniente para el bienestar del medioambiente y por ende más perjudicial para la salud humana a diferencia de una alternativa combinada entre un Recapeo y un mantenimiento Correctivo. Todo esto debido a que la primera alternativa presenta mayores cantidades de contaminantes como son las emisiones del CO<sub>2</sub> y un mayor consumo de energía para realizar sus operaciones de intervención con respecto a la segunda alternativa. Además de todo ello, para esta vía analizada, la Av. Isauro Rodríguez, se tiene que el costo de inversión de la primera alternativa es más económico que el de la segunda alternativa.

Tabla 52. Contraste de resultados de las dos alternativas de intervención aplicadas al pavimento de la Av. Isauro Rodríguez.

Parámetros	Primera alternativa	Segunda alternativa
<b>Inversión Inicial (\$) - 2023</b>	\$ 111,874.00	\$ 52,957.00
<b>Inversión de mantenimiento (\$)</b>	2,757.53 (anualmente)	8,321.87 (c/2años)
<b>Costo Final (\$) - 2043</b>	\$ 390,772.60	\$ 400,960.70
<b>Consumo de energía (MJ)</b>	1,150,735.00	839,864.00
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (Mg)</b>	65	45
<b>INVEST - Sostenibilidad</b>	48 (Fuera de rango)	75 (Bronce)

Una vez realizado este análisis se puede decir que la primera alternativa es más económica, sin embargo, la segunda alternativa no difiere en gran medida en su inversión final total, pero esta segunda alternativa es mucho más amigable con el medio ambiente y a su vez representa una mejor sostenibilidad en el tiempo. Es decir, es más amigable con el bienestar del usuario. Por ello, se puede deducir que ésta sería la mejor opción para intervenir el pavimento.

## Capítulo 6. Conclusiones Y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

- Se desarrolló un programa automatizado de Sistema de gestión de Infraestructura Vial mediante el uso de la plataforma de programación MATLAB Online para el cantón Santa Isabel. Se implementó matrices de transición de Markov, criterios de sostenibilidad y una herramienta de toma de decisiones que ayudan a determinar alternativas de intervención que permiten mejorar la condición funcional de las vías del cantón.
- Se desarrollaron propuestas de intervención a través de matrices de transición de Markov basadas en las matrices del ICT para predecir la evolución de la condición funcional de las vías. Las matrices de intervención son: Sin Intervención, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, Recapeo, Rehabilitación y Reconstrucción.

La Alternativa Combinada 1 para el pavimento asfáltico a lo largo del periodo de proyección de 20 años tiene un costo total alrededor de \$11 millones y medio con los siguientes resultados:

- Excelente: pasa de tener 0% a 70.66%.
- Bueno se pasa de tener 0% a 19.74%.
- Regular se pasa de tener 33.05% a 5.99%.
- Pobre se pasa de tener 63.98% a 2.20%.
- Fallado se pasa de tener 2.97% a 1.42%

La Alternativa Combinada 1 para el pavimento adoquinado a lo largo del periodo de proyección de 20 años tiene un costo total alrededor de \$935 mil con los siguientes resultados:

- Excelente: pasa de tener 0% a 70.94%
- Bueno se pasa de tener 0% a 19.79%
- Regular se pasa de tener 5.95% a 5.79%.
- Pobre se pasa de tener 85.41% a 2.14%.
- Fallado se pasa de tener 8.64% a 1.35%

Estos resultados evidencian que las matrices de transición fueron ejecutadas correctamente en ambos tipos de pavimentos, ya que en las condiciones de mejor

estado (Excelente y Bueno) aumentan su porcentaje y las condiciones de peor estado (Regular, Pobre y Fallado) disminuyen su porcentaje.

- Se realizó un inventario de los tipos de deterioros, severidad y geometría de la red vial, donde se obtuvo lo siguiente:

- ❖ Pavimento Asfáltico (4.46 km) con los siguientes tipos de deterioro:

- Grieta de Borde
- Agrietamiento por bloque
- Grietas transversales
- Grietas longitudinales
- Piel de cocodrilo
- Parcheo
- Hundimiento
- Hinchamientos
- Baches
- Peladuras
- Pulimento de superficie
- Desprendimiento de agregados
- Exudación de asfalto
- Ahuellamientos

- ❖ Pavimento Adoquinado (1.12 km) con los siguientes tipos de deterioro:

- Abultamiento
- Ahuellamiento
- Depresiones
- Desgaste
- Pérdida de arena
- Desplazamiento de borde
- Desplazamiento de junta
- Fracturamiento
- Fracturamiento de confinamiento exterior
- Fracturamiento de confinamiento interior
- Escalonamiento entre adoquines
- Escalonamiento y Confinamiento
- Juntas abiertas
- Vegetación

- ❖ Vías sin pavimentar (2.58 km) en las siguientes condiciones:

- Buenas
- Aceptables
- Malas

Con el inventario de deterioros se obtuvo la base de datos para pavimento asfáltico, donde 11 tramos requieren Recapeo, 10 tramos requieren Rehabilitación y 3 tramos requieren Reconstrucción. Para pavimento adoquinado, 1 tramo requiere mantenimiento de Recapeo, 13 tramos requieren Rehabilitación y 1 tramo requiere Reconstrucción.

- La red vial fue evaluada con la aplicación de la metodología Windshield Survey y validada con el método PCI. Se obtuvo un factor de ajuste de 0.97 (97%), indicando un nivel de confianza mayor al admisible (0.95->95%). Mediante esta validación y el uso de las matrices de Markov se obtuvo que la mejor alternativa de intervención es la Alternativa Combinada 1 que consiste en aplicar Mantenimiento Preventivo a los pavimentos en estado Excelente, Mantenimiento Correctivo a los Buenos, Recapeo a los Regulares, Rehabilitación a los Pobres y Reconstrucción a los Fallados. (Los tratamientos de cada mantenimiento se encuentran indicadas en la **Tabla 19**).
- Al realizar el LCA y LCCA de la Av. Isauro Rodríguez durante un periodo de 20 años con una alternativa combinada de Rehabilitación cada 8 años + M. Preventivo anualmente, y con una de Recapeo cada 4 años + M. Correctivo cada 2 años. La primera arroja un costo de intervención inicial de alrededor de \$112 mil dólares para la primera y \$52 mil dólares para la segunda, sin embargo, el costo del mantenimiento complementario para la primera alternativa es de un M. Preventivo de cerca de \$2,800.00 anualmente y para la segunda un M. Correctivo de alrededor de \$8,320.00 cada dos años, lo que termina generando un costo final de alrededor de \$390 mil para la primera alternativa y de \$400 mil para la segunda.

En cuanto al impacto ambiental producido por la primera alternativa se obtiene un consumo de energía de 1,150,735.00 MJ, representando un 37% más que la segunda alternativa. De igual forma, presenta un 44% más de emisiones de carbono (65 Mg de CO<sub>2</sub>) que la segunda alternativa (45 Mg de CO<sub>2</sub>). Por lo tanto, la calificación del INVEST le otorga una insignia de bronce a la segunda alternativa, a diferencia de la primera alternativa, que no logra entrar en el rango de calificación.

## 6.2. Recomendaciones

- Para el uso del programa en cualquier agencia o entidad se debe tener en cuenta todos los pasos mencionados en el **Capítulo 4.**
- Se recomienda que los valores iniciales de las matrices de transición de Markov sean modificadas en función de los resultados de las evaluaciones de años posteriores, ya que los que están ingresados como predeterminados son los valores en caso de que no exista un registro anterior de las condiciones de los pavimentos.



- En el “Análisis de Intervención” tener en cuenta que las intervenciones sugeridas en los “Resultados de Mantenimiento” son una guía para proceder a elegir una alternativa combinada de intervenciones que determinen la opción más recomendable a aplicar en términos de sostenibilidad y presupuesto disponible.
- En la Configuración de Costos se recomienda colocar los costos actuales dependiendo de la zona a estudiar y del año que se esté realizando la evaluación mediante el programa, ya que los costos indicados son limitados al Cantón Santa Isabel. Sin embargo, son modificables para cualquier condición que la entidad o persona requiera. Por otro lado, los valores calculados en este trabajo son generados para tener una percepción aproximada de la evolución de los costos de las intervenciones sugeridas, ya que el área a intervenir no es la exacta.
- Para mantener un nivel de servicio eficiente y funcional de las carreteras se recomienda a los GADs y/o municipalidades tener un registro año a año de los mantenimientos e intervenciones que se realizan a las diferentes familias de pavimentos de la zona.
- Como una evaluación cualitativa, la metodología empleada en el campo puede ser muy efectiva y no debe sobrepasar los 300 m de longitud, excepto que tengan cierta uniformidad en su deterioro, llegando hasta los 500 m. Sin embargo, si se necesita una magnitud real de las fallas del pavimento, se recomienda utilizar el índice PCI. Recalcando que los costos de inspección aumentarán debido a la necesidad de equipos especializados, lo que resultará en un proyecto más costoso.
- Para la inspección y/o registro de la base de datos se recomienda establecer horarios donde el tráfico sea bajo para no tener inconvenientes con los habitantes del sector. Además, tener equipo de seguridad e identificaciones que permitan la libre movilización sobre la zona.
- El presupuesto limita las opciones ideales de conservación, por lo que se recomienda realizar intervenciones por fases, invirtiendo el presupuesto en bacheo, para lograr un cierto porcentaje adicional de secciones en estado BUENO, según el ejercicio de priorización mediante las matrices de transición de Markov.

### Referencias

- Álvarez, I. P. (2016). Tesis Maestría de Ingeniería Civil-Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Pgs. 4-10.
- Amado-Sopó, C. D. & Gil-Rincón, O. O. (2017). Análisis del costo en el ciclo de vida para dos alternativas de pavimento. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Especialización en Ingeniería de Pavimentos. Bogotá, Colombia.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1990). Guidelines for Pavement Management Systems, Washington, D.C.
- ASTM D6433, American Society for Testing and Materials. (2004). «Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos.» Estados Unidos, 2004.
- ASTM, American Society for Testing and Materials. (2005). D 5340-98 Índice De Condicion De Pavimentos En Aeropuertos y Evaluación De Pavimentos De Concreto, issued 2005. [http://alacpa.org/index\\_archivos/ASTMD5340-MetCalc-PCI-espRev0.pdf](http://alacpa.org/index_archivos/ASTMD5340-MetCalc-PCI-espRev0.pdf).
- ASTM, American Society for Testing and Materials. (2008). D6433-07-Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, issued 2008. doi:10.1520/C0305-06.2.
- ASTM, American Society for Testing and Materials. (2011). D6433-11-Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM International, issued 2011. doi:10.1520/D6433-11.2.
- Ávila Redrovan, E., & Albarracín Llivisaca, F. (2014). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso, caso de estudio vía Chicti-Sevilla de Oro (Bachelor's thesis).
- Bazant, J. (1983). Manual de criterios de diseño urbano. Editorial Trillas.
- Becerra, A. Sánchez, P. (2018). EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO DEL SECTOR EL VALLE Y SU MARCO SOSTENIBLE. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

- CAF. (2010). Mantenimiento vial. Informe sectorial (Serie informes sectoriales. Infraestructura). Caracas: CAF. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/402>
- Cárdenas Robles, J. N. (2012). Estudio comparativo de metodologías de relevamiento de fallas en caminos no pavimentados. Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/426>
- Cedillo, L. Pauta, W. (2023). Diseño de un sistema de gestión de infraestructura vial para el oeste del centro urbano de Santa Isabel. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Departamento de Administración y Evaluación de Pavimentos. (2016). Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación. Pgs. 13-150.
- Federal Highway Administration – FHWA (1991). *“An Advanced Course in Pavement Management Systems”*, Washington, D.C
- Federal Highway Administration. (16 de Noviembre de 2022). *Federal Highway Administration*. Obtenido de U. S. Department of transportation: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/lcca/lccafact/>
- Focus - INVEST in the Future with the Sustainable Highways Self-Evaluation Tool - FHWA-HRT-13-010 - January/February | Federal Highway Administration. (s. f.). Disponible en: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/13jan/13jan02.cfm>
- García, A. (2012). Concepto de Pavimento. ARQHYS. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>.
- Gómez, D. (2019). Desarrollo de un sistema de gestión de infraestructura vial de la ruta Miraflores - Sinincay - Racar. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2019.
- Gonzalo, J., Marín, R., Darío, I., & Arias, M. (2014). SOBRE LA CIUDAD DE BOGOTÁ PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CITY OF BOGOTA.
- Haas, R., Hudson, W., & Uddin, W. (2013). *Public Infrastructure Asset Management* (Vol. II). California: McGraw-Hill Education.
- Higuera Sandoval, C. H., & Pacheco Merchán, Ó. F. (2010). Patología de pavimentos articulados. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 9(17), 75–94.

Kohan, D. (2014). Cadenas de Markov. Revista Métodos Estadísticos En Ciencias de La Vida, 1-8.

Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc. (2002). *Pavement Condition Index (PCI)* para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2002.

NCDOT. (2011). *Digital Imagery Distress*. Evaluacion Handbook. North Carolina: North Carolina Department of Transportation.

PALATE | Recycled Materials Resource Center. (s. f.). Disponible en: <https://rmrc.wisc.edu/palate/>

PDOT de Santa Isabel. (2020). PDOT de Santa Isabel. Santa Isabel: Municipalidad de Santa Isabel.

Peñaloza, S., Calle, G. (2017). Sistema de gestión sostenible de pavimentos aplicado a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2017.

Pereda, C. V. (2014). Índice de condición de pavimento de la carretera Cajamarca-La Colpa. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/498>

Sabadell, N. (2011). Hacia un plan de infraestructuras de transporte. Pgs. 4-28.

Servicio Nacional de Contratación Pública (Sercop). (2008-2023). *Compras Públicas*. Ecuador.

Shahin, Mohamed Y. (1994). *Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots*. Segunda Ed. New York: Chapman & Hall.

Sierra Diaz, Cristian Camilo, and Andres Felipe Rivas Quintero. 2016. “Aplicación y comparación de las diferentes metodologías de diagnóstico para la conservación y mantenimiento del tramo pr 00+000 – pr 01+020 de la vía al llano (dg 78 bis sur – calle 84 sur) en la upz yomasa cristian.” Universidad Católica de Colombia. <http://repository.ucatolica.edu.co:8080/jspui/bitstream/10983/13987/4/TRABAJODE GRADO VIZIR Y PCI 2016 .pdf>.

Sphera Solutions. (2022). ¿Qué es la evaluación del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés)? Sphera. <https://sphera.com/glosario-es/que-es-la-evaluacion-del-ciclo-de-vida-lca-por-sus-siglas-en-ingles/?lang=es>

Talmage, H., Mogrovejo, D., & Zhang, G. (2011). *VT Parking Lot PMS*. Virginia.

Vásquez, L. (2002). *MANUAL DE DAÑOS EN VÍAS CON SUPERFICIE DE CONCRETO*. Colombia.

VDOT. (2006). *Interstate and Primary Flexible Pavements*. Virginia, US: Virginia Department Of Transportation.

Wolters, A., Zimmerman, K., Schattler, K., & Rietgraf, A. (2011). *IMPLEMENTING PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS FOR LOCAL AGENCIES*. Illinois.

Yesquén, I. (2016). *Gestión y conservación de pavimentos flexibles a través del índice de desempeño PCI en el entorno del distrito de Surquillo-Lima*. Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú, 2016.

Zúñiga García, N., & Prozzi, J. (2018). ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA DE TÉCNICAS DE PRESERVACIÓN DE PAVIMENTOS. *Revista Asfalto y Pavimentación VIII (30)*, 23-31. Principio del formulario.

## Anexos

## Anexo A

En este anexo se presenta el proceso seguido para la determinación del PCI de todos los tramos analizados para validación en pavimento flexible.

Tabla 53. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 2\_1A--3A.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			PARCIAL	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
1	L	m2	3.35	0.74	1	2.48	2.80
1	L	m2	1.32	0.24	1	0.32	
1	M	m2	1.50	0.75	1	1.13	4.88
1	M	m2	1.37	0.83	1	1.14	
1	M	m2	1.45	1.15	1	1.67	
1	M	m2	1.12	0.85	1	0.95	
4	M	m2	0.60	0.52	1	0.31	0.98
4	M	m2	0.80	0.83	1	0.66	
10	L	m	1.10		1	1.10	4.62
10	L	m	0.83		1	0.83	
10	L	m	2.69		1	2.69	
10	M	m	6.60		1	6.60	12.80
10	M	m		2.32	1	2.32	
10	M	m		3.88	1	3.88	
11	L	m2	0.94	1.00	1	0.94	0.94
11	M	m2	2.80	2.50	1	7.00	7.00

Tabla 54. Valores deducidos para el tramo 2\_1A--3A.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	L	m2	2.80	1.9%	15
1	M	m2	4.88	3.3%	32
4	M	m2	0.98	0.7%	20
10	L	m	4.62	3.1%	8
10	M	m	12.80	8.7%	28
11	L	m2	0.94	0.6%	1
11	M	m2	7.00	4.7%	21

Tabla 55. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 2\_1A--3A.

<b>Número de valores deducidos mayor a 2 (q)</b>	6
<b>Valor deducido más alto</b>	32
<b>número máximo de DV (Fallas permitidas) (m)</b>	7.24

Tabla 56. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 2\_1A--3A.

N°	VALORES DEDUCIDOS						TDV	q
1	32	28	20	21	15	8.0	124.0	6
2	32	28	20	21	15	2	118.0	5
3	32	28	20	21	2	2	105.0	4
4	32	28	20	2	2	2	86.0	3
5	32	28	2	2	2	2	68.0	2
6	32	2	2	2	2	2	42.0	1

Tabla 57. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 2\_1A--3A.

<b>MÁXIMO CDV</b>	62
<b>ÍNDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO PCI</b>	38
<b>CONDICIÓN</b>	POBRE

Tabla 58. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 3A--5A.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			PARCIAL	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
1	L	m2	2.35	1.80	1	4.23	8.87
1	L	m2	5.36	0.63	1	3.38	
1	L	m2	1.69	0.75	1	1.27	
1	M	m2	6.70	0.50	1	3.35	11.09
1	M	m2	2.74	1.50	1	4.11	
1	M	m2	2.60	0.80	1	2.08	
1	M	m2	1.15	1.35	1	1.55	
1	M	m2	0.90	0.55	1	0.50	
7	M	m	10.60		1	10.60	10.60
7	H	m	7.50		1	7.50	7.50
10	L	m	7.00		1	7.00	10.25
10	L	m	3.25		1	3.25	
11	L	m2	1.13	3.18	1	3.59	36.14
11	L	m2	7.80	2.51	1	19.58	
11	L	m2	1.60	2.56	1	4.10	
11	L	m2	1.70	1.60	1	2.72	
11	L	m2	2.10	1.70	1	3.57	
11	L	m2	1.15	0.68	1	0.78	
11	L	m2	1.00	1.80	1	1.80	
13	L	unidad			1	1.00	2.00
13	L	unidad			1	1.00	
13	M	unidad			1	1.00	1.00



Tabla 59. Valores deducidos para el tramo 3A--5A.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	L	m2	8.87	1.0%	10
1	M	m2	11.09	1.3%	21
7	M	m	10.60	1.2%	8
7	H	m	7.50	0.9%	12
10	L	m	10.25	1.2%	2
11	L	m2	36.14	4.2%	9
13	L	unidad	2.00	0.2%	30
13	M	unidad	1.00	0.1%	33

Tabla 60. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 3A--5A.

<b>Número de valores deducidos mayor a 2 (q)</b>	7
<b>Valor deducido más alto</b>	33
<b>número máximo de DV (Fallas permitidas) (m)</b>	7.15

Tabla 61. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 3A--5A.

N°	VALORES DEDUCIDOS							TDV	q	CDV
1	33	30	21	12	10	9	8	124.0	7	61
2	33	30	21	12	10	9	2	119.0	6	58
3	33	30	21	12	10	2	2	113.0	5	59
4	33	30	21	12	2	2	2	106.0	4	55
5	33	30	21	2	2	2	2	97.0	3	62
6	33	30	2	2	2	2	2	79.0	2	57
7	33	2	2	2	2	2	2	52.0	1	52

Tabla 62. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 3A--5A.

<b>MÁXIMO CDV</b>	62
<b>ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI</b>	38
<b>CONDICIÓN</b>	POBRE

Tabla 63. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 5B--5C.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			PARCIAL	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
7	M	m	3.50		1	3.50	3.50
7	H	m	3.66		1	3.66	3.66
11	L	m <sup>2</sup>	1.70	0.84	1	1.43	3.44
11	L	m <sup>2</sup>	2.01	1.00	1	2.01	
12		m <sup>2</sup>	70.00	4.80	1	336.00	336.00

Tabla 64. Valores deducidos para el tramo 5B--5C.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
7	M	m	3.50	0.9%	9
7	H	m	3.66	0.9%	15
11	L	m <sup>2</sup>	3.44	0.8%	2
12		m	336.00	82.1%	19

Tabla 65. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 5B--5C.

Número de valores deducidos mayor a 2 (q)	3
Valor deducido más alto	19
número máximo de DV (Fallas permitidas) (m)	8.44

Tabla 66. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 5B--5C.

N°	VALORES DEDUCIDOS				TDV	q	CDV
1	19	15	9	2	46.0	3	28
2	19	15	2	2	40.0	2	30
3	19	2	2	2	28.0	1	28

Tabla 67. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 5B--5C.

MÁXIMO CDV	30
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI	70
CONDICIÓN	MUY BUENO

Tabla 68. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 5C--5C2.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			PARCIAL	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
1	L	m2	0.70	1.80	1	1.26	3.47
1	L	m2	0.66	1.50	1	0.99	
1	L	m2	2.70	0.45	1	1.22	
10	M	m	2.60		1	2.60	2.60
11	L	m2	7.15	2.05	1	14.66	14.66

Tabla 69. Valores deducidos para el tramo 5C--5C2.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	L	m2	3.47	1.1%	11
10	M	m	2.60	0.8%	8
11	L	m2	14.66	4.6%	10

Tabla 70. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 5C--5C2.

Número de valores deducidos mayor a 2 (q)	3
Valor deducido más alto	11
número máximo de DV (Fallas permitidas) (m)	9.17

Tabla 71. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 5C--5C2.

N°	VALORES DEDUCIDOS			TDV	q	CDV
1	11	10	8	30.0	3	17
2	11	10	2	25.0	2	18
3	11	2	2	18.0	1	18

Tabla 72. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 5C--5C2.

MÁXIMO CDV	18
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI	82
CONDICIÓN	MUY BUENO

Tabla 73. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 5D--5C2.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			PARCIAL	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
7	L	m	4.3		1	4.30	4.30
7	M	m	0.8		1	0.80	0.80
12	L	m <sup>2</sup>	56.3	3.5	1	197.05	197.05
19	L	m <sup>2</sup>	9.7	2.46	1	23.86	23.86

Tabla 74. Valores deducidos para el tramo 5D--5C2.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
7	L	m	4.30	1.0%	3
7	M	m	0.80	0.2%	5
12	L	m <sup>2</sup>	197.05	45.0%	11
19	L	m <sup>2</sup>	23.86	5.4%	3

Tabla 75. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 5D--5C2.

Número de valores deducidos mayor a 2 (q)	4
Valor deducido más alto	11
número máximo de DV (Fallas permitidas) (m)	9.17

Tabla 76. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 5D--5C2.

N°	VALORES DEDUCIDOS				TDV	q	CDV
1	11	5	3	0.52	19.52	4	8
2	11	5	3	0.52	19.52	3	10
3	11	5	2	0.52	18.52	2	14
4	11	2	2	0.52	15.52	1	20

Tabla 77. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 5D--5C2.

MÁXIMO CDV	20
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI	80
CONDICIÓN	MUY BUENO

Tabla 78. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 3D--3\_1D.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			PARCIAL	TOTAL	
			longitud (m)	ancho (m)	unidad			
1	L	m2	2.95	0.90	1	2.66	2.7	
1	M	m2	2.00	0.85	1	1.70	1.7	
3	M	m2	5.90	2.31	1	13.63	33.4	
3	M	m2	8.39	2.36	1	19.80		
3	H	m2	10.40	1.60	1	16.64	16.6	
8	H	m2	4.20		1	4.20	4.2	
10	L	m	1.41		2	2.82	16.6	
10	L	m		2.00	2	4.00		
10	L	m		1.20	1	1.20		
10	L	m	2.50		1	2.50		
10	L	m	1.00		1	1.00		
10	L	m	1.23		1	1.23		
10	L	m	0.89		1	0.89		
10	L	m	3.00		1	3.00		
10	M	m	1.63		1	1.63		1.6
11	L	m2	8.70	3.30	1	28.71		28.7
11	M	m2	5.67	2.60	1	14.74	22.6	
11	M	m2	4.60	1.70	1	7.82		
19	L	m2	0.70	10.90	1	7.63	7.6	
19	M	m2	0.80	4.62	1	3.70	6.8	
19	M	m2	3.00	1.03	1	3.09		

Tabla 79. Valores deducidos para el tramo 3D--3\_1D.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	M	m2	2.66	0.5%	16
1	H	m2	1.70	0.3%	20
3	M	m2	33.43	6.2%	12
3	H	m	16.64	3.1%	18

8	H	m	4.2	0.8%	13
10	L	m2	16.64	3.1%	8
10	M	m2	1.63	0.3%	2
11	M	m2	28.71	5.3%	22
11	H	m2	22.56	4.2%	36
19	L	m2	7.63	1.4%	2
19	M	m2	6.79	1.3%	8

Tabla 80. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 3D--3\_1D.

<b>Número de valores deducidos mayor a 2 (q)</b>	9
<b>Valor deducido más alto</b>	36
<b>número máximo de DV (Fallas permitidas) (mi)</b>	6.88

Tabla 81. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 3D--3\_1D.

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	36	22	20	18	16	13	10.53	135.53	7	66
2	36	22	20	18	16	13	2	127	6	62
3	36	22	20	18	16	2	2	116	5	61
4	36	22	20	18	2	2	2	102	4	58
5	36	22	20	2	2	2	2	86	3	55
6	36	22	2	2	2	2	2	68	2	50
7	36	2	2	2	2	2	2	48	1	48

Tabla 82. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 3D--3\_1D.

<b>MÁXIMO VDC</b>	66
<b>ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI</b>	34
<b>CONDICIÓN</b>	POBRE

Tabla 83. Hoja detallada del inventario de fallas para el tramo 3\_1D--5D.

FALLA	SEVERIDAD	UNIDAD	ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			PARCIAL	TOTAL
			longitud (m)	ancho (m)	unidad		
1	M	m2	3.70	0.70	1	2.59	3.65
1	M	m2	1.60	0.33	2	1.06	
1	H	m2	1.00	2.80	1	2.80	2.80
3	M	m2	6.15	2.31	1	14.21	14.21
4	L	m2	1.60	0.51	1	0.82	0.82
4	M	m2	1.30	1.00	1	1.30	1.30
8	H	m2	4.20		1	4.20	4.20
10	L	m		1.40	1	1.40	13.49
10	L	m		1.07	2	2.14	
10	L	m		1.00	3	3.00	
10	L	m		1.75	2	3.50	
10	L	m		1.15	3	3.45	
10	M	m	1.61		1	1.61	15.61
10	M	m		2.50	1	2.5	
10	M	m	2.70		1	2.7	
10	M	m		1.30	3	3.9	
10	M	m	2.15		1	2.15	
10	M	m	2.75		1	2.75	
10	H	m	1.90		1	1.9	1.90
11	L	m2	1.20	10.45	1	12.54	12.54
11	M	m2	5.80	0.38	2	4.408	4.41
13	M	UNIDAD			1	1.00	1.00
19	L	m2	38.00	2.50	1	95	95.00

Tabla 84. Valores deducidos para el tramo 3\_1D--5D.

DAÑO	SEVERIDAD	UNIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	M	m2	3.65	1.2%	22

1	H	m2	2.80	0.9%	30
3	M	m2	14.21	4.5%	10
4	L	m2	0.82	0.3%	4
4	M	m2	1.3	0.4%	18
8	H	m2	4.20	1.3%	18
10	L	m	13.49	4.3%	10
10	M	m	15.61	5.0%	22
10	H	m	1.90	0.6%	13
11	L	m2	12.54	4.0%	9
11	M	m2	4.41	1.4%	11
13	M	unidad	1.00	0.3%	58
19	L	m2	95.00	30.4%	10

Tabla 85. Número máximo admisible de valores deducidos para el tramo 3\_1D--5D.

<b>Número de valores deducidos mayor a 2 (q)</b>	13
<b>Valor deducido más alto</b>	58
<b>número máximo de VD (Fallas permitidas) (mi)</b>	4.86

Tabla 86. Determinación del CDV para el método PCI del tramo 3\_1D--5D.

N°	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	58	30	22	18	11.14	139.14	5	71
2	58	30	22	18	2	130.00	4	74
3	58	30	22	2	2	114.00	3	71
4	58	30	2	2	2	94.00	2	67
5	58	2	2	2	2	66.00	1	66

Tabla 87. Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el tramo 3\_1D--5D.

<b>MÁXIMO VDC</b>	74
<b>ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI</b>	26
<b>CONDICIÓN</b>	POBRE



## Anexo B

En este anexo se encuentra el proceso de cálculo de los ICF de los tramos comparados obtenidos a través del método de Higuera y Pacheco.

Tabla 88. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 5C--4C--3C.

Tramo: 24 DE MAYO 5C--4C--3C				%Aa por nivel de severidad			%Ae	%Área Equivalente Afectada (FA)					FA	IF*FA
Clase	Tipo de deterioro	Influencia (IF)	Peso (PI)	Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	abultamiento	48	1.2	0.00	0.38	0.00	4.86	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.49	23
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.60	0.00								
	Depresiones		1.0	0.73	2.28	0.00								
Desprendimientos	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.92	0.00	3.39	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.34	3
	Pérdida de arena		1.0	1.22	0.83	0.00								
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.35	0.00	0.00	0.87	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.09	1
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.52	0.00	0.00								
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.47	0.63	0.00	2.32	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.23	2
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.81	0.00								
	Escalonamientos													

<b>Otros deterioros</b>	entre adoquines	23	1.2	0.00	0.00	0.00	1.13	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.11	3
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.00	0.00	0.00								
	Juntas abiertas		1.0	0.00	0.58	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	0.42	0.00	0.00								
<b>ICF=</b>													<b>68</b>	
<b>CONDICIÓN</b>													<b>REGULAR</b>	

Tabla 89. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3C--3B1.

<b>Tramo: ABDÓN CALDERÓN 3C--3B1</b>				<b>%Aa por nivel de severidad</b>			<b>%Ae</b>	<b>%Área Equivalente Afectada (FA)</b>					<b>FA</b>	<b>IF*FA</b>
<b>Clase</b>	<b>Tipo de deterioro</b>	<b>Influencia (IF)</b>	<b>Peso (IP)</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>&gt;15</b>		
<b>Deformaciones</b>	abultamiento	48	1.2	0.00	0.86	0.00	4.30	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.43	21
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.64	0.24								
	Depresiones		1.0	0.00	0.83	0.54								
<b>Desprendimientos</b>	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.95	0.00	2.09	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.21	2
	Pérdida de arena		1.0	0.00	0.73	0.00								
<b>Desplazami</b>	Desplazamiento de borde		1.0	1.42	0.00	0.00								

<b>entos</b>	Desplazamiento de juntas	10	1.0	0.00	0.00	0.00	1.42	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.14	1
<b>Fracturamientos</b>	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.00	0
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.00	0.00								
<b>Otros deterioros</b>	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	0.00	0.00	0.00	2.50	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.25	6
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.00	0.00	0.00								
	Juntas abiertas		1.0	0.00	0.98	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	1.25	0.00	0.00								
													<b>ICF=</b>	<b>70</b>
													<b>CONDICIÓN</b>	<b>BUENO</b>

Tabla 90. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3B1--3A.

Tramo: ABDÓN CALDERÓN 3B1--3A				%Aa por nivel de severidad			%Ae	%Área Equivalente Afectada (FA)					FA	IF*FA
Clase	Tipo de deterioro	Influencia (IF)	Peso (IP)	Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	abultamiento	48	1.2	0.00	1.13	0.42	5.91	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.59	28
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.46	0.64								
	Depresiones		1.0	0.00	1.52	0.00								
Desprendimientos	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.43	0.00	0.94	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.09	1
	Pérdida de arena		1.0	0.00	0.32	0.00								
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.25	0.00	0.00	0.50	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.05	1
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.25	0.00	0.00								
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.00	0
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.00	0.00								
Otros deterioros	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	0.00	0.00	0.00	1.13	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.11	3
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.00	0.00	0.00								
	Juntas abiertas		1.0	0.00	0.67	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	0.33	0.00	0.00								

<b>ICF=</b>	<b>68</b>
<b>CONDICIÓN</b>	<b>REGULAR</b>

Tabla 91. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3C--2C.

Tramo: 24 DE MAYO 3C—2C				%Aa por nivel de severidad			%Ae	%Área Equivalente Afectada (FA)					FA	IF*FA
Clase	Tipo de deterioro	Influencia (IF)	Peso (IP)	Bajo	Medio	Alto		0	5	10	15	>15		
Deformaciones	abultamiento	48	1.2	0.00	1.36	0.00	6.45	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.53	25
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.00	1.15								
	Depresiones		1.0	0.00	0.00	1.87								
Desprendimientos	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.45	0.00	1.04	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.10	1
	Pérdida de arena		1.0	0.00	0.00	0.34								
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.00	0.65	0.00	1.18	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.12	1
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.00	0.00	0.36								
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.00	0
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.00	0.00								
	Escalonamientos entre adoquines		1.2	0.00	0.00	0.00								

<b>Otros deterioros</b>	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos	23	1.1	0.00	0.00	0.00	0.78	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.08	2
	Juntas abiertas		1.0	0.00	0.36	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	0.33	0.00	0.00								
													<b>ICF=</b>	<b>71</b>
													<b>CONDICIÓN</b>	<b>BUENO</b>

Tabla 92. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3B1--4B1.

<b>Tramo: SIMÓN BOLÍVAR 3B1--4B1</b>				<b>%Aa por nivel de severidad</b>			<b>%Ae</b>	<b>%Área Equivalente Afectada (FA)</b>					<b>FA</b>	<b>IF*FA</b>
<b>Clase</b>	<b>Tipo de deterioro</b>	<b>Influencia (IF)</b>	<b>Peso (IP)</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>&gt;15</b>		
<b>Deformaciones</b>	abultamiento	48	1.2	0.00	0.00	1.56	5.12	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.50	24
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.35	0.00								
	Depresiones		1.0	0.00	1.52	0.00								
<b>Desprendimientos</b>	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.00	0.43	1.69	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.17	2
	Pérdida de arena		1.0	0.00	0.89	0.00								
<b>Desplazamientos</b>	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.25	0.00	0.00	0.83	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.08	1
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.00	0.53	0.00								
	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.00	0.00	0.00								0
	Fracturamiento de													

<b>Fracturamientos</b>	confinamientos internos		1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.00	
<b>Otros deterioros</b>	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	0.00	0.00	0.00	1.15	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.12	3
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.20	0.00	0.00								
	Juntas abiertas		1.0	0.34	0.00	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	0.54	0.00	0.00								
<b>ICF=</b>													<b>71</b>	
<b>CONDICIÓN</b>													<b>BUENO</b>	

Tabla 93. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3B--2B.

<b>Tramo: TOMBAMBA 3B--2B</b>				<b>%Aa por nivel de severidad</b>			<b>%Ae</b>	<b>%Área Equivalente Afectada (FA)</b>					<b>FA</b>	<b>IF*FA</b>
<b>Clase</b>	<b>Tipo de deterioro</b>	<b>Influencia (IF)</b>	<b>Peso (IP)</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>&gt;15</b>		
<b>Deformaciones</b>	abultamiento	48	1.2	0.00	0.42	1.56	5.61	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.51	25
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.56	0.00								
	Depresiones		1.0	0.00	1.17	0.00								
<b>Desprendimientos</b>	Desgaste superficial	9	1.1	0.00	0.00	0.56	2.43	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.24	2
	Pérdida de arena		1.0	0.00	1.36	0.00								
<b>Desplazamientos</b>	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.00	0.34	0.00	0.84	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.08	1
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.45	0.00	0.00								

<b>Fracturamientos</b>	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.00	0
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.00	0.00								
<b>Otros deterioros</b>	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.00	0
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.00	0.00	0.00								
	Juntas abiertas		1.0	0.00	0.00	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	0.00	0.00	0.00								
													<b>ICF=</b>	<b>72</b>
													<b>CONDICIÓN</b>	<b>BUENO</b>

Tabla 94. Hoja detallada del inventario de daños por el método Higuera y Pacheco para el tramo 3C--3D.

<b>Tramo: ABDÓN CALDERÓN 3C--3D</b>				<b>%Aa por nivel de severidad</b>			<b>%Ae</b>	<b>%Área Equivalente Afectada (FA)</b>					<b>FA</b>	<b>IF*FA</b>
<b>Clase</b>	<b>Tipo de deterioro</b>	<b>Influencia (IF)</b>	<b>Peso (IP)</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>&gt;15</b>		
<b>Deformaciones</b>	abultamiento	48	1.2	0.00	0.00	2.69	9.22	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.58	28
	Ahuellamiento		1.2	0.00	0.00	1.64								
	Depresiones		1.0	0.00	1.52	0.00								
	Desgaste superficial		1.1	0.00	0.00	0.76								



<b>Desprendimientos</b>	Pérdida de arena	9	1.0	0.00	1.67	0.00	3.09	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.31	3
<b>Desplazamientos</b>	Desplazamiento de borde	10	1.0	0.00	2.80	0.00	4.07	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.41	4
	Desplazamiento de juntas		1.0	0.85	0.00	0.00								
<b>Fracturamientos</b>	Fracturamiento de confinamientos externos	10	1.2	1.25	0.00	0.00	1.90	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.19	2
	Fracturamiento de confinamientos internos		1.0	0.00	0.00	0.33								
<b>Otros deterioros</b>	Escalonamientos entre adoquines	23	1.2	0.00	1.30	0.00	4.83	0.0	0.5	0.6	0.76	1.0	0.48	11
	Escalonamientos entre adoquines y confinamientos		1.1	0.65	0.00	0.00								
	Juntas abiertas		1.0	0.00	0.97	0.00								
	Vegetación en la calzada		1.1	0.95	0.00	0.00								
													<b>ICF=</b>	<b>52</b>
													<b>CONDICIÓN</b>	<b>POBRE</b>

## Anexo C

En este anexo se evidencia el proceso y resultados de la obtención de los ICF por de los pavimentos flexibles y semirrígidos (adoquinados), para validación de resultados, a través del método Windshield.

### Windshield Flexibles

Tabla 95. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 2\_1A--3A.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ISAURO RODRÍGUEZ 2_1A--3A					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RA RA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	ocasional
	M		1.0				12		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILLO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	media	frecuente
	M		0.7				12		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	frecuente
	M		0.8				9		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	ocasional
	M		0.6				17		
	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.45	0.6	0.8	LDR	media	ocasional
	M		1.0				8		
	L		0.6						
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	frecuente
	M		1.0				15		
	L		0.6						
	H		1.5				NDR		

EXUDACIÓN DE ASFALTO	M	12.2	1.0	0.45	0.6	0.76	5	media	rara
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	ocasional
	M		0.8				14		
	L		0.5						
<b>LDR</b>							<b>41</b>		
<b>NDR</b>							<b>58</b>		
<b>ICF</b>							<b>41</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>MUY POBRE</b>		

Tabla 96. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3A--5B.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ISAURO RODRÍGUEZ 3A--5B					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	frecuente
	M		1.0				10		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	frecuente
	M		0.7				18		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	frecuente
	M		0.8				9		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	media	ocasional
	M		0.6				11		
	L		0.4						
PELADU	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR	media	frecuente
	M		1.0						

RAS	L		0.6				10		
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	ocasional
	M		1.0				12		
	L		0.6						
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		1.0				5		
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	media	ocasional
	M		0.8				9		
	L		0.5						
							LDR	43	
							NDR	63	
							ICF	43	
							CONDICIÓN	MUY POBRE	

Tabla 97. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5B--5C.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ISAURO RODRIGUEZ 5B--5C					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	ocasional
	M		1.0				8		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.7				4		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	ocasional
	M		0.8				7		
	L		0.5						

<b>BACHES</b>	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	rara
	M		0.6				12		
	L		0.4						
<b>PELADURAS</b>	H	12.5	1.5	0.45	0.6	0.8	LDR	media	rara
	M		1.0				6		
	L		0.6						
<b>DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS</b>	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		1.0				6		
	L		0.6						
<b>EXUDACIÓN DE ASFALTO</b>	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		1.0				0		
	L		0.6						
<b>AHUELLAMIENTO</b>	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.8				4		
	L		0.5						
<b>LDR</b>							<b>66</b>		
<b>NDR</b>							<b>79</b>		
<b>ICF</b>							<b>66</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>REGULAR</b>		

Tabla 98. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5C--5C2.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ISAURO RODRÍGUEZ 5C--5C2					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECIENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
<b>GRIETAS LINEALES</b>	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		1.0				6		
	L		0.6						
	H		1.1				LDR		

PIEL DE COCODRILO	M	21.8	0.7	0.45	0.6	0.76	4	baja	rara
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	rara
	M		0.8				5		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	media	ocasional
	M		0.6				11		
	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR		
	M		1.0				0		
	L		0.6						
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	rara
	M		1.0				9		
	L		0.6						
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		1.0				0		
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR		
	M		0.8				0		
	L		0.5						
							<b>LDR</b>	<b>79</b>	
							<b>NDR</b>	<b>80</b>	
							<b>ICF</b>	<b>79</b>	
							<b>CONDICIÓN</b>	<b>BUENO</b>	

Tabla 99. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5D--5C2.

DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	ocasional
	M		1.0				8		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.7				4		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	baja	rara
	M		0.8				3		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.6				5		
	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR		
	M		1.0				0		
	L		0.6						
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	baja	ocasional
	M		1.0				5		
	L		0.6						
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR		
	M		1.0				0		
	L		0.6						
AHUEL	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.8				4		

LAMIENTO	L		0.5							
<b>LDR</b>							<b>84</b>			
<b>NDR</b>							<b>84</b>			
<b>ICF</b>							<b>84</b>			
<b>CONDICIÓN</b>							<b>BUENO</b>			

Tabla 100. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3D--3\_1D.

Lugar: SANTA ISABEL				Tramo: JOSÉ PERALTA 3D--3_1D					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	frecuente
	M		1.0				15		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	frecuente
	M		0.7				18		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	frecuente
	M		0.8				9		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	ocasional
	M		0.6				17		
	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR	baja	frecuente
	M		1.0				15		
	L		0.6						
DESprendimiento de AGREG	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	baja	rara
	M		1.0				4		
	L		0.6						



ADOS									
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	frecuente
	M		1.0				9		
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	frecuente
	M		0.8				7		
	L		0.5						
LDR							35		
NDR							63		
ICF							35		
CONDICIÓN							MUY POBRE		

Tabla 101. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3\_1D--5D.

Lugar: SANTA ISABEL				Tramo: JOSÉ PERALTA 3_1D--5D					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	INC. PESO (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
GRIETAS LINEALES	H	13.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	frecuente
	M		1.0				15		
	L		0.6						
PIEL DE COCODRILO	H	21.8	1.1	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	frecuente
	M		0.7				18		
	L		0.4						
PARCHEO	H	14.1	1.3	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	alta	frecuente
	M		0.8				14		
	L		0.5						
BACHES	H	30.6	0.9	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	frecuente
	M		0.6				21.1		

	L		0.4						
PELADURAS	H	12.5	1.5	0.5	0.6	0.8	LDR	alta	rara
	M		1.0				9		
	L		0.6						
DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	H	12.7	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	media	frecuente
	M		1.0				10		
	L		0.6						
EXUDACIÓN DE ASFALTO	H	12.2	1.5	0.45	0.6	0.76	NDR	alta	rara
	M		1.0				8		
	L		0.6						
AHUELLAMIENTO	H	19.4	1.2	0.45	0.6	0.76	LDR	alta	rara
	M		0.8				10		
	L		0.5						
							<b>LDR</b>	<b>29</b>	
							<b>NDR</b>	<b>53</b>	
							<b>ICF</b>	<b>29</b>	
							<b>CONDICIÓN</b>	<b>MUY POBRE</b>	

### Windshield semirrígido o adoquinado

Tabla 102. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 5C--4C--3C.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: 24 DE MAYO 5C--4C--3C					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORMACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	media	ocasional
	M		0.94				32		
	L		0.60						
DESPRENDIMIENTOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						

<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	baja	rara
	M		0.34				1		
	L		0.20						
<b>FRACTURAMIENTOS</b>	H	12.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	rara
	M		0.37				1		
	L		0.20						
<b>ESCALONAMIENTOS</b>	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
<b>VEGETACIÓN</b>	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	baja	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
<b>LDR</b>							<b>66</b>		
<b>NDR</b>							<b>95</b>		
<b>ICF</b>							<b>66</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>REGULAR</b>		

Tabla 103. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3C--3B1.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ABDÓN CALDERÓN 3C--3B-1					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
<b>DEFORMACIONES</b>	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	media	rara
	M		0.94				24		
	L		0.60						
<b>DESPRENDIMIENTOS</b>	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	baja	rara
	M		0.34						

	L		0.20				1		
FRACTURAMIENTOS	H	12.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
ESCALONAMIENTOS	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
VEGETACIÓN	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				4		
	L		0.20						
							LDR	73	
							NDR	93	
							ICF	73	
							CONDICIÓN	BUENO	

Tabla 104. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3B1--3A.

Lugar: Santa Isabel				Tramo: ABDÓN CALDERÓN 3B1--3A					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORMACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	media	ocasional
	M		0.94				32		
	L		0.60						
DESPRENDIMIENTOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
DESPLAZAMIENTOS	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	baja	rara
	M		0.34				1		
	L		0.20						

<b>FRACTURAMIENTOS</b>	H	12.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
<b>ESCALONAMIENTOS</b>	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
<b>VEGETACIÓN</b>	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				4		
	L		0.20						
<b>LDR</b>							<b>65</b>		
<b>NDR</b>							<b>93</b>		
<b>ICF</b>							<b>65</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>REGULAR</b>		

Tabla 105. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3C--2C.

<b>Lugar: SANTA ISABEL</b>				<b>Tramo: 24 DE MAYO 3C--2C</b>					
<b>DETERIORO</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)</b>	<b>Inc. Peso (PI)</b>	<b>FRECUENCIA</b>			<b>CLASE</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>	
				<b>RARA</b>	<b>OCASIONAL</b>	<b>FRECUENTE</b>		<b>Severidad (alta, media, baja)</b>	<b>frecuencia (rara, ocasional, frecuente)</b>
<b>DEFORMACIONES</b>	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	frecuente
	M		0.94				26		
	L		0.60						
<b>DESPRENDIMIENTOS</b>	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	baja	rara
	M		0.37				1		
	L		0.20						
<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	baja	rara
	M		0.34				1		
	L		0.20						
	H		0.62				LDR		

FRACTURAMIENTOS	M	12.0	0.37	0.45	0.6	0.76	0		
	L		0.20						
ESCALONAMIENTOS	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
VEGETACIÓN	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	baja	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
<b>LDR</b>							<b>73</b>		
<b>NDR</b>							<b>96</b>		
<b>ICF</b>							<b>73</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>BUENO</b>		

Tabla 106. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3B1--4B1.

Lugar: SANTA ISABEL				Tramo: SIMÓN BOLÍVAR 3B1--4B1					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORMACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	frecuente
	M		0.94				26		
	L		0.60						
DESPRENDIMIENTOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
DESPLAZAMIENTOS	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	rara
	M		0.34				2		
	L		0.20						
	H		0.62				LDR		

FRACTURAMIENTOS	M	12.0	0.37	0.45	0.6	0.76	2	media	rara
	L		0.20						
ESCALONAMIENTOS	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
VEGETACIÓN	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				4		
	L		0.20						
LDR							70		
NDR							93		
ICF							70		
CONDICIÓN							BUENO		

Tabla 107. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3B--2B.

Lugar: SANTA ISABEL				Tramo: TOMBAMBA 3B--2B					
DETERIORO	SEVERIDAD	ÍNDICE DE INFLUENCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLASE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCASIONAL	FRECUENTE		Severidad (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORMACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	baja	frecuente
	M		0.94				26		
	L		0.60						
DESPRENDIMIENTOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
DESPLAZAMIENTOS	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	rara
	M		0.34				2		
	L		0.20						
FRACTURAMIENTOS	H	12.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						

ESCALO NAMIEN TOS	H	27.6	0.72	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR		
	M		0.40				0		
	L		0.20						
VEGETA CIÓN	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				4		
	L		0.20						
<b>LDR</b>							<b>70</b>		
<b>NDR</b>							<b>93</b>		
<b>ICF</b>							<b>70</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>BUENO</b>		

Tabla 108. Hoja detallada del inventario de daños por el método Windshield para el tramo 3C--3D.

Lugar: SANTA ISABEL				Tramo: ABDÓN CALDERÓN 3C--3D					
DETERIO RO	SEVER IDAD	ÍNDICE DE INFLUE NCIA (FI)	Inc. Peso (PI)	FRECUENCIA			CLA SE	OBSERVACIÓN	
				RARA	OCA SION AL	FRECUE NTE		Severida d (alta, media, baja)	frecuencia (rara, ocasional, frecuente)
DEFORM ACIONES	H	57.6	1.35	0.45	0.6	0.76	LDR	media	frecuente
	M		0.94				41		
	L		0.60						
DESPRE NDIMIEN TOS	H	9.9	0.67	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				2		
	L		0.20						
DESPLA ZAMIENT OS	H	10.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR, NDR	media	rara
	M		0.34				2		
	L		0.20						
FRACTU RAMIENT OS	H	12.0	0.62	0.45	0.6	0.76	LDR	media	frecuente
	M		0.37				3		
	L		0.20						
ESCALO NAMIEN T	H		0.72				LDR, NDR		



<b>OS</b>	M	27.6	0.40	0.45	0.6	0.76	2	baja	rara
	L		0.20						
<b>VEGETACIÓN</b>	H	25.3	0.62	0.45	0.6	0.76	NDR	media	rara
	M		0.37				4		
	L		0.20						
<b>LDR</b>							<b>51</b>		
<b>NDR</b>							<b>90</b>		
<b>ICF</b>							<b>51</b>		
<b>CONDICIÓN</b>							<b>POBRE</b>		