

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

GUÍA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS CON BASE EN TÉCNICAS DE PRESERVACIÓN DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil para optar por el grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería de Transportes y Vías

OLVER ALEXANDER TÁBORA CRUZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2021

Dedicatoria

A mi familia y a todas las personas que han estado a mi lado siempre para motivarme,
brindarme su apoyo y confianza.

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios, gracias por darme la sabiduría, paciencia, la salud y la fuerza durante todo este tiempo, factores fundamentales que me han permitido terminar mis estudios.

A mi familia, especialmente a mis abuelos y mis padres Olivia, Luis, Denia y Alex y a mis hermanas Meily, Yolany, Dariela, Yeimy y Nohelia que siempre han sido el soporte que he necesitado desde el inicio de mis estudios y en especial en esta maestría donde siempre han logrado transmitirme su cariño y apoyo a pesar de la distancia. Al resto de mi familia, gracias por su apoyo incondicional y por sus consejos, los cuales han sido de mucha ayuda.

A Karen por ser mi motor y pilar fundamental para el cumplimiento de esta meta y quien me ha motivado y acompañado día a día a continuar a pesar de la distancia y dificultades.

A mis amigos y compañeros de maestría: Natalia, Martín y Jairo y en especial a Jorge, Rafael y Oscar por su amistad, aprecio y las invaluable experiencias compartidas. En general, gracias a todos por el compañerismo y por brindarme su apoyo. De igual manera, gracias a mis amigos y hermanos hondureños por su amistad y motivación diaria.

A mi comité asesor, un sincero agradecimiento por la dedicación y esfuerzo ya que considero que fueron personas claves en el desarrollo de este trabajo y definitivamente gracias a todos los profesores por los conocimientos impartidos a través de esta maestría, los cuales considero que han sido de gran provecho para mi crecimiento profesional.

Un gran reconocimiento al LanammeUCR, una institución que de alguna manera ha servido de soporte para culminar esta maestría. Quiero reconocer a Roy y Cristian de la UGERVN por brindarme su apoyo en el desarrollo de este trabajo y al excelente grupo de trabajo de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT), especialmente a la jefa (Wendy) por brindarme la confianza, la posibilidad de aprender, colaborar y desempeñarme en las diversas funciones de la unidad a través de las asistencias y donde siempre destacaré que encontré profesionales amables y dispuestos a brindarme su apoyo.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Ingeniería de Transporte y Vías”.



Ph.D. Jonathan Agüero Valverde
Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado



M. Sc. Tania Ávila Esquivel
Profesora Guía



M. Sc. Josué Quesada Campos
Lector



M. Sc. Wendy Sequeira Rojas
Lectora



M. Sc. Javier Zamora Rojas
Representante del Director
Programa de Posgrado en Ingeniería Civil



Olver Tábora Cruz
Sustentante

Tabla de contenidos

| | |
|--|------|
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimientos | iii |
| Hoja de aprobación..... | iv |
| Tabla de contenidos..... | v |
| Resumen..... | viii |
| Abstract | ix |
| Índice de tablas..... | x |
| Índice de figuras..... | xiv |
| Lista de abreviaturas..... | xvii |
| Capítulo 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Justificación | 2 |
| 1.1.1. Problema específico..... | 2 |
| 1.1.2. Importancia | 2 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 4 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.3. Delimitación del problema | 4 |
| 1.3.1. Alcances..... | 4 |
| 1.3.2. Limitaciones..... | 5 |
| 1.4. Metodología | 6 |
| 1.5. Antecedentes teóricos o prácticos del problema..... | 9 |
| Capítulo 2. Marco teórico..... | 15 |
| 2.1. Conservación de carreteras..... | 15 |
| 2.1.1. Importancia de la conservación vial | 15 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| 2.1.2. | Etapas de la conservación vial | 17 |
| 2.2. | Pavimentos | 19 |
| 2.2.1. | Clasificación de los pavimentos..... | 19 |
| 2.2.2. | Generalidades de los pavimentos flexibles y rígidos | 21 |
| 2.2.3. | Deterioros en estructuras de pavimentos..... | 25 |
| 2.2.4. | Sistemas de gestión de pavimentos | 31 |
| 2.2.5. | Evaluación del desempeño de un pavimento..... | 33 |
| 2.3. | Preservación de pavimentos | 40 |
| 2.3.1. | Definiciones para la terminología de preservación de pavimentos | 43 |
| 2.3.2. | Importancia de la preservación de pavimentos..... | 45 |
| 2.3.3. | Establecimiento de un programa de preservación de pavimentos..... | 46 |
| 2.3.4. | Beneficios de la preservación de pavimentos | 49 |
| 2.3.5. | Estrategias de preservación de pavimentos..... | 51 |
| Capítulo 3. | Generación de la guía de gestión de pavimentos..... | 56 |
| 3.1. | Catálogos de deterioros abordados por la preservación | 56 |
| 3.1.1. | Pavimentos flexibles | 57 |
| 3.1.2. | Pavimentos rígidos | 75 |
| 3.2. | Técnicas de preservación de pavimentos | 92 |
| 3.2.1. | Técnicas de preservación de pavimentos flexibles | 97 |
| 3.2.2. | Técnicas de preservación pavimentos rígidos | 128 |
| 3.3. | Marco de referencia para la selección de técnicas de preservación | 157 |
| 3.3.1. | Proceso de decisión de técnicas de preservación | 160 |
| Capítulo 4. | Aplicación de la guía de gestión en proyectos viales | 198 |
| 4.1. | Selección de los tramos de estudio..... | 198 |
| 4.2. | Aplicación de proceso de decisión de técnicas de preservación | 199 |
| 4.2.1. | Tramo 1F. Ruta Nacional 18, sección 51110. Guanacaste..... | 199 |

| | | |
|----------------------------|---|-----|
| 4.2.2. | Tramo 2F. Calle Siles- San Pedro, Montes de Oca..... | 213 |
| 4.2.3. | Tramo 3R. Ruta Nacional 1, sección 50020. Guanacaste | 219 |
| 4.2.4. | Tramo 4R. Calle cantonal- Curridabat, Curridabat..... | 232 |
| Capítulo 5. | Conclusiones y recomendaciones | 237 |
| 5.1. | Conclusiones | 237 |
| 5.1.1. | Abordaje de la preservación de pavimentos | 237 |
| 5.1.2. | Aplicabilidad de las técnicas de preservación | 238 |
| 5.1.3. | Establecimiento de proceso de decisión de técnicas de preservación..... | 238 |
| 5.1.4. | Aplicación de la guía de gestión en proyectos viales | 239 |
| 5.2. | Recomendaciones | 240 |
| Referencias bibliográficas | | 241 |
| Apéndices | | 248 |
| Apéndice I. | Levantamientos de deterioros y Cálculos de PCI tramos 2F,3R y 4R..... | 248 |
| Anexos..... | | 266 |
| Anexo I. | Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI tramo 1F. UGERVN..... | 266 |

Resumen

Los pavimentos son objeto de deterioro continuo a través del tiempo, lo cual lleva a la continua necesidad de definir estrategias de intervención, entre ellas la preservación de pavimentos. Este es un enfoque proactivo que permite abordar la condición de los pavimentos en etapas tempranas con el propósito de extender su vida útil y mantener una buena condición funcional a través del tiempo a un bajo costo. Sin embargo, la toma de decisiones con respecto a la técnica de preservación oportuna que requieren los pavimentos según su condición y deterioros presentes tiende a limitar la efectividad de dichas técnicas. Por tanto, el presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una guía de gestión de pavimentos para la identificación y selección de técnicas de preservación factibles de pavimentos flexibles y rígidos mediante el uso de herramientas de decisión.

La investigación incluyó un estudio de las prácticas actuales con respecto al concepto de preservación de pavimentos y la definición de los deterioros abordados adecuadamente por este. Los resultados mostraron que típicamente la preservación aborda con una alta y moderada efectividad los deterioros en etapas iniciales, es decir, de severidad baja y media respectivamente.

Se definieron los criterios de aplicabilidad de diferentes técnicas de preservación de pavimentos flexibles y rígidos a través de la generación de un catálogo de técnicas de preservación. Como parte de estos criterios, se definieron aquellos factores considerados por la literatura y experiencia internacional como fundamentales para la toma de decisión con respecto a la selección de las diferentes técnicas de preservación.

El presente trabajo incluyó la generación de herramientas de decisión tales como las matrices y flujogramas de decisión para seleccionar las técnicas de preservación adecuadas según el nivel de deterioros presente en los pavimentos, las cuales son un elemento clave dentro de los programas de preservación de pavimentos.

Como parte del estudio, se definió un proceso de decisión de técnicas de preservación, el cual incluye la evaluación de las condiciones de deterioro existentes en un pavimento, la determinación de las técnicas factibles mediante el uso de herramientas de decisión, un análisis de cumplimiento de las necesidades y limitaciones establecidas propias de cada proyecto, lo cual sirve para determinar las técnicas finales y la selección de la técnica final con base en una matriz que considera factores económicos y no económicos de los técnicas de preservación finales.

Finalmente, se llevó a cabo la aplicación de la guía de gestión propuesta, la cual permitió evaluar cuatro tramos de pavimento (dos flexibles y dos rígidos), logrando determinar con base en el proceso de decisión la aplicabilidad de la preservación de pavimentos en dos tramos correspondientes a rutas nacionales del país. A través de la aplicación de la guía se recomendaron las alternativas óptimas según la condición existente del pavimento; comprobando así la factibilidad del uso de la guía de gestión generada.

Palabras clave: preservación de pavimentos, desempeño, condición, gestión de pavimentos

Abstract

Road pavements are subject to continuous deterioration over time, which leads to the continuous need to define intervention strategies, including the pavement preservation. This is a proactive approach that allows to address the condition of pavements in early stages with the purpose of extending their useful life and maintaining a good functional condition over time at a low cost. However, decision-making regarding the timely preservation technique required by pavements according to their condition and present deterioration tends to limit the effectiveness of these techniques. Therefore, the objective of this project was to develop a pavement management guide for the identification and selection of feasible preservation techniques for flexible and rigid pavements through the use of decision tools.

The research included a study of current practices with respect to the concept of pavement preservation and the definition of the distresses adequately addressed by it. The results showed that preservation typically addresses distresses in the initial stages with high and moderate effectiveness, that is, of low and medium severity respectively.

The applicability criteria of different techniques for the preservation of flexible and rigid pavements were defined through the generation of a preservation techniques catalog. As part of these criteria, those factors considered by the literature and international experience as fundamental for decision making regarding the selection of the different preservation techniques were defined.

This work included the generation of decision tools such as decision matrices and flowcharts to select the appropriate preservation techniques according to the level of distresses present in the pavements, which are a key element in pavement preservation programs.

As part of the study, a decision process for preservation techniques was defined, which includes the evaluation of the deterioration conditions existing in a pavement, the determination of feasible techniques through the use of decision tools, an analysis of compliance with the established needs and limitations of each project, which serves to determine the final techniques and the selection of the final technique based on a matrix that considers economic and non-economic factors of the final preservation techniques.

Finally, the application of the proposed management guide was carried out, which allowed evaluating four sections of pavement (two flexible and two rigid), managing to determine, based on the decision process, the applicability of the preservation of pavement in two sections corresponding to national roads of the country. Through the application of the guide, the optimal alternatives were recommended according to the existing condition of the pavement; thus, checking the feasibility of using the generated management guide.

Keywords: pavement preservation, performance, condition, pavement management

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Etapas y tipo de solución para la conservación de pavimentos | 18 |
| Tabla 2. Comparativo de catálogos de deterioro para pavimentos flexibles..... | 29 |
| Tabla 3. Comparativo de catálogos de deterioro para pavimentos rígidos | 30 |
| Tabla 4. Clasificación de categorías de deterioro de pavimentos flexibles y rígidos..... | 31 |
| Tabla 5. Clasificación de las actividades del pavimento por propósito..... | 42 |
| Tabla 6. Deterioros tratados bajo el programa de preservación de pavimentos | 57 |
| Tabla 7. Deterioros abordados por la preservación en pavimentos flexibles | 58 |
| Tabla 8. Caracterización del deterioro cuero de lagarto | 59 |
| Tabla 9. Caracterización del deterioro grieta longitudinal y transversal..... | 61 |
| Tabla 10. Caracterización del deterioro agrietamiento por reflejo de juntas..... | 63 |
| Tabla 11. Caracterización del deterioro grietas en bloque..... | 64 |
| Tabla 12. Caracterización del deterioro grieta de borde..... | 66 |
| Tabla 13. Caracterización del deterioro pulimiento de agregados | 68 |
| Tabla 14. Caracterización del deterioro desprendimiento de agregados | 69 |
| Tabla 15. Caracterización del deterioro desgaste superficial..... | 70 |
| Tabla 16. Caracterización del deterioro roderas/deformaciones..... | 71 |
| Tabla 17. Caracterización del deterioro baches..... | 73 |
| Tabla 18. Deterioros abordados por la preservación en pavimentos rígidos | 75 |
| Tabla 19. Caracterización del deterioro agrietamiento lineal..... | 76 |
| Tabla 20. Caracterización del deterioro grieta de esquina..... | 78 |
| Tabla 21. Caracterización del deterioro grieta de malla o resquebrajadura | 80 |
| Tabla 22. Caracterización del deterioro pulimiento de agregados | 81 |
| Tabla 23. Caracterización del deterioro desprendimiento de agregados | 82 |
| Tabla 24. Caracterización del deterioro daño en el sello de juntas..... | 83 |
| Tabla 25. Caracterización del deterioro fractura de junta..... | 85 |
| Tabla 26. Caracterización del deterioro fractura de esquina | 86 |
| Tabla 27. Caracterización del deterioro escalonamiento entre calzada y juntas | 87 |
| Tabla 28. Caracterización del deterioro bombeo | 88 |
| Tabla 29. Caracterización del deterioro baches mayores a 0.5 m ² | 89 |
| Tabla 30. Caracterización del deterioro baches menores a 0.5 m ² | 91 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 31. Técnicas de preservación de pavimentos flexibles | 94 |
| Tabla 32. Técnicas de preservación de pavimentos rígidos | 95 |
| Tabla 33. Técnicas de preservación de pavimentos incluidas en el estudio | 96 |
| Tabla 34. Beneficios principales de diferentes técnicas de preservación | 96 |
| Tabla 35. Pros y contras del sello y relleno de grietas..... | 98 |
| Tabla 36. Vida esperada del sello y relleno de grietas..... | 100 |
| Tabla 37. Pros y contras del sello de lechada..... | 102 |
| Tabla 38. Vida esperada del sello de lechada..... | 104 |
| Tabla 39. Pros y contras del tratamiento superficial | 106 |
| Tabla 40. Vida esperada de los tratamientos superficiales..... | 108 |
| Tabla 41. Pros y contras del sello de niebla | 111 |
| Tabla 42. Vida esperada del sello de niebla | 112 |
| Tabla 43. Pros y contras de los micropavimentos..... | 115 |
| Tabla 44. Requisitos de calidad de los agregados para micropavimentos..... | 118 |
| Tabla 45. Requisitos de calidad de los agregados para micropavimentos..... | 118 |
| Tabla 46. Requerimientos de calidad para la emulsión asfáltica (micropavimentos) | 119 |
| Tabla 47. Vida esperada de los micropavimentos | 127 |
| Tabla 48. Pros y contras del sello de juntas y grietas | 129 |
| Tabla 49. Vida esperada del sello de grietas y juntas..... | 130 |
| Tabla 50. Pros y contras del reemplazo de dovelas | 132 |
| Tabla 51. Vida esperada del reemplazo de dovelas | 134 |
| Tabla 52. Pros y contras de la reparación de losas en espesor parcial..... | 136 |
| Tabla 53. Vida esperada de la reparación de losas en espesor parcial | 138 |
| Tabla 54. Pros y contras de losas en espesor total | 140 |
| Tabla 55. Vida esperada de losas en espesor total | 143 |
| Tabla 56. Pros y contras del recalce o levantamiento localizado de losas..... | 145 |
| Tabla 57. Vida esperada del recalce o levantamiento localizado de losas..... | 146 |
| Tabla 58. Pros y contras del cepillado superficial..... | 148 |
| Tabla 59. Rango de dimensiones típicas para la operación de cepillado..... | 151 |
| Tabla 60. Vida esperada del cepillado superficial..... | 155 |
| Tabla 61. Capacidad y función principal de las técnicas de preservación | 156 |
| Tabla 62. Matriz de decisión para pavimentos flexibles..... | 164 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 63. Matriz de decisión para pavimentos rígidos | 166 |
| Tabla 64. Simbología básica de los flujogramas de decisión | 168 |
| Tabla 65. Análisis del Costo Anual Equivalente de las técnicas-pavimentos flexible..... | 192 |
| Tabla 66. Análisis del Costo Anual Equivalente de los técnicas-pavimentos rígidos | 192 |
| Tabla 67. Posibles factores no económicos considerados para la toma de decisiones | 193 |
| Tabla 68. Factores considerados en la toma de decisión final..... | 195 |
| Tabla 69. Formato de matriz de decisión de técnicas finales | 196 |
| Tabla 70. Listado de tramos considerados en el estudio | 198 |
| Tabla 71. Deterioros identificados en el tramo 1F | 200 |
| Tabla 72. Valores de PCI de las unidades de muestreo del tramo 1F | 203 |
| Tabla 73. Identificación de técnicas de preservación factibles en tramo 1F..... | 208 |
| Tabla 74. Análisis de técnicas de preservación factibles en tramo 1F | 210 |
| Tabla 75. Análisis de decisión entre las técnicas de preservación finales en tramo 1F.... | 212 |
| Tabla 76. Deterioros detectados en el tramo 2F..... | 214 |
| Tabla 77. Valores de PCI de las unidades de muestra del tramo 2F | 216 |
| Tabla 78. Deterioros detectados en el tramo 3R | 221 |
| Tabla 79. Valores de PCI de las unidades de muestreo del tramo 3R | 222 |
| Tabla 80. Identificación de técnicas de preservación factibles en tramo 3R | 226 |
| Tabla 81. Análisis de técnicas de preservación factibles en tramo 3R..... | 228 |
| Tabla 82. Deterioros detectados en el tramo 4R | 233 |
| Tabla 83. Valores de PCI de las unidades de muestreo del tramo 4R | 235 |
| Tabla 84. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M1 tramo 2F | 248 |
| Tabla 85. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 2 tramo 2F | 249 |
| Tabla 86. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 3 tramo 2F | 250 |
| Tabla 87. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 4 tramo 2F | 251 |
| Tabla 88. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 5 tramo 2F | 252 |
| Tabla 89. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 6 tramo 2F | 253 |
| Tabla 90. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 7 tramo 2F | 254 |
| Tabla 91. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 8 tramo 2F | 255 |
| Tabla 92. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI en tramo 3R (UGERVN) | 256 |
| Tabla 93. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 1 tramo 4R..... | 258 |
| Tabla 94. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 2 tramo 4R..... | 259 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 95. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 3 tramo 4R..... | 260 |
| Tabla 96. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 4 tramo 4R..... | 261 |
| Tabla 97. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 5 tramo 4R..... | 262 |
| Tabla 98. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 6 tramo 4R..... | 263 |
| Tabla 99. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 7 tramo 4R..... | 264 |
| Tabla 100. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 8 tramo 4R..... | 265 |
| Tabla 101. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI en tramo 1F. (UGERVN)..... | 266 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo..... | 7 |
| Figura 2. Condición promedio de pavimento y efecto de la preservación | 16 |
| Figura 3. Sección transversal típica de un pavimento flexible | 20 |
| Figura 4. Sección transversal típica de un pavimento rígido | 20 |
| Figura 5. Costos del Ciclo de vida de pavimento de Concreto vs Asfalto | 22 |
| Figura 6. Comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos | 24 |
| Figura 7. Relación entre características de deterioros y estrategias de intervención | 27 |
| Figura 8. Estructura de un Sistema de Gestión de Pavimentos. | 32 |
| Figura 9. Principales actividades en los Sistemas de Gestión de Pavimentos. | 33 |
| Figura 10. Tipos de índices de condición del pavimento..... | 38 |
| Figura 11. Rangos de calificaciones PCI | 40 |
| Figura 12. Componentes de la preservación de pavimentos | 41 |
| Figura 13. Categorías de tratamiento de pavimentos..... | 41 |
| Figura 14. Curva de deterioro de un pavimento (Arieta, 2010)..... | 46 |
| Figura 15. Elementos de un programa de preservación de pavimentos | 49 |
| Figura 16. Implicaciones de costo de las rehabilitaciones mayores | 51 |
| Figura 17. Esquema de sello de grietas (a) /relleno de grietas (b)..... | 98 |
| Figura 18. Componentes del slurry seal..... | 101 |
| Figura 19. Componentes de los tratamientos superficiales. a) TS-1 b) TS-2..... | 106 |
| Figura 20. Componentes y aplicación de sello de niebla..... | 110 |
| Figura 21. Configuración del uso de micropavimentos | 116 |
| Figura 22. Esquema de fabricación de micropavimentos | 117 |
| Figura 23. Configuraciones de sello de juntas entre losas | 128 |
| Figura 24. Pasos del proceso de sello de grietas. | 129 |
| Figura 25. Configuración típica de reemplazo de dovelas en juntas longitudinales..... | 132 |
| Figura 26. Ejemplo de reparación parcial en intersección de juntas | 135 |
| Figura 27. Tipos de reparación parcial | 136 |
| Figura 28. Configuración de reparación de espesor total según los deterioros | 140 |
| Figura 29. Lechada como relleno de vacíos bajo la losa de concreto..... | 144 |
| Figura 30. Componentes y superficie después del cepillado superficial..... | 147 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31. Esquema de textura provista por el cepillado superficial..... | 151 |
| Figura 32. Proceso propuesto para la decisión de técnicas de preservación | 159 |
| Figura 33. Flujograma de decisión para el agrietamiento por fatiga | 169 |
| Figura 34. Flujograma de decisión para las grietas longitudinales | 170 |
| Figura 35. Flujograma de decisión para las grietas transversales-agrietamiento por reflejo de juntas..... | 171 |
| Figura 36. Flujograma de decisión para las grietas en bloque..... | 172 |
| Figura 37. Flujograma de decisión para las grietas de borde | 173 |
| Figura 38. Flujograma de decisión para pulimiento de agregados | 174 |
| Figura 39. Flujograma de decisión para desprendimiento/desgaste superficial | 175 |
| Figura 40. Flujograma de decisión para roderas/ahuellamiento | 176 |
| Figura 41. Flujograma de decisión para baches..... | 177 |
| Figura 42. Flujograma de decisión del agrietamiento lineal | 178 |
| Figura 43. Flujograma de decisión de la grieta de esquina | 179 |
| Figura 44. Flujograma de decisión de las grietas de malla..... | 180 |
| Figura 45. Flujograma de decisión del pulimiento de agregados | 181 |
| Figura 46. Flujograma de decisión del desprendimiento de agregados | 182 |
| Figura 47. Flujograma de decisión de daño en el sello de juntas | 183 |
| Figura 48. Flujograma de decisión de fractura de juntas..... | 184 |
| Figura 49. Flujograma de decisión de fractura de esquina | 185 |
| Figura 50. Flujograma de decisión de escalonamiento entre juntas..... | 186 |
| Figura 51. Flujograma de decisión de bombeo..... | 187 |
| Figura 52. Flujograma de decisión de baches | 188 |
| Figura 53. Mapa de localización y ubicación de tramo 1F-Flexible..... | 200 |
| Figura 54. Cantidad de deterioros total en tramo 1F..... | 201 |
| Figura 55. Cantidad de deterioros por nivel de severidad en tramo 1F | 202 |
| Figura 56. Distribución de calificación de PCI del tramo de estudio..... | 204 |
| Figura 57. Distribución espacial de los valores de PCI del tramo de estudio..... | 204 |
| Figura 58. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 1f..... | 205 |
| Figura 59. Costo anual equivalente de las técnicas de preservación finales (tramo 1F) .. | 211 |
| Figura 60. Mapa de localización y ubicación del pavimento 2F-Flexible..... | 214 |
| Figura 61. Cantidad de deterioros total en tramo 2F..... | 215 |

| | |
|---|-----|
| Figura 62. Cantidad de deterioros por nivel de severidad en tramo 2F | 216 |
| Figura 63. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 2F | 217 |
| Figura 64. Mapa de localización y ubicación del pavimento 3R-Rígido | 220 |
| Figura 65. Cantidad de deterioros total en tramo 3R | 221 |
| Figura 66. Cantidad de deterioros por nivel de severidad en tramo 3R..... | 222 |
| Figura 67. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 3R..... | 223 |
| Figura 68. Costo anual equivalente de las técnicas de preservación finales (tramo 3R).. | 229 |
| Figura 69. Mapa de localización y ubicación del pavimento 4R-Rígido | 232 |
| Figura 70. Cantidad de deterioros total en tramo 4R | 233 |
| Figura 71. Cantidad de losas afectadas por nivel de severidad en tramo 4R | 234 |
| Figura 72. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 4R | 235 |

Lista de abreviaturas

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials).

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Standard Testing Materials).

ACPA: Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (American Concrete of Pavement Association).

DOT: Departamentos de Transporte de los Estados Unidos (U.S Department of Transportation).

FHWA: Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration).

FP²: Fundación para la Preservación de Pavimentos (Foundation for Pavement Preservation).

JPCP: Pavimento de concreto simple articulado o de juntas (Jointed Portland Concrete Pavement).

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

MAV-2016: Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, 2016.

NCHRP: Programa Nacional de Cooperación para el Desarrollo de Autopistas (National Cooperative Highway Research Program).

PIARC: Asociación Mundial de la Carretera.

PCC: Pavimentos de Cemento Portland (Portland Cement Concrete).

PCI: Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index).

SHRP: Programa Estratégico de Investigaciones en Carreteras (Strategic Highway Research Program).

TPD: Tráfico promedio diario.

UGERVN: Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Olver Alexander Tábor Cruz, con cédula de identidad F834693, en mi condición de autor del TFG titulado Guía de gestión de pavimentos con base en técnicas de preservación de pavimentos flexibles y rígidos

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: UN año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Olver Alexander Tábor Cruz

Número de Carné: B99699 Número de cédula: F834693

Correo Electrónico: tabora94@hotmail.com

Fecha: 13/09/2021 Número de teléfono: (+504) 8964-6766

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): M. Sc. Tania Ávila Esquivel

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, pueda como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no solo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Capítulo 1. Introducción

Los pavimentos son uno de los elementos críticos de la infraestructura de transporte de carreteras en todo el mundo, por ello, son calificados como activos valiosos que deben ser tratados adecuadamente (Zhou y Wang, 2012). Dentro de una adecuada gestión las actividades de preservación, rehabilitación y reconstrucción son tareas imprescindibles para garantizar la funcionalidad de una red de carreteras. Para una buena gestión de pavimentos es necesario la ejecución de estudios y la evaluación periódica de su estado para determinar la intervención óptima acorde con los deterioros existentes y, por ende, a la condición del pavimento. Los pavimentos experimentan deterioro de manera continua típicamente en función de la calidad de los materiales, el efecto de las cargas de tráfico, las condiciones ambientales y la interacción entre estos. La presencia de deterioros llega a impedir la existencia de una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes para el usuario (Peshkin, Hoerner y Zimmerman,2004).

El deterioro que sufren los pavimentos con el paso de los años, lleva a la continua necesidad de intervenciones según su condición, entre ellas el uso de programas de preservación de pavimentos. Dichos programas emplean una estrategia a largo plazo a nivel de red con el objetivo de mejorar el desempeño del pavimento mediante el uso de un conjunto de prácticas integradas y rentables que extienden la vida útil del pavimento. Los programas mencionados incluyen una combinación de técnicas de mantenimiento preventivo, rehabilitación menor y trabajos de mantenimiento rutinarios, con el objetivo de brindar opciones de preservación para un pavimento que aún se encuentra en buenas condiciones y por consiguiente, mejorar la condición funcional de un pavimento y retardar la tasa de deterioro (Peshkin, Smith, Wolters y Krstulovich,2011).

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una guía de gestión de pavimentos funcional para la identificación y selección de técnicas de preservación factibles de pavimentos flexibles y rígidos mediante el uso de herramientas de decisión tal como procesos, matrices y flujogramas de decisión, las cuales podrían funcionar de referencia para la selección de las diferentes técnicas de preservación óptimas a aplicar según las condiciones de deterioros existente de un pavimento aplicando criterios de ingeniería.

1.1. Justificación

1.1.1. Problema específico

La gestión adecuada de la infraestructura vial es una tarea imprescindible para garantizar la funcionalidad óptima de una red de carreteras al menor costo posible. Las mejores prácticas de gestión de infraestructura conllevan a aplicar conceptos de desempeño de activos donde las decisiones se basan en aplicar las técnicas o conocidas como "tratamientos" adecuados con el fin de maximizar su condición, tal como es el caso de los pavimentos. Los pavimentos a través del tiempo son sometidos a diferentes ventanas de intervención: preservación, rehabilitación y reconstrucción de acuerdo con su condición. La investigación y experiencia internacional al respecto denota que cuando se aplica al pavimento correcto en el momento correcto, las técnicas o tratamientos de preservación de pavimentos adecuados son un medio rentable para obtener la vida y el desempeño deseados del pavimento. Sin embargo, la toma de decisiones con respecto a la técnica de preservación oportuna que requieren los pavimentos según su condición y deterioros presentes, es una de las principales limitantes para asegurar la efectividad de las técnicas de preservación y en consecuencia de los programas de preservación.

Por tanto, teniendo en cuenta la magnitud anual de las inversiones en carreteras; la toma de decisiones con respecto a la medida de intervención oportuna que requieren estos activos viales, es primordial para lograr un mejor desempeño de la red vial y garantizar la conservación de las inversiones realizadas. Por esta razón, se hace necesario el desarrollo de herramientas de decisión que puedan servir de referencia para el criterio del ingeniero vial al momento de tomar decisiones con respecto a la técnica de preservación oportuna de acuerdo al deterioro presente de los pavimentos.

1.1.2. Importancia

Las carreteras son consideradas el principal activo de un sistema de transporte y de acuerdo con la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) (1994) la falta de mantenimiento en las carreteras de América Latina ha traído como consecuencia un considerable aumento

en los costos de operación vehicular y un alto deterioro del patrimonio vial, en donde las pérdidas atribuibles a estos factores se estiman entre el 1 y el 3% del PIB cada año. Los pavimentos se diseñan y construyen con el objetivo de prestar el servicio para el cual fue concebido durante un periodo determinado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado. Los pavimentos flexibles y rígidos se diseñan para asegurar un buen desempeño durante su vida útil ante diferentes tipos de deterioros. El concepto de preservación de pavimentos estipula que estos pueden anticiparse y al menos mitigarse parcialmente antes de que ocurran, proporcionando así beneficios a largo plazo (Peshkin et al.,2004).

Es importante considerar que Costa Rica cuenta con 5,235.6 kilómetros de red vial pavimentada, entre las cuales y de acuerdo con el último Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica (ERVN,2018-2019) el 61.33% corresponde a secciones candidatas a intervenciones de preservación (LanammeUCR, 2019). Las rutas incluidas dentro de ese porcentaje deben ser evaluadas y analizadas para determinar la necesidad específica de cada una de acuerdo a su condición y, por tanto, está la posibilidad de optar por el uso de diferentes alternativas de preservación.

En relación con lo antes expuesto, la importancia de la generación de herramientas de decisión tal como un proceso de decisión que incorpore flujogramas y las matrices de decisión radica en brindar referencias para la identificación de las técnicas de preservación adecuadas para los pavimentos según su condición, lo cual es fundamental para el desarrollo sostenible de la infraestructura vial.

Considerando lo anterior, dichas herramientas podrían servir de apoyo para el ingeniero vial al momento de tomar decisiones con respecto a la medida de intervención adecuada en los procesos de evaluación funcional de los pavimentos rígidos y flexibles de la Red Vial Nacional por medio de los manuales de auscultación de deterioros vigentes en el país. Además, la generación de este tipo de documentación técnica es de vital importancia para las empresas dedicadas al mantenimiento vial para contar con referencias, parámetros y guías relacionados con los atributos y limitaciones de las técnicas de preservación tradicionales utilizadas en el país con el propósito de optimizar su uso.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una guía de gestión de pavimentos para la identificación y selección de técnicas de preservación factibles de pavimentos flexibles y rígidos mediante el uso de herramientas de decisión.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir un catálogo de deterioros abordados adecuadamente por la preservación de pavimentos.
- Establecer un catálogo de técnicas de preservación de pavimentos flexibles y rígidos con los atributos influyentes en la aplicabilidad y selección de la técnica óptima acorde a la condición del pavimento.
- Establecer un proceso de decisión que sirva de referencia para identificar las técnicas de preservación tradicionales que sean factibles para la aplicación oportuna en pavimentos flexibles y rígidos.
- Analizar la funcionalidad de la presente guía a través de su aplicación práctica en rutas sometidas a conservación vial en Costa Rica.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Alcances

- Se pretende la elaboración del presente documento haciendo uso de una revisión bibliográfica extensiva en relación al tema mencionado basado en la experiencia internacional.
- La guía tiene como principal enfoque los componentes de un programa de preservación de pavimentos, es decir se considerará el estudio de la aplicación específica de actividades o técnicas de preservación tradicionalmente utilizadas en los pavimentos

flexibles y rígidos en la actualidad, haciendo especial hincapié en las técnicas de mantenimiento preventivo y algunas de rutina en ambos tipos de pavimentos.

- Para efecto de uniformizar la valoración de los deterioros y facilitar la validación de la guía posteriormente, en el presente documento para ambos tipos de pavimento (flexible y rígido) se hará uso del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV 2016).
- Se recomendarán herramientas de decisión para que sean utilizados como referencia para la selección de técnicas o tratamientos de preservación y, por tanto, en las actividades de mantenimiento de los pavimentos nacionales.
- Se contempla llevar a cabo la aplicación de la presente guía en Rutas Nacionales de Costa Rica para verificar su funcionalidad. Lo anterior implica la realización de actividades de auscultación de deterioros en tramos cortos de pavimento a definir en conjunto con la profesora guía

1.3.2. Limitaciones

- Para el desarrollo de la investigación no se tiene considerado la ejecución de actividades de laboratorio ni de instrumentación de tramos de pavimento a escala real.
- El presente documento no considera las estrategias de intervención tales como la construcción nueva, reconstrucción, rehabilitación menor y mayor, recubrimiento estructural y mantenimiento correctivo.
- El uso de herramientas de decisión tales como las matrices, árboles o flujogramas de decisión, por sí mismos, no garantiza ni representan una única opción para la selección de la técnica más factible, debe considerarse el criterio técnico y las condiciones específicas del sitio y tramo vial a evaluar.

- Al hacer uso de herramientas como los flujogramas de decisión, no se considera la realización de un análisis comparativo profundo entre aspectos económicos de las alternativas para la selección de una técnica de preservación.
- La aplicación de las técnicas de preservación en Costa Rica no es frecuente, por tanto, se carece de información con respecto a los costos unitarios locales para las técnicas. Los valores incluidos en este documento son únicamente de referencia. Para el caso de los pavimentos flexibles se consideraron valores de costos promedio en países como Honduras, mientras que para los pavimentos rígidos se consideraron valores de referencia establecidos en la literatura como típicos de Estados Unidos.
- Los atributos de desempeño de las técnicas de preservación tal como la vida útil de los tratamientos y extensión de vida del pavimento mediante su aplicación se basan en la experiencia documentada de EE. UU. Por tanto, no son representativos del desempeño bajo las condiciones de clima, tráfico y condición de los pavimentos nacionales. Se presentan únicamente como referencia.
- La validación de la guía se realizará a través de la aplicación en tramos cortos de pavimento. Por tanto, debido a la amplia gama de deterioros que pueden presentarse en una vía en particular, es probable que no se abarque la totalidad de deterioros considerados en la guía durante el proceso de aplicación.

1.4. Metodología

La metodología seguida para la elaboración del trabajo de investigación corresponde al esquema de la Figura 1., el cual muestra las cuatro etapas que se utilizarán durante el desarrollo del proyecto y que se describen posteriormente para más detalle.

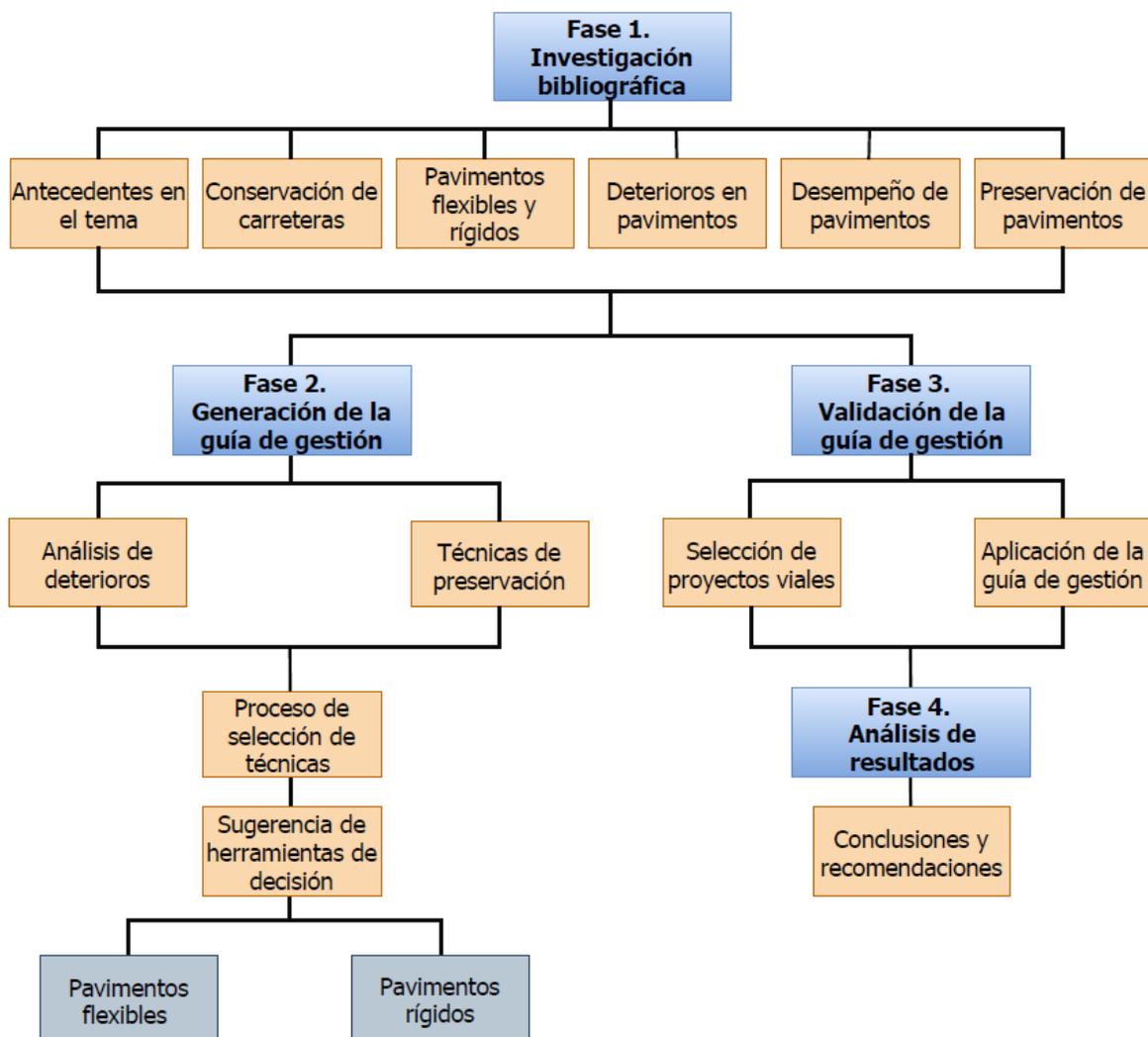


Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo

1.4.1. Fase 1-Investigación Bibliográfica

Actividad 1: Recopilación de la información

Durante esta actividad se desarrolló la revisión de bibliografía relacionada con algunos antecedentes teóricos en el tema, una descripción de conceptos generales relacionados con la conservación de carreteras, el estudio de los factores que intervienen en el desempeño de un pavimento, la presencia de deterioros, además de estudiar los conceptos de preservación de pavimentos y la importancia e impactos de la aplicación de las técnicas de preservación para los pavimentos flexibles y rígidos.

1.4.2. Fase 2- Generación de la guía de gestión de pavimentos

Actividad 1: Análisis de deterioros

Esta actividad consiste en el estudio de diferentes conceptos relacionados con los deterioros típicos que se presentan en los pavimentos flexibles y rígidos y su caracterización, la selección de un catálogo de deterioros a ser utilizado como referencia del trabajo y en la definición o delimitación de un catálogo de deterioros con aquellos que sean abordados adecuadamente bajo un programa de preservación de pavimentos, el cual se incluirá en el presente documento. Considerando que los criterios para determinar la magnitud de los deterioros y su grado de severidad varían en los diversos catálogos y manuales de auscultación disponibles en la literatura, para efecto de uniformizar la valoración de los deterioros y facilitar la aplicación de la guía en la fase 3, en el presente documento se validará el uso del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV 2016).

Actividad 2: Estudio de técnicas de preservación

Una vez definidos los deterioros considerados en el estudio, se procederá al estudio de las diferentes técnicas de preservación aplicables para cada uno incluidas en el Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes de Costa Rica (MCV 2015).

El estudio mencionado se realizará tomando como referencia principal la amplia experiencia internacional de los diferentes entes de investigación de los Estados Unidos tales como Programa Nacional de Cooperación para el Desarrollo de Autopistas (NCHRP por sus siglas en inglés), la Administración Federal de Carreteras (FHWA por sus siglas en inglés) y el Programa Estratégico de Investigaciones en Carreteras (SHRP por sus siglas en inglés), además de la experiencia de los Departamentos de Transporte (DOT por sus siglas en inglés) de diferentes estados.

Actividad 3. Generación del proceso de decisión para la selección de técnicas de preservación

Posteriormente, una vez estudiados los diferentes deterioros y las diferentes técnicas de preservación, se procederá a desarrollar un proceso de decisión para identificar las técnicas de preservación acorde a la condición del pavimento. Este proceso incluirá el desarrollo de herramientas de decisión tal como los flujogramas y matrices de decisión. Estas herramientas de decisión incorporan un conjunto de criterios técnicos y factores tales como el tipo de pavimento, tráfico, tipo de deterioro y el nivel de severidad para identificar uno o varios tratamientos en particular. Se tomará como referencia una serie de estudios existentes de los diferentes entes de investigación y Departamentos de Transporte de los Estados Unidos.

1.4.3. Fase 3-Validación de la guía de gestión

Posterior a la culminación de la guía de gestión se procederá a la selección de tramos de pavimento de corta longitud correspondientes a rutas sujetas a conservación vial en Costa Rica con el objetivo de llevar a cabo la aplicación de la presente guía.

1.4.4. Fase 4-Análisis de resultados

Una vez que se lleve a cabo la aplicación de la guía de gestión se procederá a realizar el análisis de los resultados obtenidos, el cual se plasmará a través de la redacción de las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

1.5. Antecedentes teóricos o prácticos del problema

En esta sección se presenta un conjunto de investigaciones que han llevado a cabo a nivel internacional sobre el comportamiento y mantenimiento de pavimentos. Sin embargo, se mantiene el enfoque principal de analizar la inclusión del concepto de preservación de pavimentos como herramienta principal de un sistema de gestión de pavimentos.

La revisión de la literatura también muestra que, desde mediados de la década de 1990, la preservación de pavimentos ha crecido de un término oscuro a la práctica estándar en la mayoría de las agencias de carreteras de los Estados Unidos. Se destaca que también ha habido trabajo reciente sobre los componentes de un programa de preservación y de herramientas como los flujogramas o árboles de decisión de selección de tratamiento y matrices. A continuación, se resumen una serie de trabajos de investigación relacionados con el tema en estudio:

Zaniewski y Mamlouk (1996) elaboraron el informe "Efectividad del mantenimiento preventivo - Tratamientos de mantenimiento preventivo". El documento muestra las condiciones de esa época con respecto a la gestión de la red de carreteras de los Estados Unidos, se hace hincapié en que las agencias de transporte tenían como enfoque principal la construcción y reconstrucción de carreteras y que se daba poco crédito a las actividades de preservación, además de mostrar la repercusión económica de estas actividades.

El propósito de este documento es describir la necesidad y los beneficios del mantenimiento preventivo, se comentan las consideraciones a tomar para la selección de un tratamiento de mantenimiento, se discuten las aplicaciones de ingeniería de estos tratamientos, revisión de materiales utilizados para el mantenimiento preventivo y se describe el proceso de aplicación para estos tratamientos.

Hicks, Seeds y Peshkin (2000) elaboraron el informe "Selección de un tratamiento de mantenimiento preventivo para pavimentos flexibles" el cual fue financiado por la Fundación para la Preservación de Pavimentos (FP² por sus siglas en inglés), con el objetivo de proporcionar información sobre los diversos tipos de tratamientos de preservación de pavimentos.

Este informe aborda específicamente el mantenimiento preventivo de pavimentos flexibles, incluidos los tipos de pavimentos que son candidatos para el mantenimiento preventivo, los tratamientos disponibles, dónde y cuándo deben usarse, su rentabilidad, los factores que deben considerarse al seleccionar la estrategia de tratamiento adecuada.

Johnson y Ann (2000) elaboraron el documento denominado "Manual de mejores prácticas sobre el mantenimiento de pavimentos asfálticos" realizado por Departamento de Transporte de Minnesota.

Este manual se enfoca en la preservación de pavimentos y el mantenimiento preventivo, teniendo como principal énfasis el mantenimiento preventivo, el cual se realiza mientras el pavimento aún está en buenas condiciones, es decir, con mínimos deterioros. Además, presenta un listado de los principales deterioros y técnicas de preservación aplicables. El manual está dividido en dos partes. La Parte I proporciona información general sobre el mantenimiento y la preservación de pavimentos asfálticos. La Parte II presenta técnicas de mantenimiento para una variedad de deterioros y condiciones.

Zimmerman, K.A. y D.G. Peshkin (2003) publicaron el artículo "Integración del mantenimiento preventivo y las prácticas de gestión de pavimentos" en el Simposio de Investigación de Transporte del Medio Continente 2003, Ames, Iowa, Universidad Estatal de Iowa, 2003 a través del cual se comenta la importancia de los conceptos de preservación y de las herramientas de gestión de activos, tales como los sistemas de gestión de pavimentos, los cuales se han convertido en un componente necesario de las agencias de transporte. El artículo destaca el cambio en el enfoque de las agencias hacia la preservación y los sistemas de gestión de pavimentos para respaldar el uso de estrategias de preservación rentables, como el mantenimiento preventivo.

Los autores hacen hincapié en que uno de los pasos y componentes para la integración del mantenimiento preventivo en la gestión de pavimentos es establecer reglas o herramientas para la selección de los tratamientos de pavimentos donde se defina cuál es el tratamiento que se considera factible, entre las herramientas mencionadas para este fin se consideran los flujogramas de decisión.

Wei y Tighe (2004) elaboraron el informe "Desarrollo de árboles de decisión de mantenimiento preventivo basados en análisis de costo-efectividad. Caso de estudio de Ontario" en el cual se discutieron los esfuerzos para desarrollar árboles de decisión de

mantenimiento preventivo basados en análisis rentables para la red de carreteras de Ontario, Canadá.

El objetivo principal de esta investigación fue comparar la rentabilidad de 15 tratamientos de mantenimiento preventivo de pavimentos flexibles diferentes bajo las condiciones climáticas y de tráfico específicas de la red de carreteras de Ontario. El método de investigación utilizado para este proyecto se basó en determinar la rentabilidad de cada tratamiento o estrategia como el área debajo de la curva de desempeño dividida por el costo del ciclo de vida de cada estrategia. Posteriormente se desarrollaron árboles de decisión para cada clase funcional de pavimento en la red de carreteras de Ontario en base a un análisis de los datos de los pavimentos proporcionados por el Ministerio de Transporte de Ontario (MTO).

Peshkin, D.G., T.E. Hoerner y K.A. Zimmerman (2004) elaboraron el informe "Tiempo óptimo para la aplicación de tratamientos de mantenimiento preventivo de pavimentos", Informe NCHRP 523, Junta de Investigación del Transporte, 2004. Esta investigación surge como resultado de la necesidad de las agencias de transporte de un procedimiento que pudiera ayudar a demostrar la rentabilidad de los tratamientos de mantenimiento preventivo y para proporcionar orientación sobre el momento óptimo de aplicación de los tratamientos considerados en dicho informe.

En este informe se aborda el impacto y la importancia de la preservación de pavimentos, además de establecer los factores que deben considerarse o presentarse durante el proceso de selección de técnicas. Los factores mencionados se muestran como un conjunto de recomendaciones para la preservación de pavimentos, entre ellos se incluyen los siguientes:

- Deterioro de los pavimentos.
- Tiempo de aplicación de los tratamientos.
- Atributos de los tratamientos.
- Factores de evaluación (tráfico, clima, condiciones del pavimento, entre otros.)

Cuelho, Mokwa y Akin (2006) elaboraron el informe "Tratamientos de mantenimiento preventivo de pavimentos flexibles: una síntesis de la práctica en autopistas" Este documento fue preparado por el Departamento de Transporte del estado de Montana en conjunto con la FHWA.

Este documento consiste en una extensa revisión de la literatura para sintetizar investigaciones pasadas relacionadas con el Mantenimiento de pavimentos y técnicas de preservación de autopistas. La revisión de la literatura se amplió e incluyó la aplicación de una encuesta por correo electrónico que se distribuyó a los 50 estados de los EE. UU. y 11 provincias canadienses, para un total de 61 destinatarios.

Entre las principales conclusiones del estudio se destaca que muchos DOT investigan e implementan un programa de preservación de pavimentos como un esfuerzo por utilizar eficientemente su presupuesto de transporte. Se informó que más del 90% de los estados o provincias de América del Norte tienen un programa de mantenimiento preventivo para pavimentos. Aproximadamente el 70% de las jurisdicciones tienen un manual de preservación redactado, un árbol o flujograma de decisión que proporciona pautas para las actividades de mantenimiento preventivo.

Wood, Olson, Lukanen, Wendel y Watson (2009) elaboraron el Informe' "Mantenimiento preventivo, mejores prácticas de gestión de pavimentos asfálticos" o Informe MnDOT MN / RC 2009-18 del Departamento de Transporte de Minnesota. Este informe presenta información sobre los tipos de datos de desempeño que deben recopilarse, el impacto de la preservación de pavimentos en la extensión de la vida útil de los pavimentos, así como los tipos de daños y mecanismos de deterioros en pavimentos flexibles, tal como los utiliza el Estado de Transporte de Minnesota.

Peshkin, Smith, Wolters y Krstulovich (2011) elaboraron el documento denominado "Guía para la preservación de carreteras de alto tráfico". Este fue desarrollado a través del Programa Estratégico de Investigaciones en Carreteras (SHRP 2) administrado por la Junta de Investigación del Transporte (TRB) y se presentó como REPORT S2-R26-RR-2. El informe establece principalmente que la preservación de pavimentos generalmente se tiende a

asociar con las carreteras de bajo volumen de tráfico y que muchos de los productos y enfoques que ya han sido aceptados para uso en carreteras de bajo volumen de tráfico no se han aceptado su uso en carreteras de alto volumen de tráfico.

Esta Investigación se desarrolló con el enfoque en aquellos tratamientos adecuados para la aplicación en carreteras de alto volumen de tráfico, el informe proporciona un marco general sobre cómo se identifican las mejores prácticas y establece pautas generales sobre la aplicación de tratamientos de preservación en carreteras de alto volumen. Esta es considerada una de las principales referencias para la ejecución del presente trabajo dado que es considerada una de las referencias bibliográficas más completas.

FHWA (2014) elaboró el informe "Guía de preservación de pavimentos de concreto". Este documento cubre los conceptos de preservación y la evaluación de pavimentos rígidos. Este documento proporciona orientación e información sobre la selección, el diseño y la construcción de tratamientos de preservación de pavimentos de concreto rentables. Cada tratamiento o técnica de preservación discute su propósito, limitaciones y efectividad, consideraciones de material y diseño, recomendaciones de construcción e información de garantía de calidad, entre otros.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Conservación de carreteras

2.1.1. Importancia de la conservación vial

Según lo establecido por la secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México durante la operación de las carreteras inciden diversos factores que afectan su desempeño y, por tanto, paulatinamente van disminuyendo los niveles de servicio para los que fueron proyectadas. Los factores mencionados consisten en múltiples variables, entre ellos: la configuración vehicular y sus pesos, la cantidad de vehículos que transitan sobre una vía en un periodo determinado, los cuales ocasionan múltiples deterioros tales como los deterioros superficiales y estructurales como los ahuellamientos y agrietamientos en la superficie de rodadura. Los fenómenos meteorológicos tales como la precipitación pluvial, la radiación solar y el viento también afectan gradualmente la resistencia y durabilidad de las estructuras construidas. Otros factores tales como el tipo, la calidad y durabilidad limitada de los materiales utilizados influyen en el comportamiento y desempeño previsto conforme a lo proyectado (SCT,2014).

SCT (2014) también comenta que los deterioros y fallas que se presentan en una carretera se traducen en pérdidas de tiempo de los usuarios en sus recorridos previstos en el tráfico y además, pueden originar accidentes con pérdidas humanas y materiales. Para poder valorar estos aspectos, típicamente se utiliza un indicador denominado "costo de operación" de una carretera, el cual representa la suma total de los gastos que efectúan los usuarios al transitarla, tales como el consumo de combustibles, la depreciación de los vehículos, el desgaste de neumáticos, el costo del tiempo de los usuarios, etc. En términos generales, es notable que cuando una carretera presenta deterioros como los mencionados, el costo de su operación se incrementa considerablemente, ocasionando pérdidas económicas, problemas sociales, molestias y quejas, entre los usuarios.

En el caso de las carreteras, la conservación vial controla el valor de la depreciación y determina el impacto de la red en los usuarios de las carreteras y en la sociedad. Sin una

adecuada conservación de las vías, el alto valor de cualquier red de carreteras disminuye rápidamente y los usuarios de las vías y la sociedad pueden experimentar importantes impactos adversos (PIARC,2014). Si se toma en cuenta que las carreteras son el factor principal que propicia el desarrollo social, económico y cultural de las personas, resulta imprescindible que a estas obras viales se les destinen recursos económicos para asegurar que el desempeño y, por tanto, sus niveles de servicio y de seguridad sean aceptables, así como tratar de prevenir que los fenómenos naturales provoquen incrementos considerables en sus costos de operación.

Considerando el deterioro que sufren las vías a través del tiempo, la conservación de carreteras tiene como propósito principal preservarlas en buenas condiciones de operación a través de la incorporación de estrategias tal como la preservación de pavimentos, con el objetivo de lograr la extensión de la vida útil de estos activos según se observa en la Figura 2. Además, estas estrategias intentan priorizar que los costos de operación se mantengan en niveles aceptables y no se presenten incrementos notables que afecten el tiempo y la economía de los usuarios.

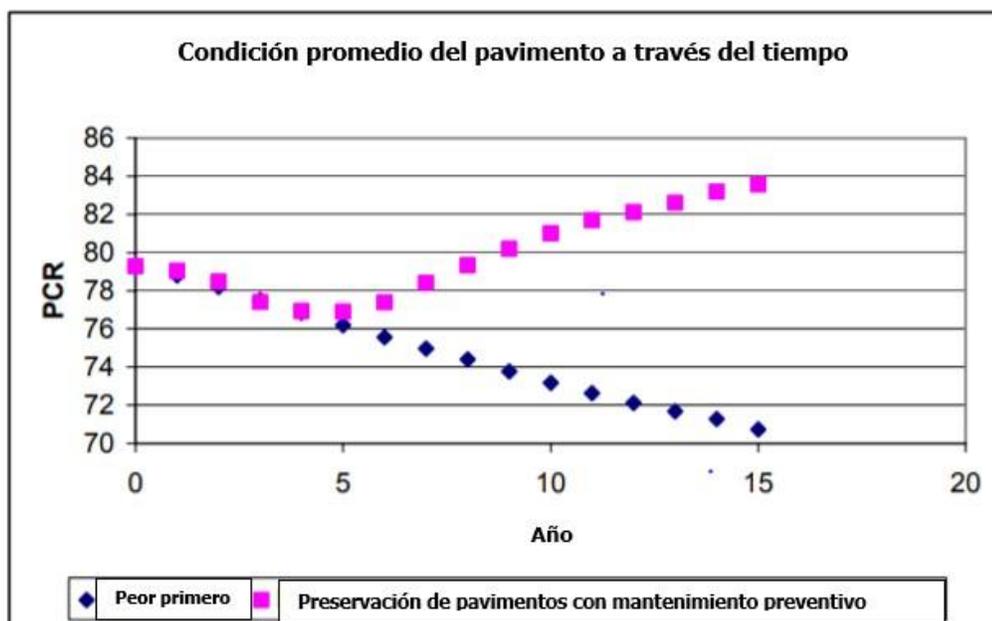


Figura 2. Condición promedio de pavimento y efecto de la preservación
Nota: modificado a partir de los autores (Zimmerman y Peshkin, 2003)

La necesidad de conservación aumenta a medida que la infraestructura envejece, ya que se vuelve más frágil, menos resistente y más susceptible de sufrir daños o deterioros. Sin embargo, la disponibilidad de los recursos que se destinan a la infraestructura carretera, así como las políticas de distribución de los mismos se orientan hacia la construcción y modernización de carreteras y típicamente, se restringen las inversiones para la conservación de carreteras, obligando a retrasar la aplicación de medidas y acciones adecuadas para mantener en buen estado y elevar los niveles de servicio. Lo anterior implica poner en riesgo la capacidad de operación de la red de carreteras, la cual es vital para el desarrollo de una región. Según PIARC (2004) la conservación vial puede ser descrita como preventiva, ya que su objetivo es ahorrar costos futuros. Por ende, es prioritario designar trabajos de conservación orientados a mitigar riesgos futuros o a extender la vida útil del activo, no a reparar defectos existentes.

2.1.2. Etapas de la conservación vial

En la actualidad se aplican una serie de equipos y procedimientos para determinar las actividades de conservación de carreteras. A continuación, se detallan las etapas consideradas en países de la región tal como México para determinar la conservación de sus pavimentos (SCT,2014):

Auscultación: La auscultación de pavimentos es aplicable a una red de carreteras a cargo de una dependencia, para que a través de un sistema de gestión se determinen las inversiones requeridas para conservarla en buen estado de operación, se definan las prioridades de atención y se realice la programación de los trabajos por ejecutar. La auscultación se realiza con equipos de tecnología reciente de alto rendimiento (que funciona a velocidades de operación) para obtener diversa información sobre las condiciones de servicio y estructurales de los pavimentos.

Evaluación: La evaluación de un pavimento se aplica a un tramo específico de una carretera y tiene como objetivo determinar las condiciones de servicio, de capacidad estructural y de calidad de materiales, mediante equipo especializado y diversos procedimientos, a fin de determinar su estado de servicio o de funcionamiento.

Estudios: El análisis de la información obtenida en la evaluación de un pavimento se realiza mediante la aplicación de criterios y métodos de diseño, considerando además otros aspectos como el nivel de tránsito prevaeciente y las condiciones de drenaje y climáticas del lugar, a efecto de revisar su vida remanente y definir diversas opciones de rehabilitación o de reconstrucción, que permitan lograr un nuevo periodo de vida útil, con un mejor nivel de servicio y de seguridad, para finalmente seleccionar la que resulte más conveniente, considerando su costo-beneficio.

Dictamen Técnico: Cuando sólo se requiere mejorar las condiciones de la superficie de rodadura de un tramo específico de una carretera, para resolver fallas de tipo funcional, se formula un Dictamen Técnico, aplicando estudios específicos orientados a confirmar que el origen de las fallas sólo afecta a la superficie de rodadura.

Proyecto: El proyecto es formulado para definir los aspectos particulares y las especificaciones de calidad y acabados, a fin de que pueda llevarse a cabo la ejecución de los trabajos de conservación que fueron seleccionados y aprobados por la Dependencia responsable, como la mejor alternativa para atender la rehabilitación o reconstrucción del pavimento de un tramo carretero.

En la Tabla 1. se presentan las etapas y tipos de solución que se aplican para definir la conservación de pavimentos.

Tabla 1. Etapas y tipo de solución para la conservación de pavimentos

| Etapas y Trabajos para la Conservación de Pavimentos | Tipos de solución para definir la conservación de pavimentos | | |
|--|--|----------------|--------------|
| | Mejoramiento superficial | Rehabilitación | Construcción |
| Auscultación (Para Gestión de pavimentos) | x | x | x |
| Evaluación | x | x | x |
| Estudios | x | x | x |
| Dictamen Técnico | x | | |
| Proyecto | | x | x |

Nota: elaboración a partir del autor (SCT,2014)

2.2. Pavimentos

Los pavimentos son estructuras constituidas por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante de la vía con el objeto de soportar las cargas del tránsito durante un periodo de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura (MOPT, 2015, p. 39).

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) las estructuras de pavimento cumplen un conjunto de funciones, las cuales se comentan a continuación (IMT,2002):

- a) Proporcionar una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo del periodo de diseño considerado.
- b) Resistir el tránsito previsto para el periodo de diseño y distribuir las presiones verticales producidas por las cargas de tránsito de tal forma que solo llegue una mínima porción de estas cargas a la subrasante para que esta sea capaz de soportarlas.
- c) Constituir una estructura resistente a los factores climatológicos del lugar en el que es construido, como el agua y la temperatura.

2.2.1. Clasificación de los pavimentos

- a) Pavimentos Flexibles: Pavimento cuya superficie de ruedo está constituida principalmente por mezcla asfáltica. En estos pavimentos la totalidad de la estructura interviene en la distribución de cargas. Dicha distribución depende de la trabazón entre agregados, la fricción entre partículas y cohesión, es decir la estabilidad (MOPT, 2015, p.191).
- b) Pavimentos rígidos: Pavimento cuya superficie de ruedo está constituida principalmente por concreto hidráulico. En estos pavimentos las cargas son absorbidas por la losa de concreto y las capas inferiores deben servir de apoyo (MOPT, 2015, p. 255).

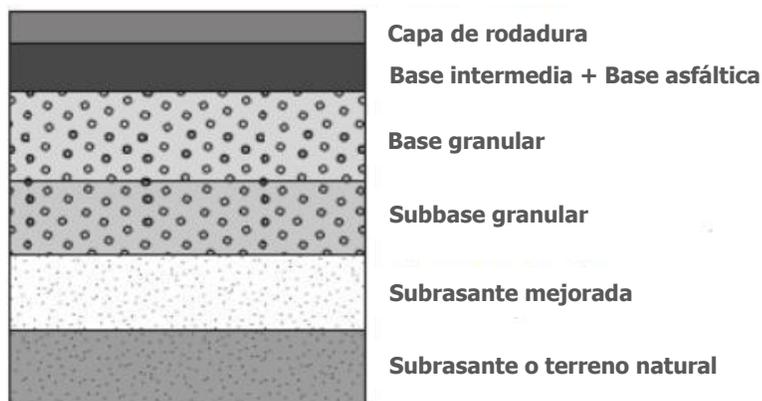


Figura 3. Sección transversal típica de un pavimento flexible
Nota: modificado a partir de los autores (Rondón y Reyes, 2015)

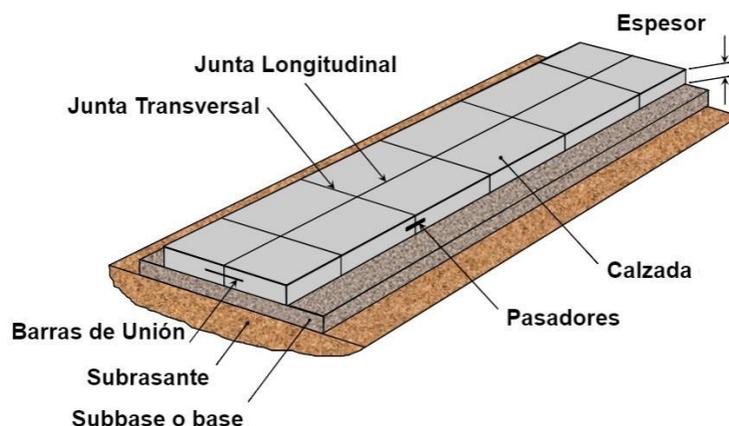


Figura 4. Sección transversal típica de un pavimento rígido
Nota: tomado de Calo (2012)

Tipos de pavimentos rígidos

- Pavimento de concreto simple (JPCP): este tipo de pavimento está conformado por losas de concreto no reforzadas, por ende, utiliza juntas de contracción transversal con el propósito de controlar la fisuración de las losas. Este sistema utiliza dovelas colocadas en las juntas de manera transversal para permitir la transferencia de carga entre ellas y barras de anclaje colocadas longitudinalmente (Instituto Nacional de Vías) (INVIAS, 2006).

- Pavimento de concreto reforzado (JRCP): Son pavimentos que utilizan juntas de contracción y acero de refuerzo con el propósito de controlar la generación de fisuras de las losas, el cual permite la construcción de juntas con mayor separación entre ellas (7-15 m.). Este sistema también utiliza dovelas colocadas transversalmente para permitir la transferencia de carga entre losas (INVIAS, 2006).
- Pavimento de concreto continuamente reforzado (CRCP): corresponde a pavimentos cuya losa de rodadura es reforzada a través de acero en la parte superior e inferior para controlar las fisuras transversales, las cuales se presentan en intervalos típicos de 1.10 y 2.40 m. con aberturas mínimas típicamente de 0.5 mm (INVIAS,2006).

2.2.2. Generalidades de los pavimentos flexibles y rígidos

Según lo establecido por Ruiz (2008) a continuación, se presentan algunos aspectos generales de los pavimentos flexibles o asfálticos y los pavimentos rígidos, con la finalidad de mostrar algunos criterios que permiten diferenciar ambos tipos de pavimentos entre sí. Según la experiencia nacional e internacional, se establece como punto de partida que ambas modalidades pueden resolver satisfactoriamente los requerimientos de una carretera a construir. Considerando lo anterior, típicamente se establecen dos criterios diferenciales entre estos dos tipos de pavimentos, las cuales se establecen como:

- Criterio económico: se refiere al costo inicial de cada alternativa, al costo de conservación de la misma en un determinado ciclo de vida y al costo de operación de los vehículos que transiten por el pavimento considerado.
- Criterio funcional: se refiere a que tan bien servirá a los usuarios cada una de las alternativas, es decir, lo anterior también considera los inconvenientes que cada tipo de pavimento tendrá con respecto a la fluidez del tránsito producto de las acciones de conservación importantes que requiera cada estructura.

Análisis de costos

En ambos tipos de estructuras parece existir como principal diferencia el costo de inversión inicial de construcción, sin dejar de lado su debido balance con los costos de mantenimiento

y de operación de transporte. La inversión inicial para la construcción de un pavimento asfáltico típicamente es menor a la requerida para un pavimento de concreto. Sin embargo, se considera que los pavimentos de concreto hidráulico al tener una vida útil mayor, requerir menores gastos de mantenimiento y además, facilitar los trabajos de reparación, resultan a largo plazo más económicos que los pavimentos asfálticos durante su vida útil. En este tipo de análisis se toma en cuenta no sólo el costo inmediato, sino también el costo de mantenimiento de ambos tipos a lo largo de 20-25 años.

Al comparar diferentes alternativas de pavimentación a través de indicadores como el valor presente neto, el pavimento rígido puede resultar más barato, esto se debe principalmente a que los costos de mantenimiento de los pavimentos rígidos son menores. Según la Asociación de Cemento Portland (PCA por sus siglas en inglés) las ventajas de los costos a largo plazo de los pavimentos de concreto podrían traducirse en costos de mantenimiento futuros más bajos según se observa en la Figura 5. En la Figura mencionada se muestran los resultados de la estimación realizada por PCA al comparar ambos tipos de pavimentos, en un periodo comprendido a partir del año 2003 y proyectado hasta el año 2019 usando el software de costos de pavimentación del Departamento de Transporte de Wisconsin, USA denominado "Wispave" (PCA,2012).

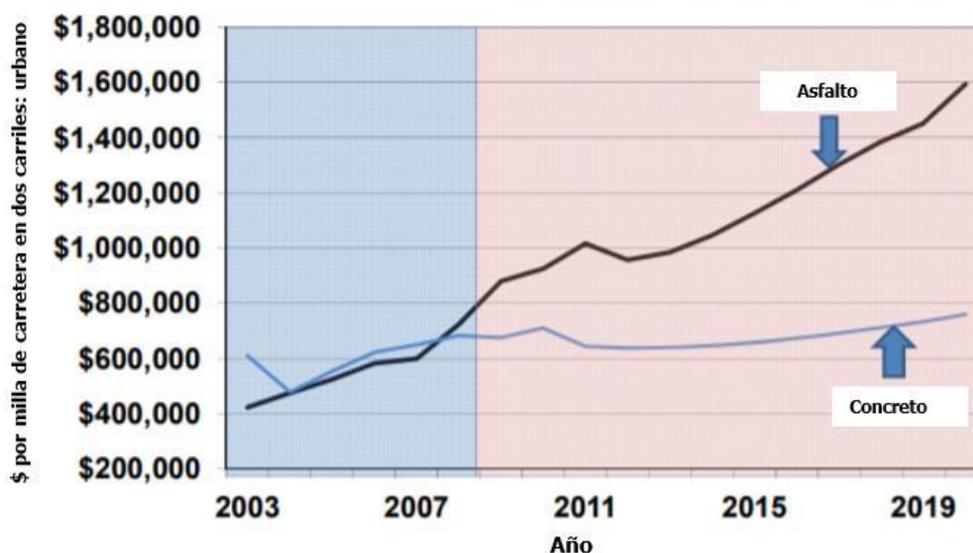


Figura 5. Costos del Ciclo de vida de pavimento de Concreto vs Asfalto
Nota: modificado a partir del autor (PCA, 2012)

Funcionalidad y operación

Los pavimentos rígidos típicamente se especifican para una vida útil mínimo de 25 años en comparación con los pavimentos flexibles cuyo periodo de vida útil suele considerarse en un rango de 10 a 20 años. Con respecto a la operación, el nivel de confort que experimentan los usuarios a bordo del vehículo es mayor sobre pavimentos asfálticos que sobre pavimentos rígidos. Lo anterior, debido a la naturaleza misma del pavimento asfáltico, es decir, a su flexibilidad y debido a que en ocasiones la superficie de rodadura se compone de mezcla asfáltica distribuida en varias capas y no solo en una (losa de concreto) como es el caso de los pavimentos de concreto

En relación a los deterioros críticos que pueden afectar el nivel de confort de los usuarios, ambos tipos de pavimentos se encuentran sujetos a deterioros críticos originados por las cargas de tránsito y los efectos del clima, los cuales tienden a presentarse a corto y mediano plazo, principalmente cuando no se gestionan adecuadamente.

Diseño

Las diferencias en el diseño radican en la forma en que estos pavimentos distribuyen las cargas al suelo de soporte (subrasante) según se observa en la Figura 6. En un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de concreto se produce una buena distribución de las cargas de las ruedas de los vehículos, dando como resultado esfuerzos muy bajos en la subrasante. Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del concreto, los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de concreto más que en la capacidad de la subrasante.

Los pavimentos flexibles típicamente se caracterizan por ser sistemas de múltiples capas, conformados por las capas de mejor calidad cerca de la superficie, es decir, donde los esfuerzos son mayores. Generalmente la capa superior de rodadura está compuesta por concreto asfáltico. En el caso de los pavimentos flexibles, estos trabajan distribuyendo la carga desde las capas superiores a las inferiores hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante.

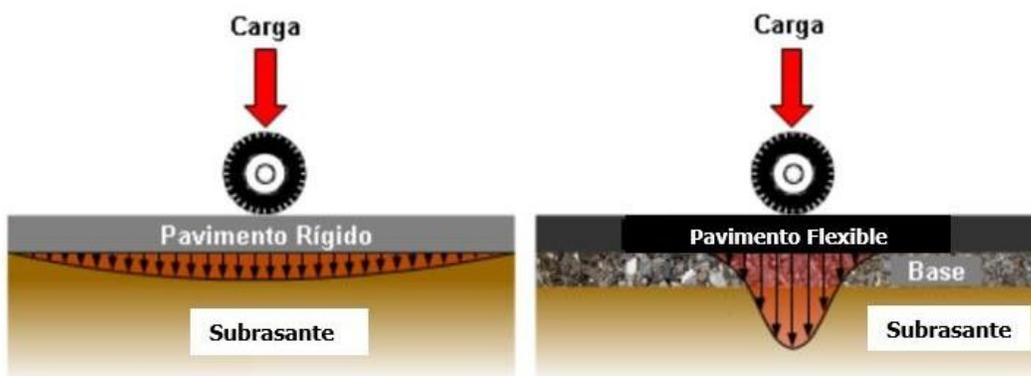


Figura 6. Comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos
 Nota: modificado a partir del autor (Ruiz, 2008)

Construcción

Con respecto a la construcción de estos sistemas, los estudios realizados y la experiencia adquirida a través del tiempo establecen que tanto los pavimentos rígidos como los pavimentos flexibles representan opciones viables para la buena construcción de carreteras.

Seguridad

El factor seguridad es de vital importancia para ambos tipos de pavimentos, por tanto, típicamente se exige el cumplimiento de especificaciones en cuanto a diseño y construcción de estos sistemas con el propósito de garantizar superficies de rodadura seguras para los usuarios.

En términos generales, los tipos de pavimentos mencionados tienen múltiples ventajas y, por ende, la selección entre una alternativa u otra no puede ser juzgada a priori, es necesario realizar toda una evaluación de las condiciones y características de la obra, para poder elegir la opción más idónea. Además de tener en cuenta las ventajas que ofrece uno frente al otro en igualdad de circunstancias, deben considerarse los potenciales problemas que presentan a través del tiempo, para poder tomar la decisión técnica más conveniente.

2.2.3. Deterioros en estructuras de pavimentos

Los deterioros en las estructuras de pavimentos corresponden a los diferentes daños visibles que presenta la superficie de rodadura de un pavimento como resultado de interacciones complejas de diferentes factores tales como el efecto de las cargas del tránsito, medio ambiente, prácticas de diseño y construcción, condiciones de soporte, materiales, y procedimientos de mantenimiento, que perjudican la condición de circulación segura y confortable, y que a su vez son capaces de incrementar los costos de operación vehicular (Peshkin et al.,2011). Con relación a lo mencionado anteriormente, los deterioros presentes en un pavimento se consideran como cualquier defecto visible o forma de deterioro en la superficie de un pavimento, y es considerada la medida más básica del desempeño de un pavimento existente (Smith, Harrington, Pierce y Preshant, 2014).

Según Cruz (2013) algunos factores relacionados con las causas principales por las que se deteriora un pavimento son:

- a) Efecto de las cargas de tránsito: se refiere al efecto de las continuas repeticiones de carga causadas por el tránsito, los cuales generan deterioros críticos que afectan el desempeño del pavimento.
- b) Efectos del medio ambiente: las condiciones ambientales tales como temperaturas extremas, intemperismo, lluvias, fenómenos meteorológicos, sismos y derrumbes se destacan como una de las principales causas de deterioros en los pavimentos.
- c) Prácticas de diseño: se refiere al conjunto de actividades relacionadas con las normativas de diseño geométrico y estructural de una obra vial y a la selección del tipo de pavimento para una determinada zona.
- d) Prácticas de construcción: está relacionado con las deficiencias en la ejecución de los procesos constructivos, deficiencia en la elección del equipo de construcción y en especial a la carencia de un control de calidad que afectan el comportamiento de la estructura en conjunto.

- e) Calidad de los materiales: relacionadas con las actividades de selección de los materiales adecuados para las condiciones específicas del cada proyecto y la carencia del control de calidad de los materiales.
- f) Deficiencias de mantenimiento: generalmente ligada a la mala selección de las estrategias o acción tardía de las mismas.

Según Peshkin et al. (2011) los deterioros se pueden dividir en dos grandes categorías, según se comenta a continuación:

- Deterioro funcional: Deterioro que afecta la capacidad del pavimento para proporcionar una superficie segura, uniforme y cómoda para conducir. La mayoría de los problemas funcionales se pueden corregir con técnicas de preservación si no hay un problema estructural subyacente grave.
- Deterioro estructural: Deterioro causado por carga excesiva, espesor insuficiente o falta de soporte estructural. Los pavimentos con dificultades estructurales considerables no son buenos candidatos para la aplicación de técnicas de preservación.

Smith et al. (2014) establece que, para describir completamente el deterioro del pavimento, se deben considerar los siguientes tres factores:

- Tipo: el tipo de deterioro está determinado principalmente por mecanismos similares de ocurrencia y apariencia. Al identificar los tipos de deterioro, se puede inferir una gran cantidad de información sobre las causas subyacentes del deterioro.
- Severidad: la severidad representa la criticidad del deterioro en términos de progresión; es decir, los deterioros con una severidad más alta requerirán alternativas de tratamiento más extremas.
- Extensión: este factor corresponde a la cantidad y el nivel de severidad de cada tipo de deterioro, las cuales deben medirse y registrarse.

Los niveles de severidad y extensión de los deterioros se utilizan como parámetros para clasificar la condición del pavimento. La Figura 7 muestra la relación entre la severidad, extensión de los deterioros y las estrategias de intervención adecuadas según las características mencionadas.

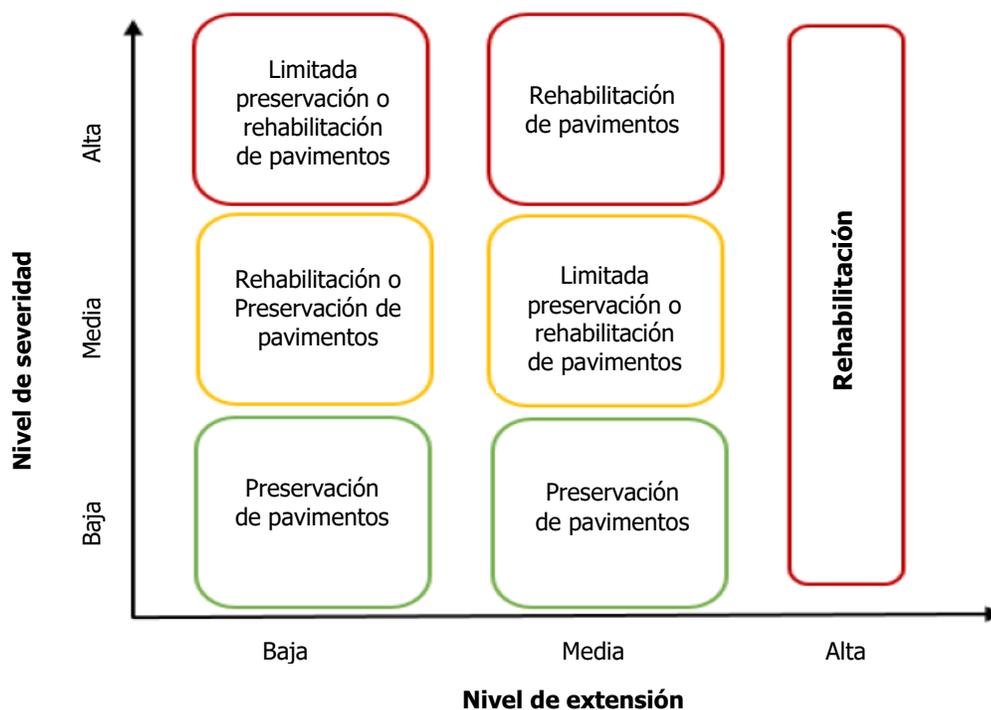


Figura 7. Relación entre características de deterioros y estrategias de intervención
Nota: modificado a partir de los autores (Abdelaty et al.,2015)

En términos generales, los estudios de evaluación de deterioros presentes del pavimento son el primer paso en el proceso general de evaluación del pavimento y sirven como base para evaluar la idoneidad del pavimento para recibir diversas estrategias de intervención según la condición, entre ellas la preservación de pavimentos.

2.2.3.1. Categorías de deterioros en pavimentos flexibles y Rígidos

Para ser coherentes en la forma en que se determinan el tipo, la severidad y la extensión de los deterioros durante una evaluación se deben adoptar protocolos de medición del deterioro tales como los catálogos de deterioros. En los últimos años, se ha logrado un avance significativo en la estandarización de los procedimientos para la evaluación de pavimentos. En el caso de los Estados Unidos la mayoría de los Departamentos de Transporte han desarrollado sus propios manuales o adoptado varios estándares AASHTO para evaluar el estado de sus pavimentos (Smith et al,2014). Actualmente existen múltiples catálogos de deterioros que presentan metodologías para establecer un diagnóstico sobre la patología de los pavimentos.

A continuación, se muestra un resumen comparativo de diferentes catálogos de deterioros utilizados en diversos países de la región con el objetivo de definir el catálogo que servirá de referencia para este estudio. Por tanto, se comparará el contenido y las principales categorías de deterioros para los pavimentos, tanto flexibles como rígidos de manera general, según se muestra en las Tabla 2 y Tabla 3. Cabe destacar que la mayoría de estos se comentarán a detalle posteriormente en el capítulo 3 de esta Guía, indicando su descripción básica y características.

El análisis comparativo de catálogos para pavimentos flexibles y rígidos se realizará, según se desglosa a continuación:

- Catálogo de Deterioro de Pavimentos. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica (2002).
- Manual de Identificación de deterioros para el programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (FHWA,2014).
- Manual Para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles y Rígidos (INVIAS,2006).
- Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV,2016) (MOPT 2016).
- ASTM D6433 (2018). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. Pennsylvania, United States: ASTM International.

Tabla 2. Comparativo de catálogos de deterioro para pavimentos flexibles

| Deterioro | *CDDII | FHWA | INVIAS | MOPT | ASTM |
|--|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| Grietas | | | | | |
| Cuero de lagarto/Grietas por fatiga | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grieta longitudinal y transversal | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Agrietamiento por reflejo de juntas | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grietas en bloque | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grietas de borde | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grietas en arco | | | ✓ | ✓ | |
| Fisuras en juntas de construcción | | | ✓ | | |
| Fisuración por deslizamiento de capas | | | ✓ | | ✓ |
| Fisuración incipiente | | | ✓ | | |
| Textura superficial | | | | | |
| Exudación | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Pulimiento de agregados | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Desprendimiento de agregados | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Desgaste superficial | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| Cabezas duras | | | ✓ | | |
| Surcos | | | ✓ | | |
| Pérdida de la base | ✓ | | | | |
| Deformaciones | | | | | |
| Roderas/Ahuellamiento | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Abultamientos y Hundimientos | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Corrugación | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Depresión | | | | ✓ | ✓ |
| Corrimiento / Desplazamiento | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Hinchamiento | | | | ✓ | ✓ |
| Misceláneos | | | | | |
| Escalonamiento (calzada y el espaldón) | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Baches | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Huecos | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cruce de línea férrea | | | | ✓ | ✓ |
| Bombeo de agua | | ✓ | ✓ | | |
| Parcheo en zanjas reparadas | | | | | ✓ |
| Descascaramiento | | | ✓ | | |
| Otros daños | | | | | |
| Afloramiento de finos | | | ✓ | | |
| Deterioros por defectos constructivos | ✓ | | | | |

Nota: elaboración a partir de los autores

*CDDII= Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica

Tabla 3. Comparativo de catálogos de deterioro para pavimentos rígidos

| Deterioro | CDDII* | FHWA | INVIAS | MOPT | ASTM |
|--|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| Grietas | | | | | |
| Agrietamiento lineal ** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grietas de esquina | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grietas por contracción | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grietas en malla o resquebrajadura | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Losa dividida | | | | ✓ | ✓ |
| Grietas en pozos y sumideros | | | ✓ | | |
| Agrietamiento por durabilidad | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Deterioro superficial | | | | | |
| Pulimiento de agregados | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Desprendimiento de Agregados | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| Juntas | | | | | |
| Daño en el sello de junta | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fracturas de esquina | ✓ | | | ✓ | ✓ |
| Fracturas de junta | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Separación de la junta longitudinal | ✓ | | ✓ | | |
| Falla de juntas transversales | | ✓ | | | |
| Misceláneos | | | | | |
| Voladura (Blow up) | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Escalonamiento entre calzada y juntas | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Escalonamiento entre calzada y espaldón | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Bombeo | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Punzonamiento (Punchout) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Baches mayores y menores | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cruce de línea férrea | | | | ✓ | ✓ |
| Separación entre la berma y el pavimento | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Ondulaciones | | | ✓ | | |
| Popouts | | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Parche deteriorado | ✓ | | | | |

Notas: elaboración a partir de los autores

*CDDII= Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica

**El agrietamiento lineal incluye el agrietamiento longitudinal, transversal y diagonal.

A partir de la comparación que se muestra en las tablas anteriores se observó que existe una gran similitud entre las categorías de los distintos catálogos y con diferencias no significativas. Sin embargo, es necesario indicar que los criterios para determinar la magnitud del deterioro y su grado de severidad, para efectos de valorar los niveles de deterioro y definir las opciones de su intervención, varían en los diversos catálogos y manuales de auscultación que se disponen.

Por lo tanto, para efecto de uniformizar la valoración de los deterioros y facilitar la validación de la guía posteriormente. En el presente documento, para ambos tipos de pavimento se hará uso del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV 2016). Este manual consiste en un catálogo completo que utiliza como base la norma ASTM D6433 (Práctica Estándar para la determinación del Índice de Condición de Carreteras y Estacionamientos), incorpora estudios internacionales de relevancia y se complementa con los manuales de auscultación mencionados anteriormente en el análisis comparativo.

Los niveles de severidad son criterios adoptados para diferenciar la gravedad del daño, estos se basan fundamentalmente en la apreciación del grado de deterioro que pueda presentar cada daño en particular. En términos generales los niveles de severidad adoptados para este trabajo son: severidad baja, severidad media y severidad alta.

Según el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV 2016), en la Tabla 4, a manera de resumen los deterioros que puede presentar una estructura de pavimento flexible y rígida pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

Tabla 4. Clasificación de categorías de deterioro de pavimentos flexibles y rígidos

| Pavimentos flexibles | Pavimentos rígidos |
|-----------------------------|---------------------------|
| Grietas | Grietas |
| Textura superficial | Deterioro superficial |
| Deformaciones | Juntas |
| Misceláneos | Misceláneos |

Nota: elaboración a partir del autor (MOPT, 2016)

2.2.4. Sistemas de gestión de pavimentos

Un Sistema de Administración o Gestión de Pavimentos es uno de los elementos de un Sistema de Administración de Carreteras o de un sistema de Gestión Vial. Según Solminihaç (1998), un Sistema de Gestión de Pavimentos "es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad, y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas

y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión. Todo lo anterior minimizando los costos monetario, social y ecológico”.

Para la Asociación de Transportes de Canadá (1997), el propósito de la administración de pavimentos es lograr la mejor condición posible de acuerdo con los fondos públicos disponibles. Esto según ellos, es cumplido mediante la comparación de alternativas de inversión tanto a nivel de red, como de proyecto, los cuales son los dos niveles que componen un Sistema de Gestión de Pavimentos. En la Figura 8 se observa la estructura típica dentro de un Sistema de Gestión de Pavimentos.

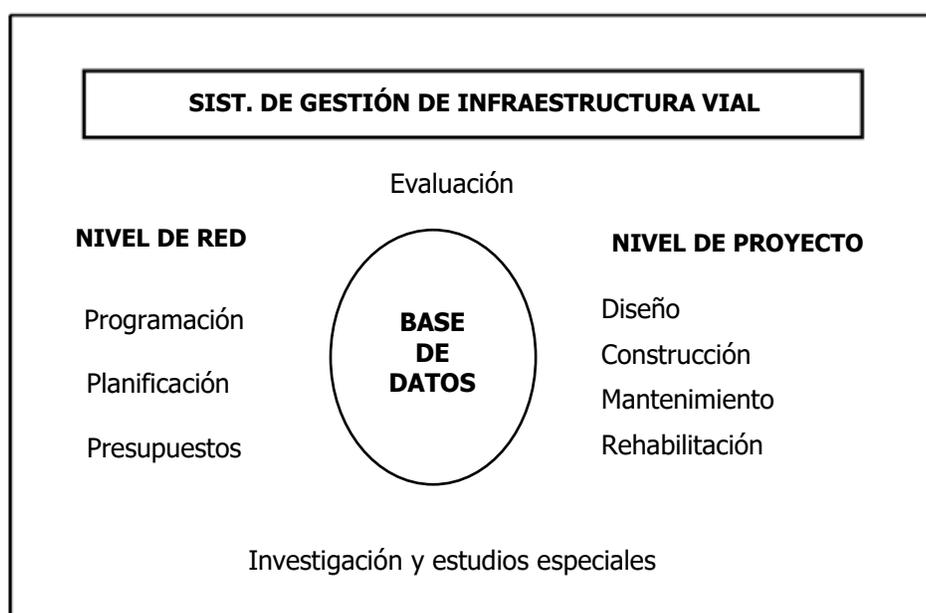


Figura 8. Estructura de un Sistema de Gestión de Pavimentos.
Nota: tomado de Rodríguez (2012)

La gestión en el nivel de red permite determinar las necesidades de las obras requeridas en un conjunto de vías. En este nivel se desarrolla un programa prioritario y organizado de rehabilitación, mantenimiento o reconstrucción de pavimentos teniendo en cuenta la restricción de presupuestos. Según Austroads (2019) este tipo de gestión facilita la toma de decisiones para la programación presupuestaria a largo plazo "basada en las necesidades" para abordar el estado general de la red.

La gestión a nivel de proyecto define claramente los requerimientos de un proyecto en particular. Según Austroads (2019) a través de este tipo de gestión se abordan las alternativas de mantenimiento y rehabilitación más rentables para cada tramo de carretera. La Figura 9 muestra las diferencias entre las actividades de los niveles en Sistemas de Administración de Pavimentos.

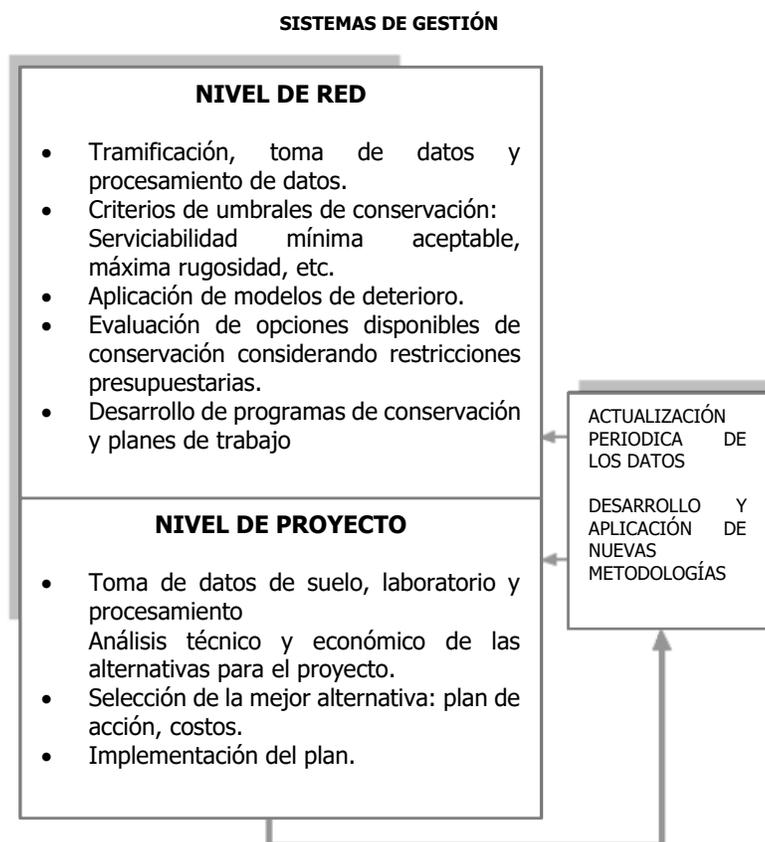


Figura 9. Principales actividades en los Sistemas de Gestión de Pavimentos.
Nota: tomado de Rodríguez (2012)

2.2.5. Evaluación del desempeño de un pavimento

AASHTO (1993) hace mención que el desempeño de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural, funcional y de seguridad medibles a lo largo de su período de diseño. Según el Departamento de Transporte de Delaware (DeIDOT) para llevar a cabo la medición del desempeño de un pavimento los procesos de evaluación y clasificación de la condición del pavimento son fundamentales. Estos procesos de evaluación y clasificación de la

condición se realizan a través de la recolección de datos del pavimento y el establecimiento de indicadores de su condición respectivamente (DeIDOT,2013). DeIDOT (2013) llevó a cabo una importante recopilación en relación a estos últimos dos factores según se comenta a continuación:

2.2.5.1. Recolección de datos

Los datos que se recopilan durante la evaluación dependen del tipo de pavimento, ya sea rígido o flexible. Los tipos de datos recopilados se pueden clasificar en cuatro grupos, los cuales son datos de deterioro, capacidad estructural, capacidad funcional (datos de calidad de conducción) y capacidad de seguridad (datos de resistencia al deslizamiento).

El proceso de recolección de datos se puede realizar tanto a nivel de red como a nivel de proyecto. Los datos recopilados a nivel de red difieren de los recopilados a nivel de proyecto. Por lo general, los datos a nivel de proyecto son más detallados en comparación con el nivel de red. Ambos tipos de datos se utilizan para la toma de decisiones, pero los datos a nivel de proyecto también se pueden utilizar para perfeccionar las recomendaciones de tratamiento generadas por el sistema de gestión a nivel de red (FHWA,2013).

Generalmente, los datos y el modelado a nivel de red se utilizan para la planificación y priorización de actividades. Por otro lado, los datos y el modelado a nivel de proyecto se utilizan para establecer intervenciones y acciones específicas para un determinado proyecto, el cual es el enfoque principal del presente trabajo (FHWA,2013).

Los datos de deterioro describen los tipos, la severidad y la extensión de los daños en la superficie del pavimento. Este tipo de datos suele recopilarse a través de imágenes y videos del pavimento, los cuales son analizados por ingenieros capacitados que identifican los problemas presentes. Del mismo modo, los datos también se pueden recopilar mediante inspecciones visuales durante los estudios de evaluación de la condición. Esta información se utiliza principalmente como base para determinar el tipo de estrategia de intervención que se requiere para una sección particular de pavimento.

Los datos de capacidad estructural dan una indicación de la capacidad de soportar las cargas de tránsito del pavimento. Esta recopilación de datos generalmente se realiza a nivel de proyecto utilizando métodos destructivos y no destructivos. Las mediciones de deflexión se utilizan típicamente para calcular la capacidad de transferencia de carga de las capas estructurales y, por lo tanto, la capacidad estructural del pavimento.

Los datos de calidad de la conducción se refieren al IRI (índice de regularidad internacional), datos de perfil y datos de clasificación de capacidad de servicio actual (PSR). Estos datos dan una indicación de la comodidad de viajar por un tramo en particular. Este tipo de datos está asociado con la calidad del viaje que experimentan los usuarios de la carretera o la capacidad funcional del pavimento y generalmente se cuantifica utilizando el IRI o PSR.

La resistencia al deslizamiento se relaciona con la capacidad del pavimento a brindar seguridad a los usuarios, se relaciona en términos de fuerza de fricción superficial, la cual se define como la fuerza desarrollada en la interfase rueda - pavimento que resiste al deslizamiento cuando se aplican las fuerzas de frenado. Esta resistencia depende de la microtextura y macrotextura de los pavimentos. Generalmente se expresa en términos de un factor de fricción (F_o) o un número de deslizamiento (SN por sus siglas en inglés).

La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas. En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad y un riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. No obstante, hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural (por ejemplo, la pérdida de resistencia al deslizamiento traducida en una vía resbaladiza) (AASHTO,1993).

Cabe mencionar que la calificación de condición de los pavimentos se basa en los tipos de datos antes mencionados. Algunos sistemas de clasificación de condición se basan en una sola categoría de datos o en una combinación de los cuatro tipos (DelDOT, 2013).

Métodos de recolección de datos

Los dos enfoques utilizados para recopilar datos sobre el pavimento son los métodos de evaluación manual y automatizado. Actualmente, en EE. UU la mayoría de los DOT estatales están avanzando hacia el enfoque automatizado, sin embargo, los métodos manuales tienen características únicas que hacen que los DOT sigan confiando en ellos (DeIDOT,2013).

Con respecto a los métodos de recopilación de deterioros, los cuales representan el insumo principal de este trabajo, si bien es cierto la tecnología moderna ha hecho de la recopilación automatizada de datos de deterioro una alternativa más factible a nivel de red, con frecuencia se prefiere la recopilación de datos producto de evaluaciones de deterioros manuales a nivel de proyecto (Smith et al.,2014).

Un levantamiento manual de deterioros es una evaluación "a pie" o de parabrisas del pavimento en la que los inspectores calificados evalúan todos los límites del proyecto y se encargan de identificar, medir, registrar y mapear todos los deterioros. Los datos se registran en papel y se pueden analizar en papel o con una computadora después de ser transcritos a una base de datos, por ende, se recomienda el uso de formatos predeterminados para el registro ordenado de la información (Smith et al.,2014).

Los levantamientos automatizados, por otro lado, utilizan vehículos especialmente equipados con láseres y cámaras de alta resolución que recopilan imágenes de video de la superficie de la carretera y de la perspectiva de los conductores, así como perfiles transversales y longitudinales en los límites de velocidad indicados. Si se realiza una encuesta automatizada, el nivel de detalle debe ser suficiente para cuantificar la condición del pavimento necesaria para la selección del tipo de tratamiento de preservación (Smith et al.,2014).

Existen métodos semiautomatizados y totalmente automatizados en función de cómo se procesen y analicen los datos adquiridos. En los métodos semiautomatizados, las imágenes adquiridas son revisadas y analizadas por personal capacitado para identificar los deterioros.

En los métodos totalmente automatizados, el software de reconocimiento de patrones se utiliza para clasificar y calificar los deterioros del pavimento (DeIDOT,2013).

La preferencia de la Administración por uno de estos métodos de recopilación o incluso una combinación de ellos se basará en la cantidad de recursos financieros y capital humano que tiene, así como en el nivel de detalle y precisión de los datos requeridos.

2.2.5.2. Sistemas de calificación de la condición de pavimentos

El índice de condición de una sección de pavimento se refiere a un puntaje que cuantifica el desempeño del mismo. Esta calificación se basa en medidas como regularidad, resistencia al deslizamiento, deflexión, deterioros presentes entre otras obtenidas durante el proceso de recolección de datos. Los índices de condición se utilizan como base para comparar el desempeño de dos secciones de la carretera. Lo más importante es que ayudan a las agencias a determinar el alcance y la gravedad de los daños del pavimento, estimar el costo de preservación y/o rehabilitación y además priorizar los procedimientos de tratamiento. También se utilizan como base para la planificación de presupuestos (DeIDOT,2013).

A través del tiempo se han desarrollado múltiples métodos de calificación de la condición de los pavimentos. En la década de 1950, en EE. UU la calificación del estado del pavimento era realizada a través del índice denominado "Present Serviceability Rating" (PSR) desarrollado por la AASHO, el cual utilizaba una escala de 0 a 5 basado en la calificación subjetiva de un panel de evaluadores. A pesar de que este era un procedimiento simple, las calificaciones no proporcionaban una base de ingeniería adecuada para determinar el tipo y el alcance de los trabajos de mantenimiento que se realizarían en los pavimentos deteriorados. A finales de la década de 1950 se desarrolló el índice denominado como Present Serviceability Index (PSI) el cual era una expresión matemática que brindaba la condición de las secciones del pavimento en función del tipo, la severidad y la extensión de algunos deterioros. El PSR y el PSI fueron ampliamente aceptados en varios estados. Sin embargo, a fines de la década de 1960, algunos estados comenzaron a desarrollar índices propios para abordar diversos problemas del pavimento.

Clasificación de los índices de condición

Actualmente se utilizan diferentes enfoques para calificar el estado del pavimento. Sin embargo, los sistemas de calificación de la condición se pueden agrupar en dos grupos principales (DelDOT,2013):

- Índices de condición estimados: se basan en las condiciones físicas observadas de los pavimentos.
- Índices de condición medidos: no solo se basan en observaciones de inspectores capacitados, sino que también están respaldados por mediciones físicas directas de las características del pavimento y expresiones matemáticas. Este sistema es el más utilizado por la mayoría de las agencias estatales de Estados Unidos ya que brindan una calificación más objetiva del desempeño de los pavimentos.

A continuación, en la Figura 10. se muestran un conjunto de índices agrupados en ambos sistemas de clasificación de la condición del pavimento:

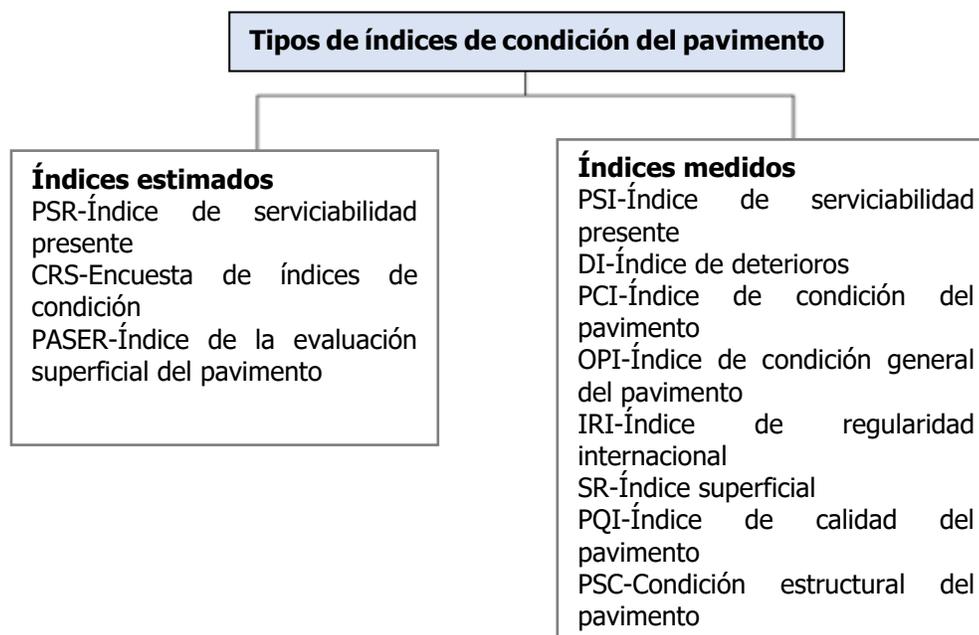


Figura 10. Tipos de índices de condición del pavimento
Nota: modificado a partir del autor (DelDOT, 2013)

*Nota: las siglas iniciales de cada índice mostrado en la Figura 10. corresponden a sus siglas en inglés, según se encuentran en la literatura.

Para fines del presente estudio y con el propósito de ser congruente con los potenciales índices a utilizar en el país, se hará uso del índice de condición del pavimento (PCI por sus siglas en inglés), como enfoque principal. El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un sistema de calificación medida que fue desarrollado en 1976 por El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU (USACE por sus siglas en inglés) y esta estandarizado a través de la norma ASTM D6433-20. Este índice actualmente continúa siendo utilizado por varias Agencias Estatales de los EE. UU y diversos países de Latinoamérica tal es el caso de Costa Rica.

El Índice de condición del pavimento (PCI) consiste en un índice numérico que se utiliza para representar la integridad estructural del pavimento y la condición operativa de la superficie basado en el deterioro observado. El índice resultante, el PCI, varía de 0 (peor condición) a 100 (mejor condición) de acuerdo a la escala mostrada en la Figura 11. Este índice considera los tipos, la severidad y la cantidad o extensión de los deterioros. Los efectos asociados a estos factores se combinan en un valor de PCI compuesto a través de "factores de ponderación" establecidos para que refleje el desempeño general del pavimento. El promedio ponderado de los PCI para múltiples subsecciones se considera la condición de toda la sección. (Smith et al.,2014).

Smith et al. (2014) comenta que el procedimiento PCI está diseñado principalmente para fines de gestión del pavimento a nivel de red, no solo para documentar la condición actual del pavimento sino también para desarrollar modelos de predicción para pronosticar la condición futura del pavimento. Sin embargo, la metodología es lo suficientemente completa y flexible como para que se pueda utilizar en análisis a nivel de proyecto. Cabe mencionar que el procedimiento y ejemplos de la estimación del PCI se especifica en el MAV,2016, por tanto, se considerará como referencia para su determinación

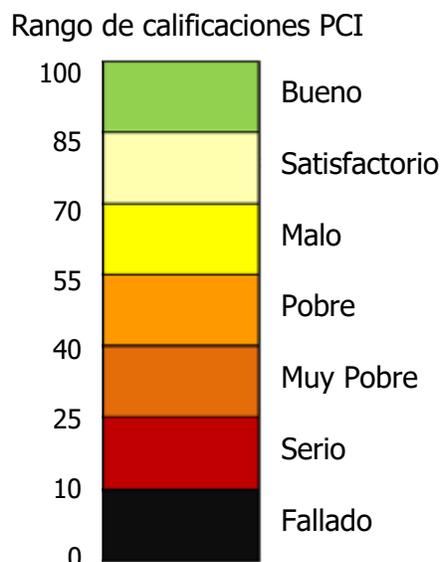


Figura 11. Rangos de calificaciones PCI
Nota: tomado de MAV (2016)

2.3. Preservación de pavimentos

La preservación de pavimentos representa un enfoque proactivo en el mantenimiento de las carreteras existentes. Permite reducir los costosos proyectos de rehabilitación y reconstrucción que requieren mucho tiempo y las interrupciones del tráfico asociadas. Con la preservación oportuna, se puede proporcionar a los usuarios una mejora en la seguridad y movilidad, una reducción de la congestión y pavimentos más uniformes y duraderos. Este es el verdadero objetivo de la preservación de pavimentos (FHWA, 2005).

De acuerdo con la FHWA (2005) un programa de preservación de pavimentos consta principalmente de tres componentes: mantenimiento preventivo, rehabilitación menor (no estructural) y algunas actividades de mantenimiento de rutina como se ve en la Figura 12. Sin embargo, la mayor parte del trabajo en los programas típicos de preservación de pavimentos se centra en el mantenimiento preventivo. Según Plati (2019) las estrategias de preservación tienen como objetivo mejorar la condición del pavimento y prolongar la vida útil del mismo al menor costo posible, además de mantener de manera simultánea un nivel de calidad general, con especial énfasis en el desempeño de la superficie.



Figura 12. Componentes de la preservación de pavimentos
Nota: elaboración a partir del autor (FHWA, 2005)

Una de las claves para un programa eficaz de preservación de pavimentos es comprender su desempeño. El típico ciclo de vida de un pavimento y las categorías generales de tratamientos que son apropiados en diferentes momentos de la vida del pavimento según su condición se muestran en la Figura 13. Dichas categorías consisten en las zonas de preservación (incluye la rehabilitación menor), rehabilitación mayor y la reconstrucción de pavimentos, las cuales permanecen separadas por rangos de acuerdo a su condición, los cuales permiten definir la transición entre cada categoría.

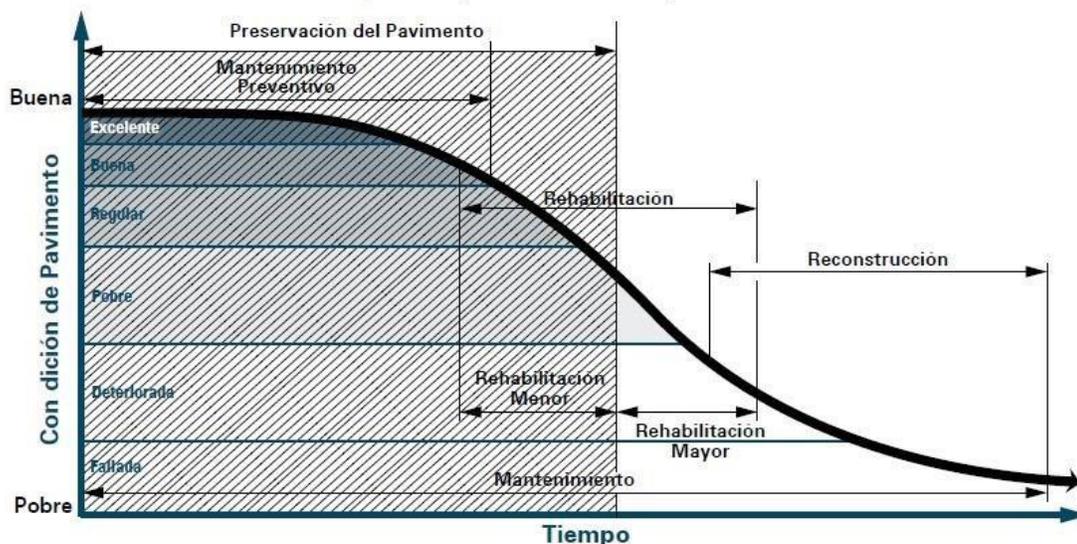


Figura 13. Categorías de tratamiento de pavimentos
Nota: modificado a partir de los autores (Smith et al., 2014)

Un programa efectivo de preservación de pavimentos puede beneficiar a los gobiernos locales a preservar la inversión, mejorar el desempeño del pavimento, garantizar la rentabilidad, extender la vida útil del pavimento, reducir los retrasos de los usuarios y proporcionar una mayor seguridad y movilidad.

Es útil aclarar las distinciones entre los diversos tipos de categorías de intervención de un pavimento, especialmente en el sentido de por qué se considerarían o no preservación. Para que una técnica se considere de preservación de pavimentos, se debe considerar su propósito previsto. Como se muestra en la Tabla 5 a continuación, las características distintivas de las actividades de preservación de pavimentos son que reducen el envejecimiento, restauran características superficiales y mejoran o restauran la funcionalidad del pavimento existente, lo cual se traducen en una extensión de la vida útil de la estructura y, por ende, cabe destacar que no aumentan su capacidad o resistencia.

Tabla 5. Clasificación de las actividades del pavimento por propósito

| Tipo de actividad | Propósito de la actividad | | | | |
|--|---------------------------|----------------------|------------------------|---|-----------------------------------|
| | Incrementar la capacidad | Aumentar Resistencia | Reducir envejecimiento | Restaurar características superficiales | Mejorar o restaurar funcionalidad |
| Nueva construcción | X | X | X | X | X |
| Reconstrucción | X | X | X | X | X |
| Rehabilitación mayor | -- | X | X | X | X |
| Recubrimiento estructural | -- | X | X | X | X |
| Rehabilitación menor ⁽¹⁾ | -- | -- | X | X | X |
| Mantenimiento preventivo ⁽¹⁾ | -- | -- | X | X | X |
| Mantenimiento rutinario ⁽¹⁾ | -- | -- | -- | -- | X |
| Mantenimiento correctivo | -- | -- | -- | -- | X |
| Mantenimiento catastrófico | -- | -- | -- | -- | X |

Nota: Modificado a partir de los autores (FHWA, 2005; Peshkin et al.,2011)

⁽¹⁾ Las actividades en negrita corresponden a la preservación de pavimentos

2.3.1. Definiciones para la terminología de preservación de pavimentos

Generalmente existen diferencias sobre cómo se interpreta la terminología de preservación de pavimentos. Esto puede causar inconsistencias relacionadas con la forma en que se aplican los programas de preservación y se mide su efectividad (FHWA, 2005). A continuación, se presentan las definiciones relacionadas con este tema (FHWA, 2005):

Según un grupo de trabajo de expertos en preservación de pavimentos de la FHWA, la preservación de pavimentos es "un programa que emplea una estrategia a largo plazo a nivel de red que mejora el desempeño del pavimento mediante el uso de un conjunto integrado y rentable de prácticas que extienden la vida útil del pavimento, mejoran la seguridad y cumplen con las expectativas de los usuarios".

Un programa eficaz de preservación de pavimentos abordará los pavimentos mientras aún estén en buenas condiciones y antes de que se produzcan daños graves. Al aplicar un tratamiento rentable en el momento adecuado, el pavimento se restaura casi a su estado original. El efecto acumulativo de los tratamientos de preservación sistemáticos y sucesivos es posponer una rehabilitación y reconstrucción costosa. Durante la vida útil de un pavimento, el valor de descuento acumulado de la serie de tratamientos de preservación de pavimentos es sustancialmente menor que el valor descontado del costo de una reconstrucción, el cual es más alto y, en general, más económico que el costo de la rehabilitación mayor.

El mantenimiento preventivo: es una estrategia planificada de tratamientos rentables para un sistema vial existente y sus componentes que preserva el sistema, retrasa el deterioro futuro y mantiene o mejora la condición funcional del sistema (sin aumentar significativamente la capacidad estructural).

El mantenimiento preventivo se aplica típicamente a pavimentos en buenas condiciones que tienen una vida útil restante significativa. Como componente principal de la preservación de pavimentos, el mantenimiento preventivo es una estrategia para extender la vida útil mediante la aplicación de tratamientos rentables a la superficie o cerca de la superficie de

pavimentos estructuralmente sólidos. Algunos ejemplos de tratamientos preventivos incluyen sellado de grietas, tratamiento superficial, micropavimentos, sobrecapas de mezcla de asfáltica en caliente delgada y ultra delgada, sellado de juntas de concreto, cepillado superficial, restauración de transferencia de carga entre losas y reparaciones de concreto en profundidad parcial y/o total para restaurar la funcionalidad de la losa; también la reparación de grietas en los bordes o esquinas.

La rehabilitación del pavimento: consiste en mejoras estructurales que extienden la vida útil de un pavimento existente y/o mejoran su capacidad de carga. Las técnicas de rehabilitación incluyen tratamientos de restauración y recubrimientos estructurales.

Los proyectos de rehabilitación extienden la vida útil de las estructuras de pavimento existentes, ya sea mediante la restauración de la capacidad estructural existente a través de la eliminación del agrietamiento relacionado con la edad de la superficie del pavimento o al aumentar el espesor del pavimento para fortalecer las secciones de pavimento existentes para acomodar las condiciones de carga de tráfico existentes o proyectadas. Dos subcategorías resultan de estas distinciones, que están directamente relacionadas con la restauración o el aumento de la capacidad estructural.

La rehabilitación menor leve: consiste en mejoras no estructurales realizadas en las secciones de pavimento existentes para eliminar grietas en la superficie de arriba hacia abajo relacionadas con la edad que se desarrollan en pavimentos flexibles debido a la exposición ambiental. Debido a la naturaleza no estructural de las técnicas de rehabilitación menores, este tipo de técnicas de rehabilitación se ubican en la categoría de preservación de pavimentos.

La rehabilitación mayor: consiste en mejoras estructurales que extienden la vida útil de un pavimento existente y / o mejoran su capacidad de carga.

El mantenimiento de rutina: consiste en el trabajo planificado y realizado de manera rutinaria para mantener y preservar la condición del sistema de carreteras o para responder

a condiciones y eventos específicos que restauran el sistema de carreteras a un nivel de servicio adecuado.

El mantenimiento de rutina consiste en actividades cotidianas programadas por el personal de mantenimiento para mantener y preservar la condición del sistema de carreteras a un nivel de servicio satisfactorio. Los ejemplos de actividades de mantenimiento de rutina relacionadas con el pavimento incluyen la limpieza de zanjas y estructuras en el camino, el mantenimiento de la señalización del pavimento, el relleno de grietas, parches de baches y sobrecapas aisladas. El sello y relleno de grietas es considerada la actividad típica de mantenimiento de rutina para reducir la infiltración de agua y reforzar las grietas adyacentes de arriba hacia abajo. Dependiendo del momento de la aplicación, la naturaleza del deterioro y el tipo de actividad, ciertas actividades rutinarias pueden clasificarse como preservación.

2.3.2. Importancia de la preservación de pavimentos

Los pavimentos tienen como propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente. La preservación de pavimentos tiene como objetivo restaurar la condición del pavimento y extender la vida útil del mismo al menor costo posible y, además, mantener una adecuada capacidad funcional, lo cual se evidencia en el desempeño de la superficie (Plati, 2019).

La aplicación de técnicas de preservación de pavimentos procura subir la curva de deterioro a las condiciones iniciales ampliando el período de vida útil del pavimento. La curva de deterioro típica de un pavimento (Figura 14.) indica que cuando el estado físico de un pavimento es bueno, el deterioro es lento y poco visible; posteriormente, el pavimento entra en una etapa crítica y luego en otra de deterioro acelerado que en poco tiempo conduce a un deterioro total.

Mientras los pavimentos se conservan en estado bueno, los trabajos que se requieren son de preservación a un costo muy bajo. A medida que el deterioro se incrementa, se requieren trabajos más costosos y complejos para restituir el buen estado de los pavimentos. Los costos promedios de las actividades de mantenimiento correctivo y de rehabilitación mayor

pueden ser de 1 a 8 veces y hasta 2 veces respectivamente el costo de la preservación de pavimentos (Kelly, Delaney, Chai y Mohamed, 2016), sin embargo, la experiencia internacional establece que la maximización de estos beneficios de la preservación con respecto al costo y mejora de la condición es óptima cuando se aplica el tratamiento correcto en el momento correcto al pavimento correcto.

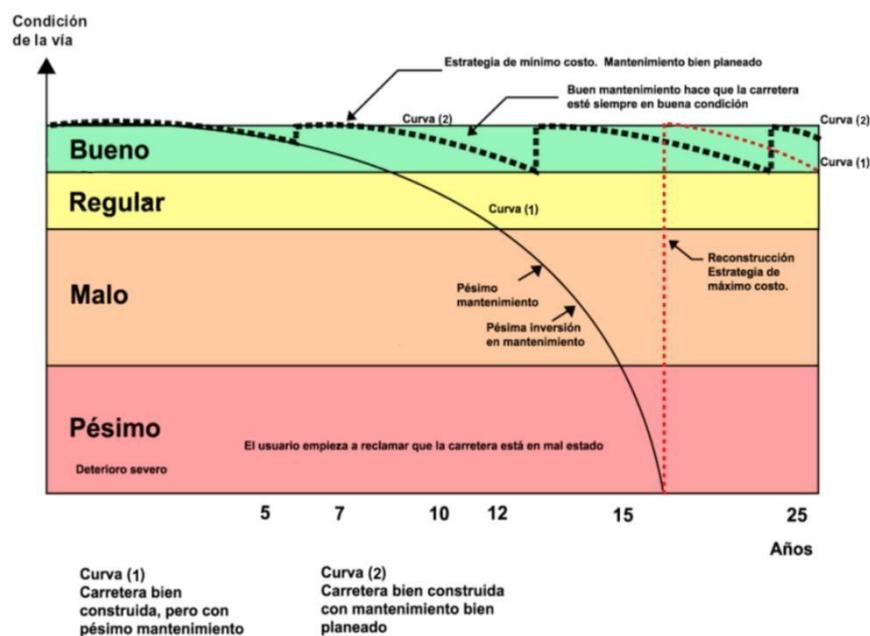


Figura 14. Curva de deterioro de un pavimento (Arieta, 2010)

En términos generales, la preservación de pavimentos representa un enfoque proactivo en el mantenimiento de las carreteras existentes, el cual permite reducir los costosos proyectos de rehabilitación y reconstrucción que requieren mayor tiempo y las interrupciones del tráfico asociadas a su uso (Plati, 2019).

2.3.3. Establecimiento de un programa de preservación de pavimentos

Según Hicks, Seeds y Peshkin (2000) existen varios componentes técnicos para la preservación exitosa de los pavimentos a través de un programa de preservación de pavimentos, pero primero deben estar precedidos por dos componentes no técnicos:

1. La alta gerencia debe tener un compromiso de gestión con el programa.
2. Una educación integral con los esfuerzos dirigidos al usuario.

Hicks et al (2000) continúa manifestando que, si estas dos características no están integradas en el programa, es probable que no tenga éxito. El compromiso de la alta dirección siempre es esencial en cualquier esfuerzo. Se destaca que una agencia no está operando actualmente en modo preventivo, los cambios requeridos están "mentalizados" como operativos.

También se debe considerar que realizar actividades de mantenimiento en pavimentos que los usuarios consideran que están en "buena" condición con frecuencia traerá críticas. La gerencia debe ser capaz de articular conceptos de preservación del sistema y el uso de tratamientos de mantenimiento preventivo para abordar dicha crítica, lo que significa que los usuarios deben estar informados de las metas y los objetivos de este enfoque.

2.3.3.1. Elementos de un programa de preservación de pavimentos

Los siguientes elementos deben considerarse al desarrollar un programa de preservación de pavimentos (Hicks et al., 2000):

1. Establecer las pautas del programa: las pautas se convierten en la manera de definir y expresar las estrategias y objetivos generales del programa de preservación a través de la definición de políticas sobre temas de seguridad, medio ambiente e identificación de un coordinador del programa. Se deben incluir los elementos técnicos del programa, es decir, el sistema que se utilizará para determinar las necesidades de mantenimiento y primordialmente un sistema para medir el avance en relación con los objetivos establecidos del programa.
2. Determinar las necesidades de mantenimiento: se debe contar con un sistema para determinar la condición existente de la red vial de pavimentos bajo la jurisdicción de la administración, el cual es considerado un componente esencial de un programa de gestión. Los sistemas de gestión de pavimentos (PMS por sus siglas en inglés) en uso por diferentes agencias de los Estados Unidos tienen este componente, sin embargo, varía ampliamente en su enfoque y sofisticación. En general, se realiza una evaluación de la condición de los tramos existentes, se observan los pavimentos y diversas

características de los deterioros. Dicha actividad es realizada por personal capacitado o con vehículos automatizados. Se deberá llevar a cabo un análisis de los datos recopilados para identificar los tramos de pavimento apropiados para ser sometidos a las ventanas de preservación, rehabilitación o reconstrucción.

Un análisis de estos datos, en conjunto con información como la ubicación del proyecto, tráfico promedio diario, porcentaje de camiones, proyecciones de tráfico y condiciones ambientales (alta y baja temperatura, precipitación) proporciona un inventario de datos que se pueden factorizar para identificar los tramos de pavimento apropiados para ser sometidos a las ventanas de preservación, rehabilitación o reconstrucción. Los tramos que requieren el mantenimiento inmediato o la rehabilitación generalmente no serían buenos candidatos para preservación de pavimentos.

3. Proporcionar un marco para la selección del tratamiento: Es importante que el tratamiento de mantenimiento seleccionado sea el adecuado para el tipo y los niveles de deterioro, el clima y el nivel de servicio esperado para el proyecto (Este tema se analiza más adelante).
4. Desarrollar procedimientos de análisis para determinar el tratamiento más efectivo: Existen varios procedimientos para determinar la rentabilidad de los tratamientos de mantenimiento. Estos se basan en varios enfoques y varían de simples a complejos. Un enfoque simplificado, se basa en el árbol o matriz de decisiones (flujogramas de decisión). Este proceso forma parte de uno los objetivos específicos de esta guía, por tanto, se presentará más adelante en este documento.
5. Incluir un mecanismo de retroalimentación para determinar la efectividad del programa: Esto es un proceso de gestión para evaluar cómo funciona el programa en relación con las metas establecidas. Se convierte en una herramienta para ayudar a ajustar los factores que deben cambiarse debido a modificaciones del programa. La retroalimentación debe incluir tanto el desempeño individual del pavimento y desempeño general del sistema.

Los elementos descritos anteriormente y su relación se muestran a continuación a través de la Figura 15.

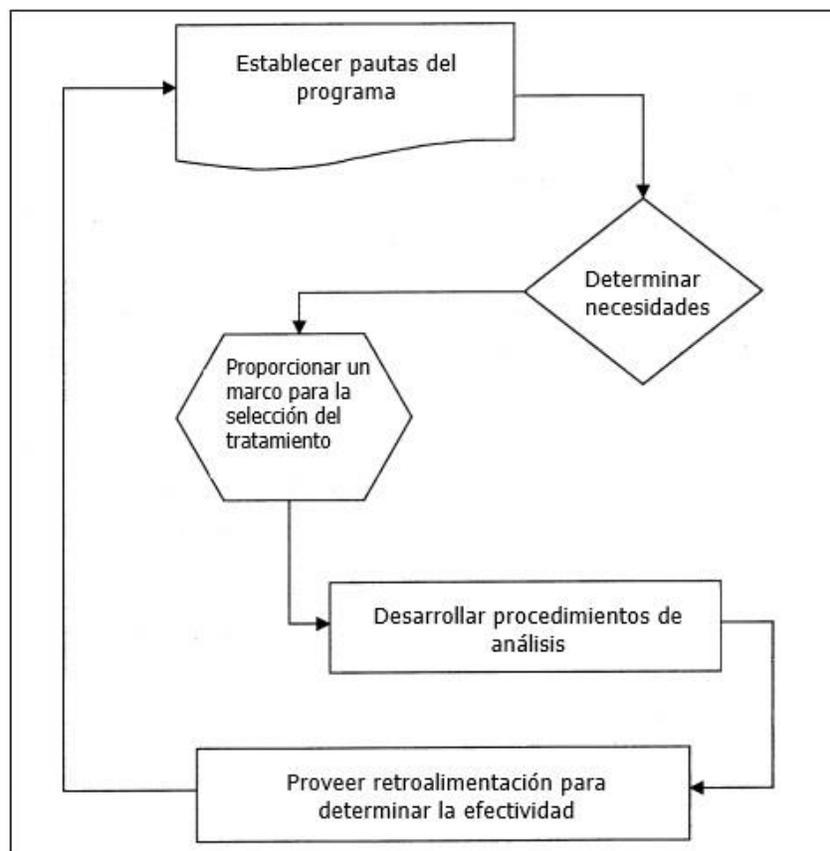


Figura 15. Elementos de un programa de preservación de pavimentos
Nota: modificado a partir de los autores (Hicks et al., 2000)

2.3.4. Beneficios de la preservación de pavimentos

Smith et al. (2014) aseguran que la preservación de pavimentos está siendo adoptada por las agencias de transporte cada vez más ya que es un enfoque lógico para preservar los activos y además ofrece beneficios medibles. Algunos de los beneficios que se han citado como las razones importantes, para implementar o actualizar programas de preservación incluyen las siguientes:

- Mayor satisfacción del usuario: la satisfacción del usuario está entre los principales motivos para determinar las prácticas exitosas de la preservación. Un buen programa

de preservación beneficiará a los usuarios a través de carreteras más seguras, reducción de las interrupciones del tráfico y en general, una red de pavimentos con un mejor nivel de condición funcional en términos de comodidad.

- Mantener una mejor condición del pavimento: el enfoque convencional de la mayoría de las agencias de transporte consiste en gestionar sus pavimentos a través de una combinación de mantenimiento rutinario, correctivo y rehabilitación. La rehabilitación (mayor) es típicamente programada siguiendo el principio de lo "peor primero", en el que se permite que los pavimentos se deterioren hasta alcanzar su peor condición y se conviertan en proyectos que requieran de alta inversión de capital. En contraste, la preservación es un enfoque proactivo destinado a preservar un pavimento y extender su vida útil en un período de desempeño. Si los pavimentos se mantienen en buen estado por más tiempo, retrasan la necesidad de los procesos de rehabilitación mayor y la reconstrucción, considerando lo anterior, un claro beneficio es mejorar las condiciones generales del pavimento.
- Ahorro de costos: desde el punto de vista de la administración, probablemente el beneficio más buscado de la preservación de pavimentos es el financiero. Los ahorros se presentan implementando tratamientos menos costosos y pavimentos con vidas de servicio extendidas. También se pueden ahorrar costos adicionales a través de la reducción de costos de usuario que resultan en menores pérdidas de tiempo, menores costos de operación de vehículos (mejor calidad de las vías) y menores costos relacionados con accidentes de tránsito. Los tratamientos de preservación son, por su propia naturaleza, más baratos que la mayoría de las alternativas de tratamiento.

Según Kelly, Delaney, Chai y Mohamed (2016) el daño del pavimento tiene una pendiente fuerte en el 17% de su vida final; mientras que en la fase inicial con mantenimientos constantes y de bajo costo se llega a prolongar la vida del pavimento. Los costos promedios pueden ser de una a ocho veces el de una rehabilitación y hasta tres veces el de una reconstrucción en comparación con el costo de preservación, además de llegarse con la preservación a una mejor condición del pavimento, según se observa en la Figura 16.

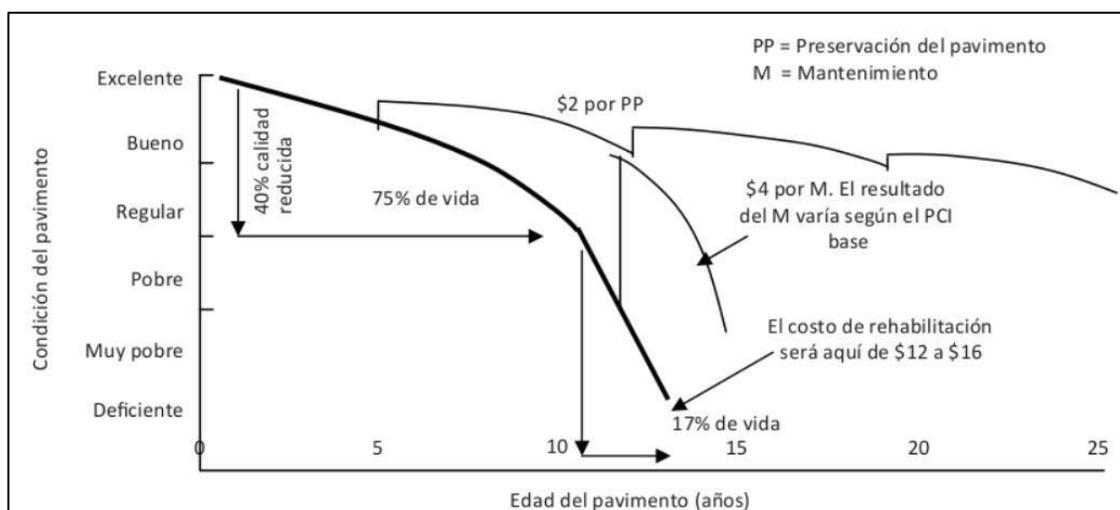


Figura 16. Implicaciones de costo de las rehabilitaciones mayores
Nota: modificado a partir de los autores (Kelly et al., 2016)

- Incremento de la seguridad: los programas de preservación de pavimentos proporcionan beneficios de seguridad tanto implícitos como explícitos. Explícitamente, los tratamientos actuales están especialmente diseñados para proporcionar superficies más seguras mediante el uso de agregados resistentes al pulido y una mayor macrotextura de la superficie que, cuando se combinan, aumentan en gran medida la fricción superficial bajo condiciones húmedas. Implícitamente, los beneficios de seguridad se obtienen al mantener el pavimento en mejores condiciones generales. Los pavimentos con calificación de condición más alta son más cómodos y tienen menos defectos, lo cual contribuye a condiciones de operación más seguras. Los pavimentos en mejores condiciones generales también requieren reparaciones cada vez menos disruptivas, lo cual reduce las posibilidades de accidentes relacionados con las zonas de trabajo.

2.3.5. Estrategias de preservación de pavimentos

2.3.5.1. Pautas para la selección de las técnicas de preservación

Según el Departamento de Transportes de Minnesota (MnDOT) las técnicas de preservación se determinan en función de la combinación de la condición actual del pavimento y los tipos de deterioros presentes. El proceso de selección de las técnicas para la preservación de pavimentos incluye los siguientes pasos generales (MnDOT,2020):

- Recopilar información sobre el pavimento

- Evaluar la condición del pavimento
- Evaluar los datos del pavimento
- Identificar las técnicas de preservación factibles
- Seleccionar la mejor técnica de preservación

A continuación, se describirá brevemente cada uno de los pasos mencionados:

- Recopilación de información sobre el pavimento: la selección de técnicas de preservación incluye la recopilación de información del pavimento, tal como el historial de construcción, los datos de desempeño del pavimento, la vida útil del diseño, los datos de condición, los datos de tráfico y la información sobre el diseño estructural del pavimento. Conocer la estructura del pavimento existente y las propiedades de los materiales también puede ser muy útil para determinar qué técnicas funcionarán bien con la estructura actual y cómo podría funcionar la sección del pavimento en el futuro.
- Evaluar la condición del pavimento: además de recopilar información histórica del pavimento, se debe evaluar la condición actual para determinar las técnicas de preservación factibles. Idealmente, la condición se determinaría a través de un procedimiento de calificación de la condición estándar para incluir detalles de los tipos, nivel de severidad y cantidad de todos los deterioros presentes en el pavimento. Es fundamental seleccionar un tipo de tratamiento o técnica que sea capaz de corregir o mejorar la condición de deterioro existente del pavimento.
- Evaluar los datos de pavimento: en esta fase se deberá determinar si una sección de pavimento es un buen candidato para la aplicación de técnicas de preservación de pavimentos. Se debe considerar la cantidad y severidad de deterioros existentes, la posible presencia de problemas estructurales en las capas subyacentes y los antecedentes con respecto a la ocurrencia de deterioros en las mismas zonas del proyecto. Se debe hacer hincapié en que los proyectos candidatos para la preservación de pavimentos son aquellos que se encuentran en buenas condiciones estructurales.

- **Identificación de técnicas de preservación viables:** deberán ser identificados para aquellas secciones de pavimento calificadas como candidatas para la preservación de pavimentos a través de la observación, análisis del tipo y la severidad de los deterioros presentes en el pavimento, además de otras características intrínsecas de cada proyecto discutidas en la siguiente sección. La utilización de herramientas de decisión es fundamental en este proceso. Se destaca que la decisión se basa principalmente en la relación entre una única técnica y un único deterioro. Cuando existen múltiples deterioros, se debe examinar la técnica para abordar cada tipo o llevar a cabo una combinación de técnicas por medio del criterio técnico con el objetivo de tomar decisiones finales sobre la o las técnicas de preservación.
- **Selección de la mejor técnica de preservación:** la mejor técnica es aquella que puede proporcionar la mejor relación costo-beneficio en el tiempo y que cumpla con los objetivos del proyecto, la cual debe seleccionarse entre las técnicas de preservación viables. Este análisis se realiza internamente dentro de muchos sistemas de gestión de pavimentos. Idealmente, la selección de la técnica adecuada en el momento adecuado se rige por la optimización (maximización de los beneficios). Sin embargo, la selección de la técnica se puede lograr mediante una evaluación manual de los beneficios frente al costo proyectado de la técnica.

2.3.5.2. Factores que influyen en la selección de técnicas de preservación

La preservación de pavimentos se ha convertido en una herramienta muy importante de las agencias de transporte de los Estados Unidos, para lograr mantener su sistema de carreteras. Zaniewski y Mamlouk (1996) establece los factores que influyen en la selección y desempeño de las alternativas de preservación de pavimentos, entre ellas:

- **La condición del pavimento existente:** La condición del pavimento antes de la aplicación de una técnica de preservación incide para la selección del tipo de tratamiento, así como en el desempeño una vez colocado. Dependiendo de la condición del pavimento, la aplicación de ciertos tratamientos de preservación es más adecuada que otros. El tipo y la severidad de deterioros presentes en el pavimento, así como las posibles causas de

los deterioros necesitan ser considerados en la selección del tratamiento más apropiado, puesto que la regla número uno para seleccionar un tratamiento es basarse en la condición del pavimento, es decir, solo pavimentos en una condición estructural razonablemente buena son candidatos para el mantenimiento preventivo.

- Tráfico: es importante principalmente debido a que los niveles de tráfico son una medida directa de las cargas aplicadas a un pavimento que pueden acelerar la tasa de desgaste del tratamiento y reducir la capacidad de realizar su función. El nivel de tráfico también es importante durante la construcción del tratamiento. Tradicionalmente era considerado que las alternativas de preservación no eran aplicables para las carreteras de gran volumen y alta velocidad. Sin embargo, hay evidencia documentada de que los tratamientos se pueden aplicar a este tipo de carreteras.
- El clima: representa un factor importante dado el impacto en el tiempo construcción de un tratamiento de preservación, así como en el desempeño una vez colocado. Algunos tratamientos requieren ciertas condiciones durante la construcción. Por ejemplo, las restricciones de temperatura y humedad para los tratamientos que utilizan emulsiones asfálticas y las temperaturas moderadamente frescas mientras se realiza el sellado de grietas debido al tiempo de curado requerido. Los tratamientos también pueden ser susceptibles a condiciones climáticas tales como la lluvia o temperaturas extremas que pueden generar deterioros prematuros.
- Calidad de los materiales: para tratamientos de preservación en pavimentos flexibles y rígidos, la calidad de los materiales es particularmente importante. Esto incluye el diseño de los agregados, calidad del ligante asfáltico y la mezcla. Por ejemplo, para el caso de los pavimentos flexibles, las propiedades del material tales como el tamaño del agregado, la forma y gradación, limpieza del agregado y la calidad de asfalto influyen en el desempeño del tratamiento.
- Construcción: este factor incluye la ejecución de las prácticas constructivas, el tiempo disponible para aplicar un tratamiento, la selección de contratistas y la mano de obra con experiencia. Los factores mencionados son muy importantes para determinar la

calidad y vida de un tratamiento de preservación. La construcción de los tratamientos convencionales debe ser precisa y ajustarse al cumplimiento de las especificaciones en cuanto a controles de calidad se refiere para evitar fallas prematuras.

La NCHRP (2015) en un informe más reciente complementa los factores mencionados, estableciendo que se deben considerar dos factores adicionales relevantes tales como:

- **Desempeño esperado:** influye directamente en la planificación, dado que una agencia de transportes puede esperar una cierta vida útil del tratamiento o una cierta extensión en la vida útil del pavimento para satisfacer sus necesidades de gestión del pavimento. Típicamente se generan mayores expectativas para el desempeño de un tratamiento cuando hay más tráfico porque se espera que las carreteras con mayor volumen de tráfico tengan una mayor vida útil.
- **Costos:** aunque los costos del tratamiento no afectan el desempeño del tratamiento, ciertas consideraciones de costos son inevitablemente parte del proceso de selección. El costo de cada tratamiento depende de características tales como el tamaño y la ubicación del proyecto, la severidad, la cantidad de deterioros y la calidad de los materiales constituyentes. Los costos también dependen del tipo y la cantidad de trabajo de preparación de la superficie y del grado de control del tráfico requerido para acompañar el tratamiento.

En términos generales, la selección de una técnica de preservación adecuada para un pavimento determinado en un momento determinado no es un proceso sencillo. Requiere una cantidad significativa de información sobre el pavimento existente, así como las bondades y limitaciones de la técnica a seleccionar. Además, generalmente hay varias soluciones posibles que se pueden considerar, cada una con ventajas / desventajas únicas. El proceso de decisión se complica aún más cuando se tienen en cuenta los costos y la rentabilidad.

Capítulo 3. Generación de la guía de gestión de pavimentos

3.1. Catálogos de deterioros abordados por la preservación

La evaluación visual de un pavimento brinda información sobre la condición de la estructura. La realización periódica de evaluaciones visuales de un pavimento es una herramienta fundamental en el proceso de evaluación del desempeño y pronóstico de vida útil de un pavimento (MOPT, 2016).

El mantenimiento preventivo se aplica típicamente a pavimentos en buenas condiciones que tienen una vida útil restante significativa, con el objetivo de extenderla mediante la aplicación de tratamientos rentables a la superficie de pavimentos estructuralmente sólidos. En esta sección se definirá a través de un catálogo, los diferentes deterioros típicos de pavimentos flexibles y rígidos abordados adecuadamente bajo un programa de preservación de pavimentos (FHWA, 2005; Peshkin et al.,2011).

Para definir los deterioros a excluir del catálogo para ambos tipos de pavimentos, es decir aquellos que están relacionados con la carencia de capacidad estructural o problemas relacionados con materiales sub-superficiales y por ende, no puede ser abordados adecuadamente por la preservación de pavimentos; se consideró como referencia el documento denominado "Guidelines for the Preservation of High-Traffic- Volume Roadways" correspondiente al Programa Estratégico de Investigaciones en Carreteras (SHRP), el cual fue elaborado por Peshkin et al. en el año 2011. A continuación, se comenta con respecto a los deterioros no considerados para cada tipo de pavimento:

- Para el caso de los pavimentos flexibles: grietas en arco, exudación, corrugaciones, depresiones, hinchamientos, abultamientos y hundimientos, corrimiento/desplazamiento, escalonamiento entre la calzada y el espaldón, huecos y cruces de línea férrea.
- Para el caso de los pavimentos rígidos: Grietas por contracción, losa dividida, voladura, Punzonamiento (Punchout), escalonamiento (calzada-espaldón) y cruces de línea férrea.

Una vez definido lo anterior, cada deterioro considerado como abordado contiene su caracterización, es decir, la definición, unidad de medición, causas posibles, posibles acciones de intervención y figuras de los niveles de severidad de cada tipo. Las directrices se basan principalmente en Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV 2016) según se comentó en la sección 2.2.3.1 del presente documento.

Los deterioros aplicables considerados en el presente catálogo, es decir aquellos abordados por un programa de preservación de pavimentos según la experiencia documentada por diferentes Agencias de Transporte y entes de investigación se enumeran a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Deterioros tratados bajo el programa de preservación de pavimentos

| Pavimentos flexibles | Pavimentos rígidos |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Grietas | Grietas |
| Cuero de lagarto/Grietas por fatiga | Agrietamiento lineal * |
| Grieta longitudinal y transversal | Grietas de esquina |
| Agrietamiento por reflejo de juntas | Grietas en malla o resquebrajadura |
| Grietas en bloque | Deterioro superficial |
| Grietas de borde | Pulimiento de agregados |
| Textura superficial | Desprendimiento de agregados |
| Pulimiento de agregados | Juntas |
| Desprendimiento de agregados | Daño en el sello de junta |
| Desgaste superficial | Fractura de esquina |
| Deformaciones | Fractura de junta |
| Roderas/Ahuellamiento | Misceláneos |
| Misceláneos | Escalonamiento entre calzada y juntas |
| Baches | Escalonamiento (calzada y espaldón) |
| | Bombeo |
| | Baches |

Nota: elaboración a partir de los autores (MOPT, 2016; Peshkin et al., 2011)

*El agrietamiento lineal incluye el agrietamiento longitudinal, transversal y diagonal

3.1.1. Pavimentos flexibles

A continuación, se proporciona información relacionada con la manera en que la preservación aborda adecuadamente cada uno de los deterioros típicos que se presentan en los pavimentos flexibles tales como la prevención, desaceleración del deterioro a futuro y restauración de la integridad estructural y funcional de la superficie de rodadura según se

describe a en la Tabla 7. Cabe destacar que según Peshkin et al. (2011) si los deterioros existentes son tratables principalmente a través de la preservación y no existe un deterioro excesivo (grandes cantidades y/o niveles severos de deterioro) asociados con problemas estructurales o de materiales subsuperficiales, entonces el pavimento es probablemente un buen candidato para la aplicación de técnicas de preservación.

Tabla 7. Deterioros abordados por la preservación en pavimentos flexibles

| Tipo de deterioro | Preservación de pavimentos |
|---|--|
| Grietas | |
| Cuero de lagarto/Grietas por fatiga | Restaura integridad estructural ⁽¹⁾ (-----) |
| Grieta longitudinal y transversal | Previene/desacelera el deterioro ⁽²⁾ |
| Agrietamiento por reflejo de juntas | Previene/desacelera el deterioro ⁽²⁾ |
| Grietas en bloque | Previene/desacelera el deterioro ⁽²⁾ |
| Grietas de borde | Previene/desacelera el deterioro ⁽²⁾ |
| Grietas en arco | --- |
| Textura superficial | |
| Exudación | --- |
| Pulimiento de agregados | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Desprendimiento de agregados | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Desgaste superficial | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Deformaciones | |
| Rodera/Ahuellamiento | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Abultamientos y Hundimientos | --- |
| Corrugación | --- |
| Depresión | --- |
| Corrimiento / Desplazamiento | --- |
| Hinchamiento | --- |
| Misceláneos | |
| Escalonamiento entre la calzada y el espaldón | --- |
| Baches/parches | Previene/desacelera el deterioro |
| Huecos | --- |
| Cruce de línea férrea | --- |

Nota: elaboración a partir de los autores (Peshkin et al., 2011)

--- =No se aborda adecuadamente mediante preservación

⁽¹⁾ El abordaje dependerá del nivel de severidad, sin embargo, no con tratamientos de excelente desempeño.

⁽²⁾ No es adecuado para grietas con severidad altas.

3.1.1.1. Grietas

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de grietas:

Tabla 8. Caracterización del deterioro cuero de lagarto

| Concepto | Descripción |
|----------------------|---|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²) |
| Definición | Consiste en una serie de grietas interconectadas causadas debido a la falla por fatiga (paso repetido de vehículos), las grietas se propagan del fondo de la capa de mezcla asfáltica hacia arriba. El deterioro aparece inicialmente como una serie de grietas longitudinales paralelas que conforme se someten a más pasadas vehiculares se interconectan y forman algo parecido al cuero de un lagarto. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica, generalmente en la huella, bajo acción repetida de las cargas de tránsito. • Ligante envejecido • Subdrenaje inadecuado en sitios aislados. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: las grietas longitudinales paralelas se encuentran en buen estado y poseen ninguna o muy pocas conexiones. No hay fracturadas en los bordes.</p> <p>Medio: las grietas poseen más interconexiones y comienzan a formar el patrón de cuero de lagarto, algunas se encuentran fracturadas en los bordes. Pueden formar mallas entre 20 cm x 20 cm y 50 cm x 50 cm.</p> <p>Alto: se ha formado un patrón de grietas totalmente interconectadas (simulando cuero de lagarto) que se encuentran en su mayoría fracturadas en los bordes y forman bloques sueltos que pueden moverse bajo el paso de un vehículo. Las grietas forman mallas menores a 20 cm x 20 cm.</p> |
| Esquema de deterioro | <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

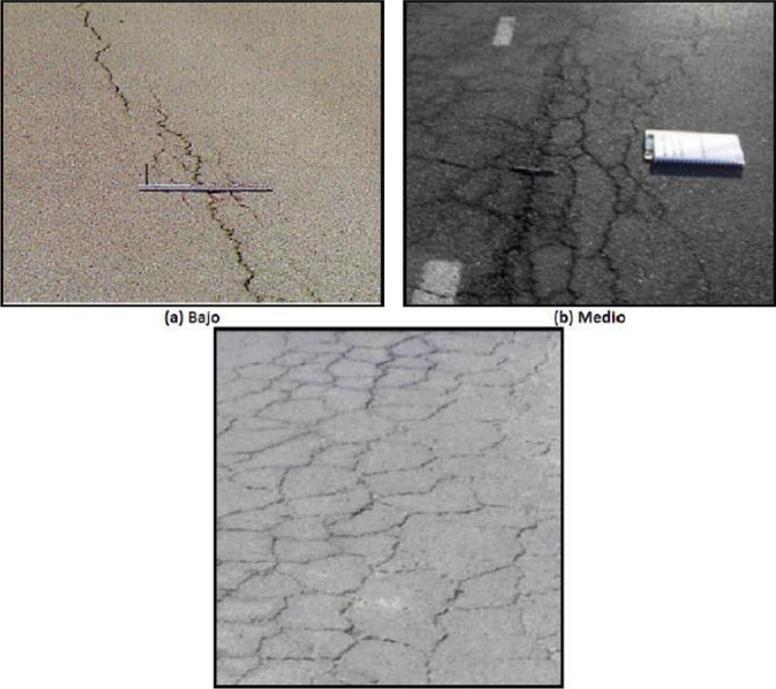
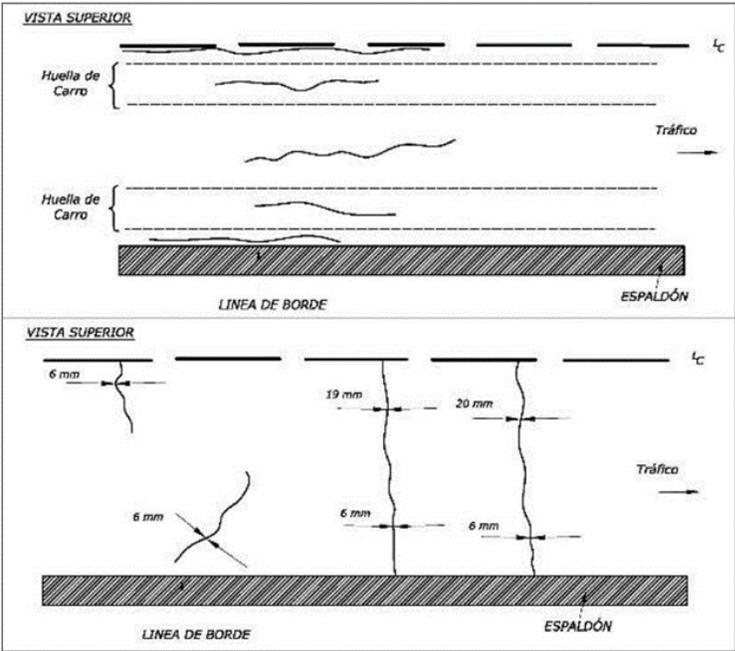
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo y Medio: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> <p>Alto: bacheo (para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica.</p> |

Tabla 9. Caracterización del deterioro grieta longitudinal y transversal

| Concepto | Descripción |
|----------------------|---|
| Unidad de medida | Metros lineales (ml) |
| Definición | Las grietas longitudinales son paralelas a la línea de centro de la carretera y las transversales se extienden a través del pavimento en ángulos rectos con respecto a la línea de centro de la carretera (dirección de avance de los vehículos). |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Reflexión de grietas causadas por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento; incluye grietas en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto. • Endurecimiento por envejecimiento o drenaje inadecuado. • Juntas de construcción inadecuadamente trabajadas. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: ancho menor a 6mm o selladas en buenas condiciones y con un ancho que no se puede medir, sin ramificaciones en los bordes.</p> <p>Medio: ancho mayor a 6mm y menor a 19mm o, menor a 19mm con ramificaciones pequeñas o grieta sellada rodeada de ramificaciones pequeñas.</p> <p>Alto: ancho mayor a 19mm o grieta sellada con ramificaciones grandes e importantes. Bordes de grieta normalmente degradados.</p> |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

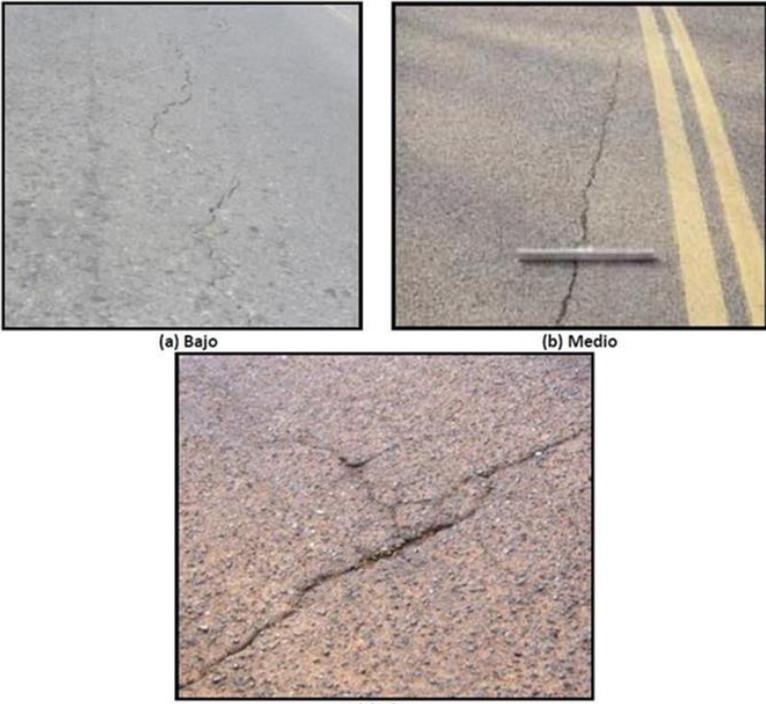
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo y Medio: sellado de fisuras o grietas.</p> <p>Alto: sellado de fisuras y grietas o bacheo.</p> |

Tabla 10. Caracterización del deterioro agrietamiento por reflejo de juntas

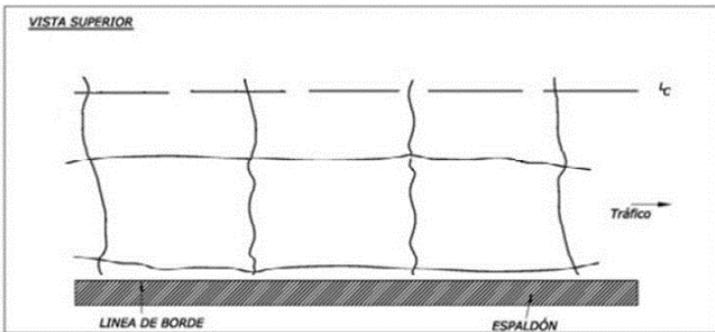
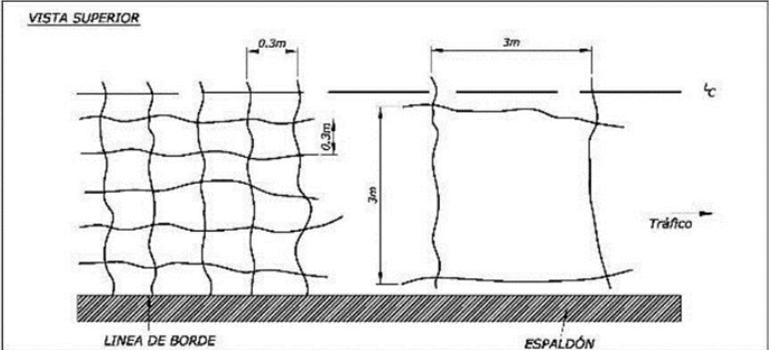
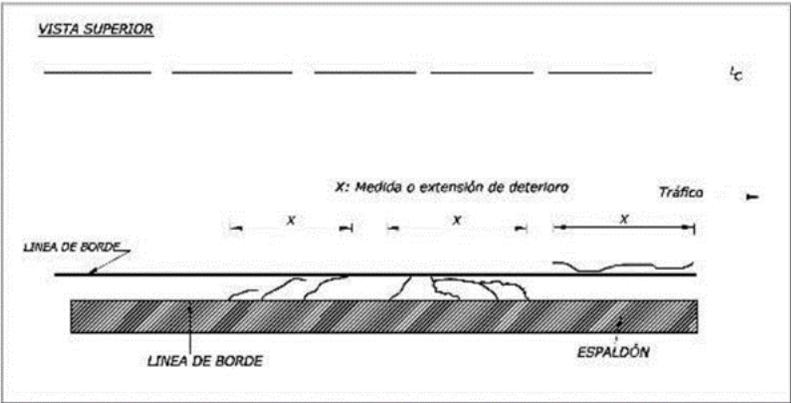
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Metros lineales (ml) |
| Definición | Este deterioro ocurre solamente en pavimentos asfálticos en que se haya colocado una carpeta asfáltica sobre una capa de concreto formada por losas. |
| Causas posibles | Reflejo de las juntas del pavimento rígido sobre el que se colocó la carpeta asfáltica. |
| Nivel de severidad | Bajo: ancho menor a 6 mm o selladas en buenas condiciones y con un ancho que no se puede medir, sin ramificaciones en los bordes. Medio: ancho mayor a 6 mm y menor a 19 mm o, menor a 19 mm con ramificaciones pequeñas o grieta sellada rodeada de ramificaciones pequeñas. Alto: ancho mayor a 19 mm o grieta sellada con ramificaciones grandes e importantes. Bordes de grieta normalmente degradados. |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Medio (b) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | Bajo y Medio: sellado de fisuras o grietas. Alto: sellado de fisuras y grietas o bacheo. |

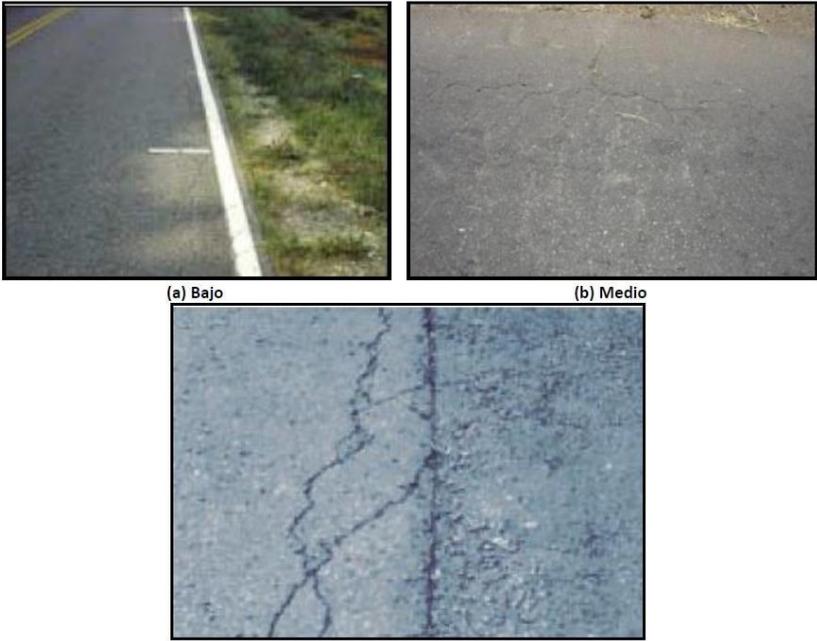
Tabla 11. Caracterización del deterioro grietas en bloque

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²) |
| Definición | Consiste en grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares, los bloques van generalmente de 0,3 m x 0,3 m a 3 m x 3 m. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios. • Por el reflejo de grietas en capas estabilizadas. • Por lo general, el origen de estas grietas no está asociado a las cargas de tráfico. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: definido por los criterios correspondientes al deterioro de "grieta longitudinal y transversal" de severidad baja.</p> <p>Medio: definido por los criterios correspondientes al deterioro de "grieta longitudinal y transversal" de severidad media.</p> <p>Alto: definido por los criterios correspondientes al deterioro de "grieta longitudinal y transversal" de severidad alta.</p> |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p>  <p>(b) Alto</p> |

| Concepto | Descripción |
|-----------------------------------|---|
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo: sellado de fisuras y grietas, Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> <p>Medio: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> <p>Alto: sustitución de capa asfáltica.</p> |

Tabla 12. Caracterización del deterioro grieta de borde

| Concepto | Descripción |
|----------------------|---|
| Unidad de medida | Metros lineales (ml) |
| Definición | Grietas paralelas y usualmente separadas de 0,3 a 0,5 m del borde externo del pavimento. |
| Causas posibles | Este daño puede originarse por debilitamiento debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento, menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, falla de rellenos, falla de taludes, fallas en los drenajes, entre otras; y se acelera por las cargas de tránsito. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: agrietamiento bajo definido por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal", sin fracturas ni desprendimiento de agregado.</p> <p>Medio: agrietamiento medio definido por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" con algunas fracturas y desprendimiento de agregado.</p> <p>Alto: existen fracturas y desprendimiento de agregado considerable a través del borde del pavimento.</p> |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo: sellado de fisuras y grietas</p> <p>Medio y Alto: evaluación de las condiciones de drenaje y atención de las mismas. Reconstruir los espaldones colocando material perfectamente compactado y al menos revestido como un tratamiento superficial. Sellar las áreas comprometidas. Construcción de muro de retención.</p> |

3.1.1.2. Textura Superficial

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de textura superficial:

Tabla 13. Caracterización del deterioro pulimiento de agregados

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²) |
| Definición | Este deterioro está presente si al realizar un examen visual de la capa asfáltica se observa que la porción de agregado que se extiende por encima del asfalto las partículas no es suficientemente áspera para proporcionar buena resistencia al deslizamiento. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Repetición de las cargas de tránsito. • Uso de agregados propensos al pulimiento (por ejemplo, las calizas). |
| Nivel de severidad | No posee criterios de severidad. |
| Representación del nivel de severidad |  |
| Posibles acciones de intervención | Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o recarpeteo con material no propenso al pulimiento. |

Tabla 14. Caracterización del deterioro desprendimiento de agregados

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²). Si existe duda sobre la severidad al menos deben examinarse 3 áreas representativas de un metro cuadrado y contabilizar la pérdida de partículas. |
| Definición | Se da por un desprendimiento de partículas de agregado grueso. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Colocación irregular del asfalto, mezcla pobre, el asfalto se ha endurecido en forma apreciable. • Agregado inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, agregado sucio, con polvo adherido. • Lluvia durante la colocación o antes de que el asfalto adquiriera consistencia. • Puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. • El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debido al derrame de aceites. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: no aplica</p> <p>Medio: desprendimiento considerable de agregados, al menos 20 partículas de agregado por metro cuadrado.</p> <p>Alto: la superficie se encuentra muy rugosa por la falta de agregado grueso, puede estar completamente desprendida en lugares.</p> |
| Representación del nivel de severidad | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) Medio</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b) Alto</p> </div> </div> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Bajo: no aplica.</p> <p>Medio: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> <p>Alto: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o colocación de sobrecapa asfáltica.</p> |

Tabla 15. Caracterización del deterioro desgaste superficial

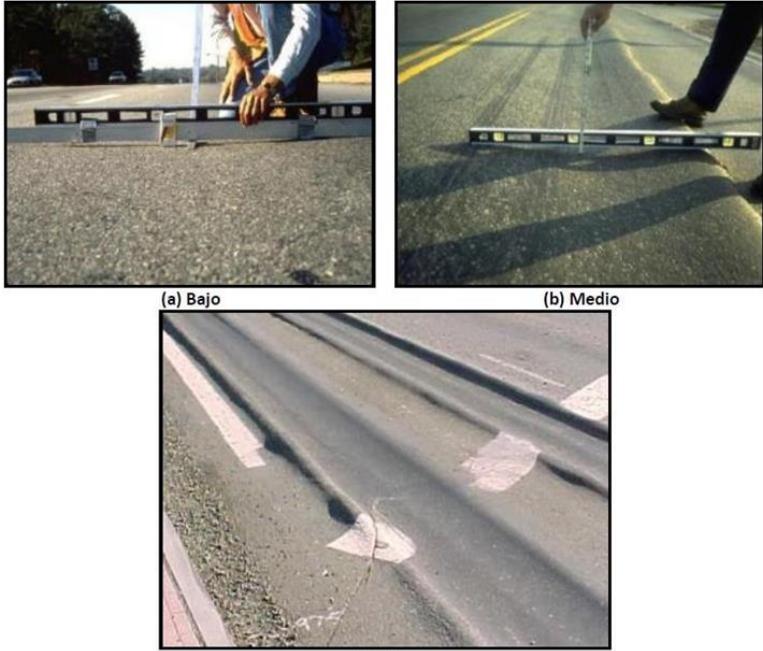
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²) |
| Definición | Es el desgaste de la matriz de agregado fino y ligante asfáltico. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Erosión por exceso de humedad. • Agregado inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, agregado sucio, con polvo adherido. • Oxidación de la mezcla. • Compactación inadecuada, insuficiente contenido de asfalto. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: la superficie del asfalto empieza a mostrar signos de envejecimiento que puede ser acelerado por las condiciones climáticas. La pérdida de la matriz de agregado fino es notable y puede ir acompañada de la decoloración del color del asfalto. Los bordes de los agregados gruesos empiezan a estar expuestos (menos de 1 mm). El pavimento puede ser relativamente nuevo (6 meses).</p> <p>Medio: la pérdida de la matriz de agregado fino es notable y los bordes de agregado grueso puede estar expuestos hasta ¼ de la anchura (del lado más largo) del agregado grueso debido a la pérdida de la matriz de agregado fino.</p> <p>Alto: los bordes de los agregados gruesos se han expuesto más de ¼ de ancho (del lado más largo) del agregado grueso. Existe una considerable pérdida de la matriz de agregado fino.</p> |
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Bajo: evaluar el área afectada para definir la intervención idónea.</p> <p>Medio y Alto: sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> |

3.1.1.3. Deformaciones

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de deformaciones:

Tabla 16. Caracterización del deterioro roderas/deformaciones

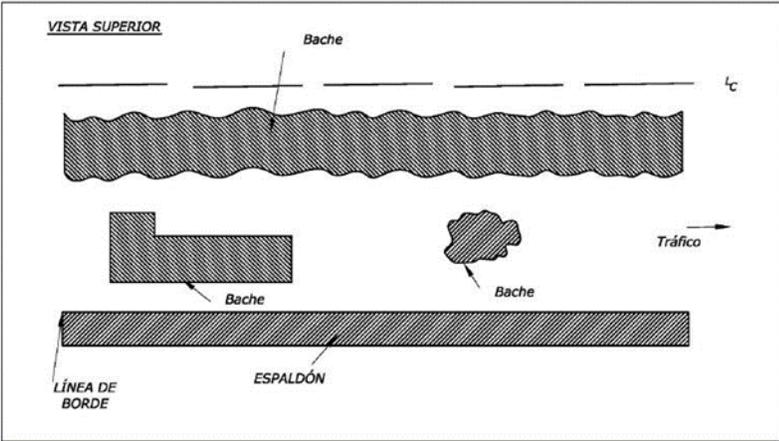
| Concepto | Descripción |
|----------------------|--|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²) |
| Definición | Es una depresión en las huellas del vehículo. Las roderas se derivan de una deformación permanente que puede proceder de cualquier capa del pavimento o de la subrasante, usualmente su causa se asocia a consolidación o movimiento lateral de los materiales. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Técnica de construcción pobre y un mal control de calidad. Las capas pobremente compactadas. • Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma. • La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original). • Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: la profundidad promedio es de 6 mm a 13 mm.</p> <p>Medio: la profundidad promedio es de 13 mm a 25 mm.</p> <p>Alto: la profundidad promedio es mayor a 25 mm.</p> |
| Esquema de deterioro | <p>El diagrama ilustra la estructura de una rodera en un pavimento. La parte superior, titulada 'SECCIÓN A-B', muestra un perfil transversal con una línea de borde y un espaldón. Se indica la 'Profundidad de la Rodera' y la distancia 'L_c'. La parte inferior, titulada 'VISTA SUPERIOR', muestra una vista desde arriba con líneas A y B que corresponden a la sección transversal. Se muestran las 'RODERAS' y el 'Tráfico' que actúa sobre ellas. También se indican la 'LÍNEA DE BORDE' y el 'ESPAIDÓN'.</p> <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

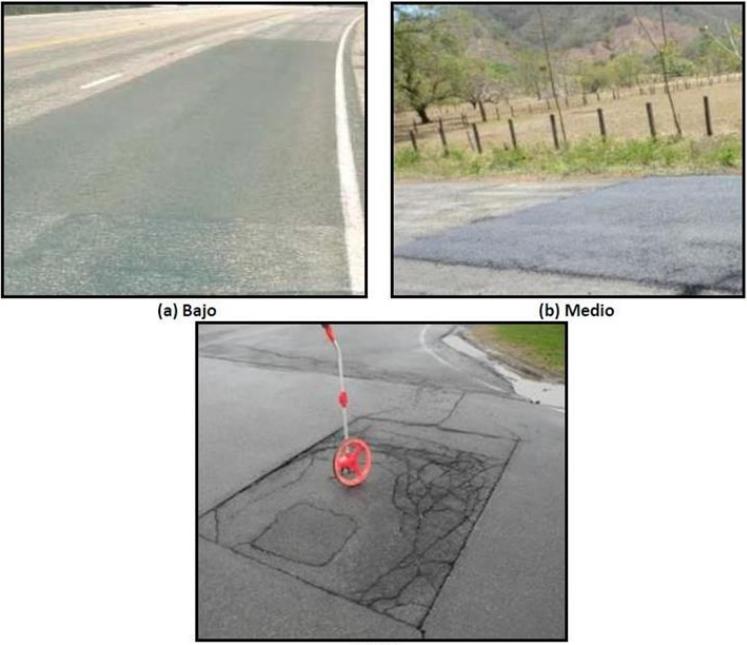
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Bajo: bacheo (para casos puntuales), tratamiento superficial o sellos asfálticos.</p> <p>Medio: bacheo (para casos puntuales), tratamientos superficiales asfálticos, sustitución de capa asfáltica o colocación de sobrecapa asfáltica.</p> <p>Alto: sustitución de capa asfáltica (perfilado y carpeteo).</p> |

3.1.1.4. Misceláneos

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de misceláneos:

Tabla 17. Caracterización del deterioro baches

| Concepto | Descripción |
|----------------------|---|
| Unidad de medida | Metros cuadrados (m ²) |
| Definición | Es un área de pavimento que ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente, un bache es considerado un defecto no importa su desempeño y estado. |
| Causas posibles | Existencia de deterioros importantes en la sección del pavimento reemplazada. |
| Nivel de severidad | Bajo: el bache se encuentra en buena condición y la calidad de ruedo es de severidad baja o mejor. Medio: el bache está moderadamente deteriorado ó la calidad de ruedo de severidad media o ambos. Alto: el bache se encuentra muy deteriorado ó la calidad de ruedo es de severidad alta o ambos. |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo y Medio: evaluar el área afectada para definir la intervención idónea.</p> <p>Alto: sustitución del bache (bacheo, para casos puntuales) o sustitución de capa asfáltica.</p> |

3.1.2. Pavimentos rígidos

A continuación, se proporciona información relacionada con los deterioros típicos abordados adecuadamente por la preservación según la literatura y la manera en que es abordado cada uno por este concepto. Dichas maneras consisten en la prevención, desaceleración del deterioro a futuro y restauración de la integridad estructural y funcional de la superficie de rodadura según se describe en la Tabla 18. Cabe destacar que según Peshkin et al. (2011) si los deterioros existentes son tratables principalmente a través de la preservación y no existe un deterioro excesivo (grandes cantidades y/o niveles de severidad altos) asociados con problemas estructurales o de materiales subyacentes o concreto; entonces el pavimento es probablemente un buen candidato para la aplicación de las técnicas de preservación.

Tabla 18. Deterioros abordados por la preservación en pavimentos rígidos

| Tipo de deterioro | Preservación de pavimentos |
|---|---|
| Grietas | |
| Agrietamiento lineal (longitudinal, transversal y diagonal) | Previene/desacelera el deterioro |
| Grietas de esquina | Previene/desacelera el deterioro |
| Grietas por contracción | --- |
| Grietas en malla o resquebrajadura | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Losa dividida | --- |
| Deterioro superficial | |
| Pulimiento de agregados | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Desprendimiento de Agregados | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Juntas | |
| Daño en el sello de junta | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Fracturas de esquina | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Fracturas de junta | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Misceláneos | |
| Voladura (Blow up) | *--- |
| Escalonamiento entre calzada y juntas | Restaura la integridad estructural/ funcionalidad |
| Escalonamiento entre calzada y espaldón | --- |
| Bombeo | Previene/desacelera el deterioro |
| Punzonamiento (Punchout) | *--- |
| Baches | Previene/desacelera el deterioro |
| Cruce de línea férrea | --- |

Nota: elaboración a partir de los autores (Peshkin et al., 2011)

--- = No se aborda adecuadamente mediante preservación de pavimentos

*---=La preservación es adecuada para casos aislados o limitados de este deterioro, debido a las causas que lo originan continuarán ocurriendo con frecuencia.

3.1.2.1. Grietas

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de grietas:

Tabla 19. Caracterización del deterioro agrietamiento lineal

| Concepto | Descripción |
|--------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa para un nivel de severidad, si existen dos grietas de severidad media en una losa ésta se cuenta como de severidad alta. En losas reforzadas las grietas menores a 3 mm de ancho se cuentan como grietas por contracción. |
| Definición | Grietas que generalmente dividen la losa en 2 o 3 piezas. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Asentamiento de la base y/o la subrasante. • Repetición de cargas pesadas (fatiga del concreto). • Gradientes originados por cambios de temperatura y humedad. • Carencia de una junta longitudinal. • Inadecuado dimensionamiento de losas. • Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: losas no reforzadas: grietas sin rellenar menores a 13 mm ó grietas rellenas de cualquier ancho con el sello en condición satisfactoria. No existe escalonamiento. Losas reforzadas: grietas sin rellenar con ancho mayor a 3mm y menor a 25 mm ó grietas rellenas de cualquier ancho con el sello en condición satisfactoria. No existe escalonamiento.</p> <p>Medio: losas no reforzadas: grietas sin rellenar con ancho mayor a 13 mm y menor a 50 mm ó grietas sin rellenar con ancho menor a 50 mm y borde fracturado menor a 10 mm ó grietas selladas de cualquier ancho con escalonamiento menor a 10 mm. Losas reforzadas: grietas sin rellenar con ancho mayor a 25 mm y menor a 75 mm y sin escalonamiento ó grietas sin rellenar con ancho menor a 75 mm y con escalonamiento menor a 10 mm ó grietas selladas de cualquier ancho con escalonamiento menor a 10 mm.</p> <p>Alto: losas no reforzadas: grietas sin rellenar con ancho mayor a 50 mm ó grietas sin rellenar o rellenas con escalonamiento mayor a 10 mm. Losas reforzadas: grietas sin rellenar con ancho mayor a 75 mm ó grietas sin rellenar o rellenas con escalonamiento mayor a 10 mm.</p> |

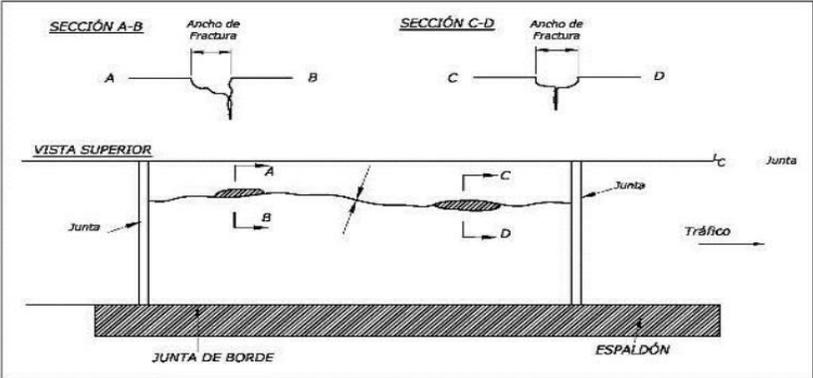
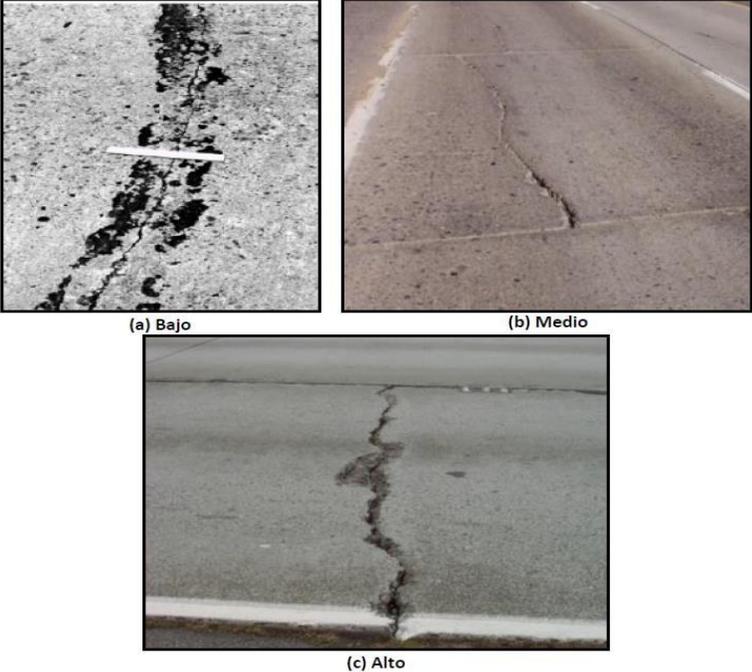
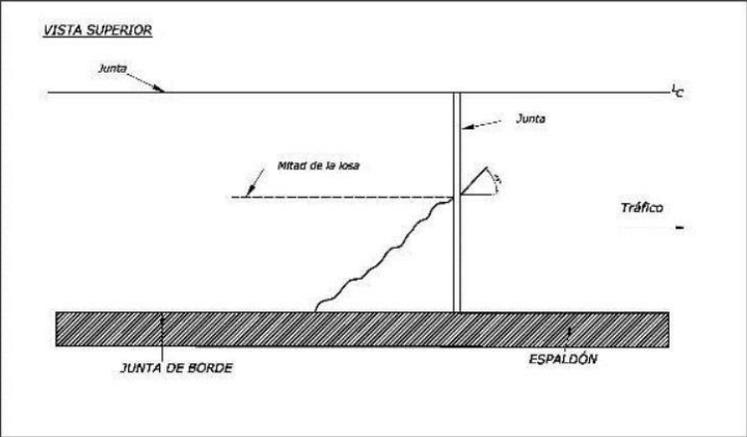
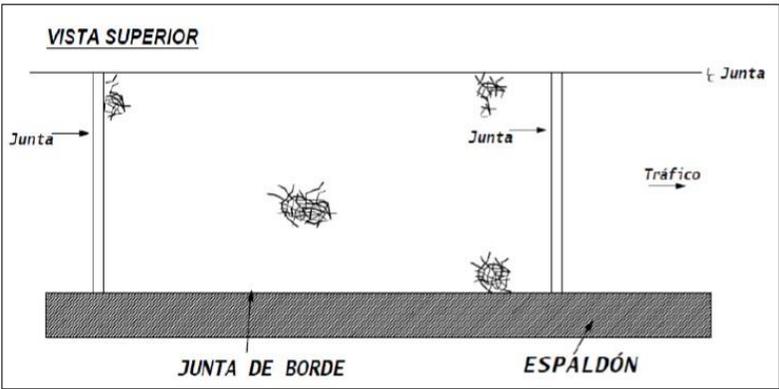
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Esquema de deterioro |  <p style="text-align: center;">Grieta longitudinal</p> <p style="text-align: center;">Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |  <p style="text-align: center;">(a) Bajo (b) Medio</p> <p style="text-align: center;">(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo y Medio: sellado de juntas y grietas.</p> <p>Alto: reparación de losas en todo el espesor.</p> |

Tabla 20. Caracterización del deterioro grieta de esquina

| Concepto | Descripción |
|----------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, si posee más de una grieta de esquina con diferente severidad se debe contar como la severidad más alta. |
| Definición | Es una grieta que interseca dos juntas perpendiculares en una distancia menor o igual a la mitad de la longitud de la losa medida a partir de la esquina, formando un triángulo (grieta en diagonal). |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Falta de apoyo en la losa, debido al alabeo térmico o por erosión de la base. • Sobrecarga en las esquinas. • Deficiente transmisión de cargas entre juntas. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Agrietamiento Lineal" de severidad baja.</p> <p>Medio: son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Agrietamiento Lineal" de severidad media.</p> <p>Alto: son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Agrietamiento Lineal" de severidad alta.</p> |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo y Medio: sellado de juntas y grietas. Inyección de lechada.</p> <p>Alto: reparación de losas en todo el espesor.</p> |

Tabla 21. Caracterización del deterioro grieta de malla o resquebrajadura

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, la severidad baja sólo deberá anotarse si se nota el potencial por aumentar. |
| Definición | Sistema de grietas finas interconectadas que sólo se producen en la superficie del pavimento, se tienden a intersecar en ángulos de 120°. |
| Causas posibles | Concreto sobre acabado, construcción inadecuada y usar agregados pobres. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: existe el deterioro en la mayoría del área de la losa, pero la condición de la superficie es buena, no hay resquebrajaduras.</p> <p>Medio: existe el deterioro en la mayoría del área de la losa, pero menos del 15 % está resquebrajado.</p> <p>Alto: existe el deterioro en la mayoría del área de la losa, más del 15 % está resquebrajado.</p> |
| Esquema de deterioro |  <p style="text-align: center;">Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |  |
| Posibles acciones de intervención | <p>Bajo y Medio: evaluar el área afectada para definir la intervención a realizar.</p> <p>Alto: reparación de losas en espesor parcial.</p> |

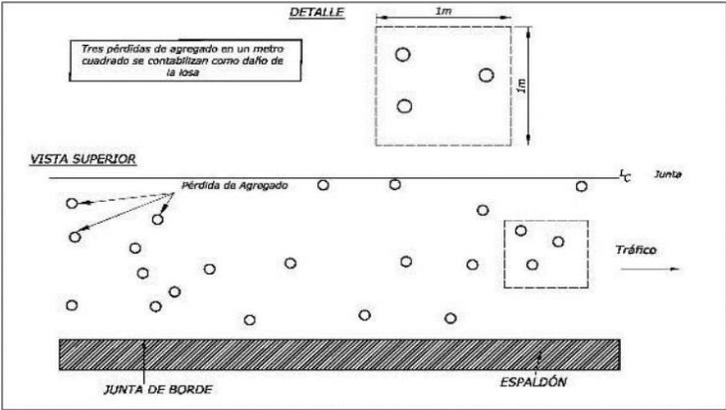
3.1.2.2. Deterioro superficial

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de deterioros superficiales:

Tabla 22. Caracterización del deterioro pulimiento de agregados

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Unidad de medida | Por losa. |
| Definición | Se encuentra presente cuando se realiza un análisis de cerca al pavimento y éste revela que el tamaño del agregado es muy pequeño o se encuentra sin superficie rugosa que permita un agarre adecuado. |
| Causas posibles | Este daño se causa por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos. |
| Nivel de severidad | No posee criterios de severidad, pero el deterioro deberá ser significativo para poder contabilizarlo. |
| Representación del nivel de severidad |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Posibles acciones de intervención | Reparación de losas en espesores parciales. Cepillado. |

Tabla 23. Caracterización del deterioro desprendimiento de agregados

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Unidad de medida | Por losa. |
| Definición | Es el desprendimiento de algunas piezas de agregado grueso del pavimento. El diámetro del hueco que dejan generalmente varía entre 25 mm a 100 mm y la profundidad entre 13 mm a 50 mm. |
| Causas posibles | Puede deberse a partículas blandas o fragmentos de concreto rotos y desgastados por el tránsito. |
| Nivel de severidad | No posee criterios de severidad, pero el deterioro deberá ser de mínimo 3 desprendimientos de agregado por metro cuadrado. |
| Esquema de deterioro |  <p>DETALLE</p> <p>Tres pérdidas de agregado en un metro cuadrado se contabilizan como daño de la losa.</p> <p>VISTA SUPERIOR</p> <p>Pérdida de Agregado</p> <p>JUNTA</p> <p>JUNTA DE BORDE</p> <p>ESPALDÓN</p> <p>Tráfico</p> <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |  |
| Posibles acciones de intervención | Reparación de losas en espesor parcial. |

3.1.2.3. Juntas

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de juntas:

Tabla 24. Caracterización del deterioro daño en el sello de juntas

| Concepto | Descripción |
|--------------------|--|
| Unidad de medida | Se estima la condición del sello en general en el área de análisis. |
| Definición | Se entiende por daño en el sello de junta como cualquier condición en el sello que permita la acumulación de material (incompresible) en las juntas y que permita el paso del agua a las capas subyacentes. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Endurecimiento por oxidación del material de sello. • Pérdida de adherencia con los bordes de las losas (Falla cohesiva). • Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas. • Escasez o ausencia del material de sello. • Material de sello inadecuado. • Crecimiento de plantas en juntas. |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: El sello de junta se encuentra en general en buenas condiciones a lo largo de la unidad de muestreo (UM). El sellado sólo posee daños menores. El sello se ha desprendido de alguna pared, pero aún se encuentra en el sitio, esta situación se evalúa insertando un cuchillo entre el sello y la pared de la losa y si el sello no opone resistencia entonces es que está despegado.</p> <p>Medio: El sello de junta se encuentra en condición pobre a través de toda la UM, con algún tipo de daño en grado moderado (El sello está en su lugar, pero el agua puede filtrarse a través de aberturas visibles de aproximadamente 3 mm, existe vegetación en la junta, pero aún es visible el sellado, el sellador se encuentra oxidado y sin "vida" pero flexible).</p> <p>Alto: El sello de junta se encuentra en pésima condición a través de toda la UM, con alguno o todos los daños mencionados anteriormente en un grado severo. El sello necesita reparación inmediata. Si más del 10 % del sello excede los criterios mencionados anteriormente o si más del 10 % del sello no se encuentra.</p> |

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | Para todos los casos: limpieza y sellado de juntas y grietas. |

Tabla 25. Caracterización del deterioro fractura de junta

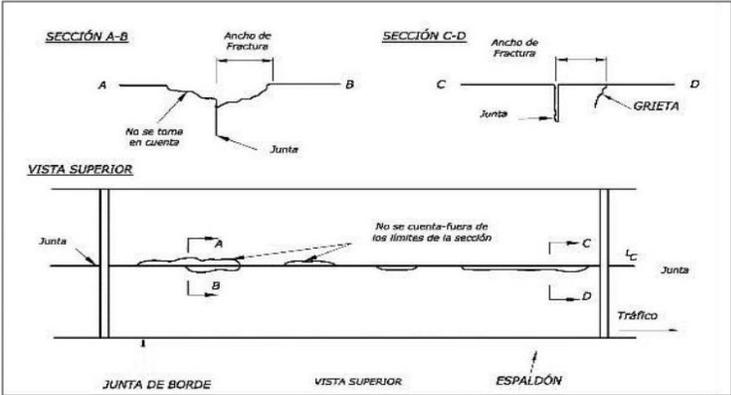
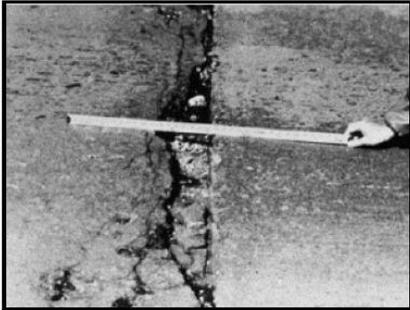
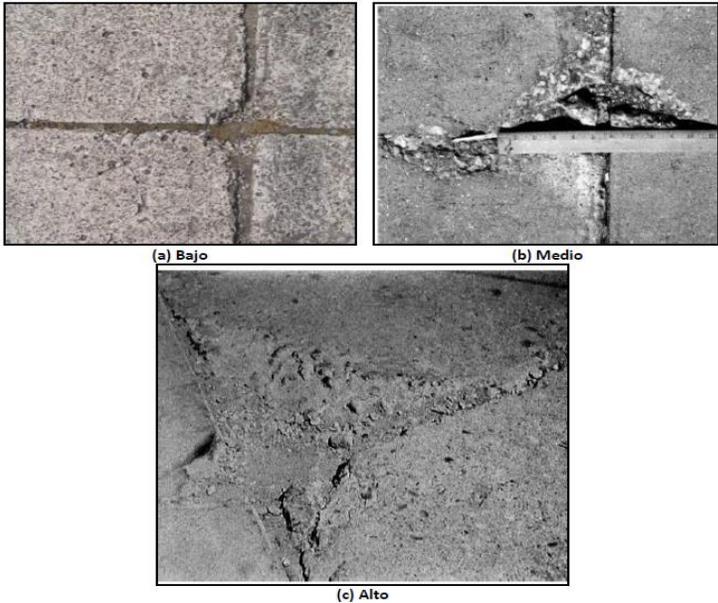
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, si la fractura sólo se encuentra a través del borde de la junta, se cuenta como una losa, si se comparte la fractura con otra losa ambas deben ser contabilizadas. |
| Definición | Es la fractura de los bordes de la losa de aproximadamente 5 cm de grosor. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles. • Debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta. • Deficiente diseño de los sistemas de transferencia de carga de la junta. • Acumulación de agua a nivel de las juntas. |
| Nivel de severidad | El ancho de fractura se refiere al ancho del desprendimiento de concreto de acuerdo con el esquema de deterioro. |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |   <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Bajo: sellado de juntas y grietas.</p> <p>Medio y Alto: reparación de losas en espesor parcial o en espesor total dependiendo de su profundidad.</p> |

Tabla 26. Caracterización del deterioro fractura de esquina

| Concepto | Descripción | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------|---|--|--|---------------------------|---------------|---------|---|---|------------|---|---|--------|---|---|
| Unidad de medida | Por losa, las fracturas de menos de 130 mm de la grieta a la esquina en ambos lados no deben ser contabilizadas. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Definición | Es la fractura de la losa aproximadamente a 0,5 m de la esquina, las fracturas generalmente se alinean para intersecar la junta. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> Excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles. Debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta. Deficiente diseño y/o sistemas de transferencia de carga de la junta. Acumulación de agua a nivel de las juntas. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nivel de severidad | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Profundidad de fractura</th> <th colspan="2">Dimensiones de los lados de la fractura</th> </tr> <tr> <td></td> <th>130 x 130mm a 300 x 300mm</th> <th>> 300 x 300mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 25 mm</td> <td>B</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>25 a 50 mm</td> <td>B</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>>50 mm</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table> | Profundidad de fractura | Dimensiones de los lados de la fractura | | | 130 x 130mm a 300 x 300mm | > 300 x 300mm | < 25 mm | B | B | 25 a 50 mm | B | M | >50 mm | M | A |
| Profundidad de fractura | Dimensiones de los lados de la fractura | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 130 x 130mm a 300 x 300mm | > 300 x 300mm | | | | | | | | | | | | | | |
| < 25 mm | B | B | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 a 50 mm | B | M | | | | | | | | | | | | | | |
| >50 mm | M | A | | | | | | | | | | | | | | |
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Bajo: sellado de juntas y grietas.</p> <p>Medio y Alto: reparación de losas en espesor parcial o en espesor total dependiendo de su profundidad.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |

3.1.2.4. Misceláneos

A continuación, se muestra la caracterización de los deterioros correspondientes a la categoría de misceláneos:

Tabla 27. Caracterización del deterioro escalonamiento entre calzada y juntas

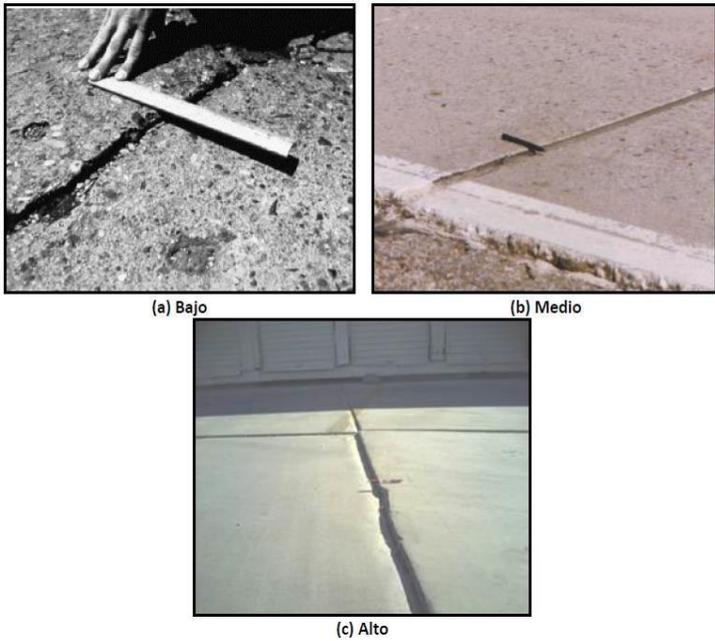
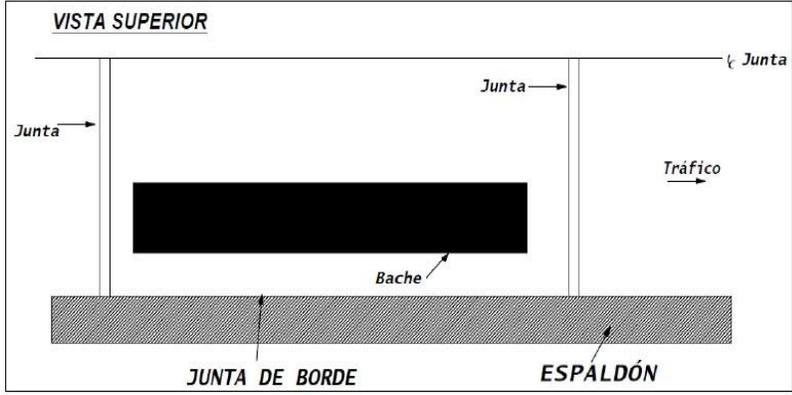
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, sólo las losas afectadas se cuentan. |
| Definición | Diferencia de elevación a través de una junta entre losas de la superficie de ruedo. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • Diferencia entre el asentamiento o erosión. • Asentamientos diferenciales de la subrasante. • Puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua. • Deficiencias en el traspaso de cargas entre las losas. |
| Nivel de severidad | <p>Nivel de severidad B, diferencia de elevación entre 3-10 mm.</p> <p>Nivel de severidad M, diferencia de elevación entre 10-20 mm.</p> <p>Nivel de severidad A, diferencia de elevación >20 mm.</p> |
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Para todos los casos: levantamiento localizado de losas o reparación de losas en espesor total.</p> |

Tabla 28. Caracterización del deterioro bombeo

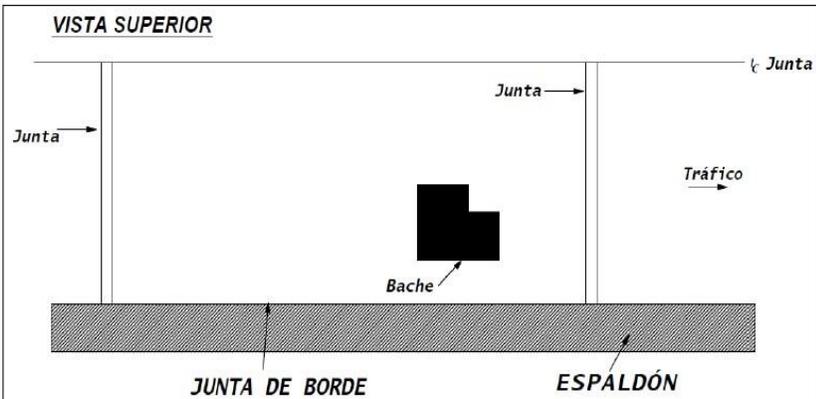
| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, si la junta por la que se da el bombeo es entre dos losas, se deben contar ambas. |
| Definición | Consiste en la salida (lavado) del material de fundación (base) a través de juntas o grietas. |
| Causas posibles | Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo la losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo, lo cual genera una pérdida progresiva del soporte del pavimento. |
| Nivel de severidad | No posee criterios de severidad. |
| Representación del nivel de severidad |  |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Localizar el origen del agua infiltrada; si es por las mismas juntas y grietas, se resellan mediante la actividad de Sello de juntas y grietas.</p> |

Tabla 29. Caracterización del deterioro baches mayores a 0.5 m²

| Concepto | Descripción |
|----------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, si posee más de un bache con diferente severidad se debe contar como la severidad más alta. |
| Definición | Un bache es un área en donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por otro material de relleno. Un corte de utilidad es un bache que reemplaza el pavimento original con el fin de permitir la instalación o mantenimiento de servicios subterráneos. |
| Causas posibles | <ul style="list-style-type: none"> • En el caso de baches asfálticos, capacidad estructural insuficiente del bache o mala construcción del mismo. • En reemplazo por nuevas losas de concreto de espesor similar al del pavimento existente, insuficiente traspaso de cargas en las juntas de contracción o mala construcción. • En baches de concreto de pequeñas dimensiones, inferiores a una losa, retracción de fraguado del concreto del bache que lo despega del concreto antiguo |
| Nivel de severidad | <p>Bajo: el bache funciona bien con poco o ningún deterioro.</p> <p>Medio: el bache se encuentra moderadamente deteriorado o moderadamente fracturado en los bordes o ambos. El material del bache se puede quitar con mucho esfuerzo.</p> <p>Alto: el bache se encuentra muy deteriorado, necesita reemplazo.</p> |
| Esquema de deterioro |  <p>Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Representación del nivel de severidad |  <p>(a) Bajo</p> <p>(b) Medio</p> <p>(c) Alto</p> |
| Posibles acciones de intervención | <p>Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p>Para todos los casos: reparación de losas en espesor parcial o en todo el espesor de acuerdo con la condición identificada.</p> |

Tabla 30. Caracterización del deterioro baches menores a 0.5 m²

| Concepto | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Unidad de medida | Por losa, si posee más de un bache con diferente severidad se debe contar como la severidad más alta. |
| Definición | Un bache es un área en donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por otro material de relleno. |
| Causas posibles | Causas correspondientes al deterioro de "baches mayores a 0.5 m ² " |
| Nivel de severidad | Bajo: el bache funciona bien con poco o ningún deterioro. Medio: criterios del deterioro de "baches mayores a 0.5 m ² " Alto: el bache se encuentra muy deteriorado, necesita reemplazo. |
| Esquema de deterioro |  <p data-bbox="708 1108 1260 1140">Nota: Adaptado a partir del autor (FHWA,2003)</p> |
| Representación del nivel de severidad |  |
| Posibles acciones de intervención | <p data-bbox="548 1633 1417 1759">Evaluar previamente el sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias para evitar afectaciones en la estructura del pavimento.</p> <p data-bbox="548 1770 1417 1852">Para todos los casos: reparación de losas en espesor parcial o en todo el espesor de acuerdo con la condición identificada.</p> |

3.2. Técnicas de preservación de pavimentos

Los programas de preservación de pavimentos normalmente incluyen una combinación de técnicas de mantenimiento preventivo, rehabilitación menor y trabajos de mantenimiento rutinarios, los cuales brindan opciones de preservación para un pavimento que aún se encuentra en buenas condiciones. Sin embargo, el componente principal de la preservación de pavimentos es el mantenimiento preventivo (Peshkin et al.,2011).

El uso de diferentes tratamientos o técnicas de preservación permiten mejorar la condición funcional de un pavimento y retardar la tasa de deterioro. La aplicación de los tratamientos mencionados es relativamente económica en comparación con los proyectos de rehabilitación o reconstrucción y, por ende, son considerados un medio rentable para alcanzar los objetivos de desempeño deseados para un pavimento. Cabe reiterar que los pavimentos con deterioro estructural significativo no son candidatos a tratamientos de preservación de pavimentos.

Según el Departamento de Transporte de Illinois (2010) (IDOT,2010) los beneficios obtenidos por la aplicación de la preservación de pavimentos se logran dado que estas técnicas permiten:

- Reducir la infiltración de agua a las capas subyacentes.
- Mantener las condiciones de drenaje.
- Reducir la infiltración de agua en grietas y juntas.
- Desacelerar los efectos de envejecimiento del pavimento.
- Minimizar las cargas dinámicas.

La reducción de la infiltración de agua y el mantenimiento adecuado del drenaje ayudan a proteger las capas subyacentes del pavimento para que no se debiliten o se laven. El uso general de técnicas superficiales de mantenimiento preventivo puede ayudar a retrasar el envejecimiento. Las técnicas de preservación de pavimentos también ayudan a preservar el pavimento al reducir y/o corregir la regularidad del pavimento y, por tanto, ayuda a minimizar las cargas dinámicas y, a su vez, prolongar la vida útil del pavimento (IDOT,2010).

Las técnicas de preservación se categorizan según el tipo de pavimento y principalmente por el propósito de cada implementación. Específicamente, estas técnicas se basan comúnmente en el tipo de deterioro potencial presente en la superficie. Actualmente se encuentran disponibles muchas técnicas de preservación de pavimentos diferentes. Estos van desde aplicaciones localizadas hasta tratamientos que se aplican a toda la superficie del pavimento. Para todas las técnicas, el propósito es minimizar los efectos del deterioro del pavimento o evitar que ocurran.

En esta investigación, con el objetivo de ser congruente con las técnicas de preservación utilizadas en Costa Rica, se incluirán las técnicas tradicionales especificadas actualmente en el documento "Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes (MCV 2015)" y además se incluye el estudio de una técnica no tradicional en el país, pero que se han utilizado con buenos resultados a nivel internacional para cada tipo de pavimentos.

Para la determinación de estas técnicas de preservación no tradicionales, se procedió a realizar la revisión bibliográfica de los manuales de preservación aplicados por diferentes Departamentos de Transporte de los Estados Unidos e informes de los principales entes de investigación (FHWA, NCHRP, SHRP, entre otros) de dicho país. Se llevó a cabo un cuadro comparativo de las técnicas consideradas para cada tipo de pavimentos por cada Agencia de Transporte, el cual se muestra en la Tabla 31 y Tabla 32.

El análisis comparativo de manuales para pavimentos flexibles y rígidos incluyó los documentos que se enumeran a continuación:

- Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes; Costa Rica (MCV,2015)
- Tiempo óptimo para la aplicación de tratamientos de mantenimiento preventivo de pavimentos (NCHRP,2004)
- Guía para la preservación de carreteras de alto tráfico (SHRP2,2011)
- Guía de preservación de pavimentos de Dakota del Sur (SDDOT,2010)
- Guía de aplicación de las prácticas de mantenimiento preventivo y rehabilitación para la preservación de pavimentos de Louisiana (DOTD,2010)

- Guía de tratamientos para la preservación de pavimentos de Indiana (InDOT,2010)
- Manual de preservación de pavimentos de Minnesota (MnDOT,2010)
- Estrategias de preservación y rehabilitación de pavimentos. Capítulo 52 del Manual del Departamento de diseño y medio ambiente de Illinois (IDOT,2010)
- Estrategias para la preservación de pavimentos de concreto (FHWA,2019)

Tabla 31. Técnicas de preservación de pavimentos flexibles

| Técnicas de preservación | Documentos de referencia | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | MCV 2015 | NCHRP 2004 | SHRP2 2011 | SDDOT 2010 | DOTD 2010 | INDOT 2010 | MNDOT 2020 | IDOT 2010 |
| Sello y relleno de grietas | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fog seal (Sellos de niebla) | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Slurry seal (Sellos de lechada) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| Scrub Seals (Sellos de barrido) | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | |
| Cape seal (sello del cabo=TS+Slurry) | | | | | ✓ | | | ✓ |
| Flush seal (sello asfáltico=TS+Fog seal) | | | | | | ✓ | | |
| Sand seal (Sellos de arena) | | | | ✓ | | | | ✓ |
| Rejuvenecedores | | | | ✓ | | | | |
| Micro-pavimentos | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Tratamientos superficiales | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sobrecapas asfálticas delgadas < 1.5 pulgadas | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Spray patching (Bacheo a inyección) | | | | ✓ | | | | |
| Rut filling (Relleno de ahuellamientos) | | | | ✓ | | | | |
| Capa superficial aglomerado ultradelgada (UTBWC) | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sobrecapa ultra delgada de HMA (0.5 a 0.75 pulgadas). | | | ✓ | | | | ✓ | |
| Fresado en frío y capa de HMA. | | | ✓ | | | | | |
| Reciclado en frío (sitio) | | | | | | | | ✓ |
| Reciclado en caliente (sitio) ⁽¹⁾ | | | ✓ | | | | | ✓ |
| Micro fresado | | | | | | | ✓ | |
| Fresado | | | ✓ | | | ✓ | | ✓ |
| Mastick para relleno de huecos pequeños | | | | | | | ✓ | |
| Whitetopping ultradelgado | | | ✓ | | | | | |
| Preservación del drenaje | | ✓ | ✓ | | | | | |

Nota: elaboración a partir de los autores

⁽¹⁾ El reciclado en caliente corresponde a espesores ≤ 2.0 pulgadas

Tabla 32. Técnicas de preservación de pavimentos rígidos

| Técnicas de preservación | Documentos de referencia | | | | | | | |
|--|--------------------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | MCV 2015 | NCHRP 2004 | NCHRP 2011 | FHWA 2019 | SDDOT 2010 | DOTD 2010 | INDOT 2010 | IDOT 2010 |
| Sellado de Juntas entre losas | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sellado de grietas de concreto | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Diamond grinding (cepillado superficial) | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Diamond grooving (Ranurado de diamante) | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Reparación de losas en espesor parcial | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Reparación de losas en espesor total | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Adaptación de la barra de espiga (Refuerzo de grietas con dovelas) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Cross stitching (barras cruzadas) | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Slot Stitching (barras en ranura) | | | | ✓ | | | | ✓ |
| Capa superficial aglomerada ultradelgada (UTBWC) | | | ✓ | | | | | |
| Capa delgada de HMA | | | ✓ | | | ✓ | | |
| Estabilización de losas | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Recalce o levantamiento localizado de losas | ✓ | | | ✓ | ✓ | | | |

Nota: elaboración a partir de los autores

A partir de los resultados obtenidos, se detecta que efectivamente las técnicas tradicionales utilizadas en el país son bastante comunes a nivel de las diferentes Agencias de Transporte de Estados Unidos. Con respecto a la técnica no tradicional basado en la revisión bibliográfica, en conjunto con la profesora guía del presente trabajo se seleccionan las técnicas de **Micropavimentos** para los pavimentos flexibles y la técnica de **cepillado superficial** para los pavimentos rígidos, los cuales se considera que presentan historial de confiabilidad y desempeño importante y que se han utilizado en proyectos viales por más de 40 años; y por tanto, se dispone de una gran cantidad de información sobre investigación, diseño y construcción, y experiencia en proyectos (Maher et al.,2005). Las técnicas de preservación considerados en el presente informe para ambos tipos de pavimentos se enumeran a continuación en la Tabla 33.

Tabla 33. Técnicas de preservación de pavimentos incluidas en el estudio

| Pavimentos flexibles | Pavimentos rígidos |
|---------------------------------|---|
| Sello y relleno de grietas | Sellado de Juntas entre losas |
| Sellos de niebla (fog seal) | Sellado de grietas de concreto |
| Sellos de lechada (slurry seal) | Reparación de losas en espesores parciales |
| Tratamientos superficiales | Reparación de losas en espesores totales |
| Micro-pavimentos | Recalce o levantamiento localizado de losas |
| | Reemplazo de dovelas |
| | Cepillado superficial (diamond grinding) |

Nota: las técnicas en negrita corresponden a las no tradicionales consideradas.

La revisión de la literatura también indica que la mayoría de las técnicas mencionadas en las tablas anteriores ayudan a prolongar la vida útil de los pavimentos. La Tabla 34 resume algunos de los principales beneficios proporcionados por las diferentes técnicas de preservación de pavimentos (Peshkin et al. 2004).

Tabla 34. Beneficios principales de diferentes técnicas de preservación

| Técnica de preservación | Regularidad | Fricción | Ruido | Extensión de vida | Reducción de humedad |
|--|--------------------|-----------------|--------------|--------------------------|-----------------------------|
| Pavimentos Flexibles | | | | | |
| Sello y relleno de grietas | | | | ✓ | ✓✓ |
| Sello de niebla (fog seal) | | | | ✓ | ✓✓ |
| Sello de lechada (slurry seal) | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| Tratamientos Superficiales | ✓✓ | ✓✓ | | ✓✓ | ✓✓ |
| Micropavimentos | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| Pavimentos Rígidos | | | | | |
| Sellado de juntas y grietas | | | | ✓ | ✓✓ |
| Reparación de losas en espesor parcial y total | | | | ✓✓ | ✓ |
| Recalce o levantamiento localizado de losas | ✓ | | | ✓✓ | |
| Reemplazo de dovelas | ✓✓ | | ✓✓ | ✓✓ | |
| Cepillado de superficie | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Peshkin et al,2004; MDOT,2013)

Nota: ✓- menor efecto; ✓✓- mayor efecto

Para cada una de las técnicas de preservación incluidas en la Tabla 33. se presenta un conjunto de criterios de aplicabilidad detallados de cada una. Estos incluyen la descripción, aplicación, consideraciones de serviciabilidad (vida esperada y extensión en la vida de los

pavimentos), consideraciones de construcción generales para las técnicas tradicionales y costos típicos, los cuales en su mayoría son valores de representativos de los Estados Unidos según el año de la referencia. Es importante mencionar que, para el caso de las técnicas de pavimentos flexibles, adicional a los costos estadounidenses también se muestran costos directos actualizados al año 2020 basados en la experiencia de empresas de Honduras en la ejecución de estas actividades (los costos no incluyen costos administrativos).

Cabe destacar que una descripción detallada sobre el procedimiento constructivo de las técnicas tradicionales está disponible en el Manual de Especificaciones CR-2010 utilizado en Costa Rica y en el presente trabajo se incluirá únicamente la descripción detallada del procedimiento constructivo para las técnicas no tradicionales consideradas.

3.2.1. Técnicas de preservación de pavimentos flexibles

Sello y relleno de grietas

Descripción

Estos tratamientos están destinados principalmente a prevenir la intrusión o incursión de humedad a través de las grietas existentes. El sello de grietas se refiere a una operación de sellado que aborda las grietas "activas", es decir, aquellas que se abren y cierran con los cambios de temperatura tal como las grietas transversales (Peshkin et al., 2004). Las operaciones de sellado de grietas generalmente requieren una buena preparación de grietas (rutear o aserrar y limpiar a presión un depósito sobre la grieta) además de la colocación de materiales flexibles de alta calidad (materiales bituminosos termo endurecibles o termoplásticos que se ablandan al calentar y endurecen al enfriar) dentro y posiblemente sobre el depósito de la grieta (Peshkin et al., 2011).

El relleno de grietas es un tratamiento para grietas que sufren poco movimiento (no activas). Los materiales utilizados son típicamente materiales termoplásticos (bituminosos) que se ablandan al calentar y se endurecen al enfriar (Peshkin et al., 2004). El relleno implica la colocación de un material adhesivo en y/o sobre las grietas no activas (típicamente grietas

longitudinales de junta fría y reflectantes, grietas en los bordes y grietas en bloques espaciados a cierta distancia) en la superficie para evitar la infiltración de humedad en el pavimento, estructurar y reforzar el pavimento adyacente. Las operaciones de relleno de grietas generalmente implican una preparación mínima de grietas y el uso de materiales de relativamente menor calidad (Peshkin et al., 2011). Según Caltrans (2008) las grietas solo se tratan cuando son mayores de 6 mm (1/4 de pulgada) o hasta 25 mm (1 pulgada). El esquema del sello y relleno de grietas se muestra en la Figura 17.

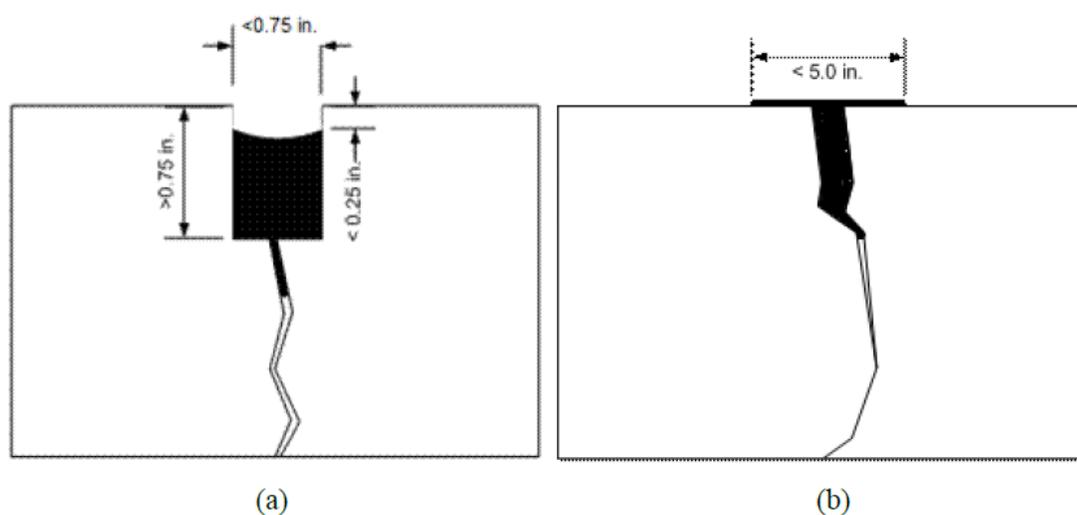


Figura 17. Esquema de sello de grietas (a) /relleno de grietas (b)
Nota: tomado de Lee y Shields (2010)

Tabla 35. Pros y contras del sello y relleno de grietas

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Reduce la infiltración de agua. | La aplicación excesiva puede causar una reducción en la resistencia al deslizamiento. |
| Disminuye el deterioro adicional de la fisura (por ejemplo, descascarado de la fisura). | Mala apariencia y visibilidad. |
| No se requiere fresado/perfilado de la superficie. | No es conveniente su aplicación cuando el volumen de grietas abarca extensiones altas. |
| Rápida apertura al tráfico. | Sin mejora estructural. |
| La tecnología es conocida y ampliamente utilizada. | |
| Costo relativamente bajo en comparación con otros tratamientos de mantenimiento preventivo. | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Cuelho et al.,2006; Lee y Shields,2010).

Aplicación

Clima: el tratamiento puede funcionar bien en todas las condiciones climáticas. Sin embargo, los selladores funcionan mejor en entornos más secos y más cálidos que no sufren grandes cambios diarios de temperatura (Peshkin et al., 2004).

Tráfico: el rendimiento no se ve afectado significativamente por la variación de TPD o los niveles de camiones o pesados (Peshkin et al., 2004).

Usos típicos: la mayor eficiencia se obtiene para tratar condiciones funcionales tales como las grietas longitudinales, transversales y grietas en bloques de severidad baja (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2004; Maher et al,2005; SCT,2014).

Restricciones

Estructural: no agrega ningún beneficio estructural, pero reduce la infiltración de humedad a través de las grietas. Solo es práctico si la extensión del agrietamiento es mínima y si hay poco o ningún agrietamiento estructural (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

Condiciones no abordadas: pavimentos con fallas estructurales (es decir, la presencia de grietas extensas por fatiga o ahuellamientos de alta severidad) y en general, tramos con deterioros extensos del pavimento (poca vida restante) (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

Restricciones de sitio: ninguna

Consideraciones generales de construcción

La colocación debe hacerse en condiciones de temperaturas moderadas y superficie del pavimento seca. La limpieza adecuada de grietas es esencial para una buena adherencia y un máximo desempeño. Algunas agencias también realizan aplicaciones de aire comprimido caliente antes del sellado. Según Peshkin et al (2011) se deben seguir las pautas del

fabricante, pero un buen rango de temperatura ambiente es de 45 ° F a 65 ° F (7°C a 18 °C) (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

Serviciabilidad

Tabla 36. Vida esperada del sello y relleno de grietas

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| FHWA (2000) | Hicks et al., 2000 | 2 – 8 (3 - 6) |
| NCHRP (2004) | Peshkin et al,2004 | 2 - 6 |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 2 - 8 |
| Illinois (2010) | IDOT, 2010 | 2 - 8 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 3 – 8 (2 - 4) |
| Minnesota (2020) | MnDOT,2020 | 2 – 4 (1 - 3) |

*Nota: los valores entre paréntesis representan la vida esperada para el relleno de grietas

Extensión en la vida del pavimento: según Peshkin et al (2011): Sellado de grietas: 2–5 años; Relleno de grietas: N/A

Costos típicos

\$ 1.00 a \$ 5.00/ml para el sellado de grietas, incluido el ruteo; \$ 0.33 a \$ 3.94/ml para el relleno de grietas. Los costos son ligeramente más altos para trabajos pequeños (Peshkin et al., 2011). Los costos de referencia promedio en países de la zona como Honduras para el año 2020 corresponden a \$ 3.1/ml para el sello de grietas y \$ 2.3/ml para el relleno de grietas.

Información adicional

Riesgos: a continuación, se muestran algunos factores a relacionados con potenciales riesgos: una instalación incorrecta puede hacer que el sellador o el material de relleno fallen. Se deben evitar las aplicaciones tipo sobre-bandas en carreteras con mucho tráfico debido a que los altos esfuerzos de tensión aplicados directamente sobre los bordes de las grietas, dan como resultado una separación de los bordes (Peshkin et al., 2011). El sellado de grietas extenso puede requerir secar la superficie para mantener la resistencia al deslizamiento del pavimento (Peshkin et al., 2011).

Sellos de lechada

Descripción

Es un tratamiento de superficie delgada mezclado en frío constituido por una mezcla de emulsión asfáltica, agregado fino triturado de graduación densa, relleno mineral, aditivos y agua proporcionados adecuadamente para producir consistencia, la cual se extiende uniformemente sobre una superficie de pavimento previamente preparada. Los componentes mencionados se muestran en la Figura 18. Los sellos de lechada se utilizan como técnica de mantenimiento preventivo o de protección para superficies pavimentadas o tratamientos asfálticos superficiales (Peshkin et al., 2011; Maher et al., 2005).

Hay tres tipos de sellos de lechada, basados en el tamaño del agregado más grande de la mezcla, lo que también implica el espesor del tratamiento superficial de la siguiente manera: tipo I de 3 mm (1/8 pulgada.), tipo II de 6 mm (1/4 pulgada.) y tipo III de 9 mm (3/8 pulgada.). El tipo II es la gradación de sellos más utilizada (Maher et al., 2005). Es eficaz para sellar grietas superficiales de baja severidad, impermeabilizar la superficie del pavimento y mejorar la resistencia al deslizamiento. En términos generales, el espesor de la aplicación varía entre 3 y 9 mm (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

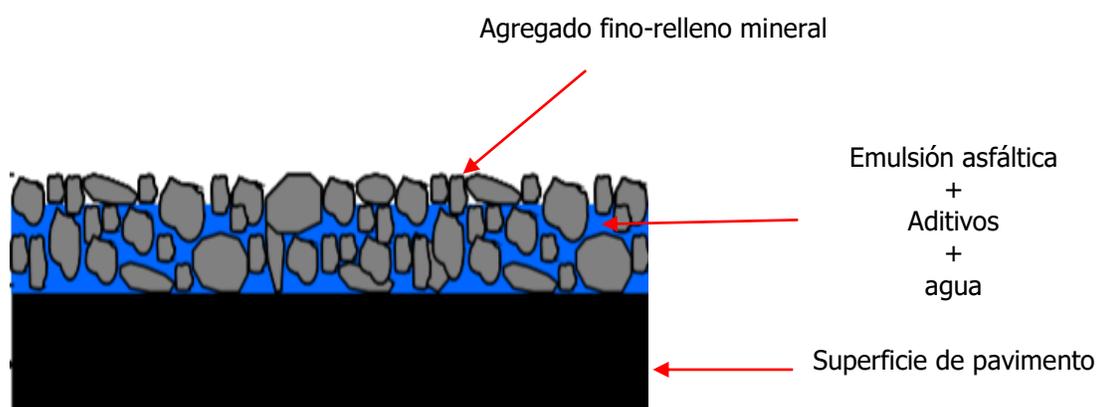


Figura 18. Componentes del slurry seal
Nota: modificado a partir del autor (SANRAL,2007)

Tabla 37. Pros y contras del sello de lechada

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Ayudan a mantener el agua fuera de la estructura del pavimento, lo que puede prolongar su vida útil. | Periodo de desempeño relativamente corto (se requieren múltiples aplicaciones durante la vida útil del pavimento). |
| Pueden mejorar la fricción de la superficie del pavimento, mejorando así la seguridad. | Si se construye incorrectamente pueden afectar adversamente la fricción superficial. |
| Mejoran la estética del pavimento al crear la impresión de un pavimento nuevo. | Suelen ser de color oscuro y probablemente disminuirán el albedo del pavimento. |
| Tiempo de construcción relativamente corto (menores retrasos del tráfico). | |

Nota: elaboración a partir del autor (FHWA,2015).

Aplicación

Clima: el tratamiento se realiza de manera efectiva en todas las condiciones climáticas. Sin embargo, el mejor rendimiento se produce en climas cálidos con bajos cambios diarios de temperatura (Peshkin et al., 2004).

Tráfico: el desempeño en términos de desgaste de la superficie se ve afectado por el aumento del TPD y los niveles de tráfico de pesados. Las propiedades de la mezcla (la calidad del agregado, la gradación y el contenido de la emulsión) se pueden modificar para acomodar los mayores volúmenes de tráfico (Peshkin et al., 2004). Según Maher et al. (2005) es aplicable para los rangos de tráfico: muy bajo para el tipo I, muy bajo a medio para el tipo II y muy bajo a alto (TPD>5000) para el tipo III. Según Caltrans (2008) el tipo III se puede utilizar para valores máximos de TPD de 20000 cuando se utiliza como superficie de rodadura.

Usos típicos: condiciones funcionales tales como las grietas transversales, longitudinales muy pequeñas y en bloque (L), desprendimiento/ desgaste de agregados, envejecimiento, oxidación y endurecimiento del asfalto, pérdida de fricción, infiltración de humedad (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011; Caltrans, 2008).

Restricciones

Estructural: no agrega capacidad estructural; sin embargo, puede sellar grietas temporalmente (L) o servir como relleno de ahuellamientos (L) si son estables (Peshkin et al., 2004).

Condiciones no abordadas: fallas estructurales (como grietas significativas por fatiga y ahuellamientos profundos de más de 12 mm), grietas transversales, longitudinales y en bloque (M-H) (Peshkin et al., 2004).

Restricciones del sitio: el pavimento generalmente se cierra durante varias horas para permitir el proceso de curado de la emulsión (Peshkin et al., 2004).

Terreno: generalmente no se recomienda utilizar para pendientes de carreteras superiores al 8% (Maher et al., 2005).

Resistencia al deslizamiento: proporcionan una excelente resistencia al deslizamiento inicial (Maher et al., 2005). Sin embargo, puede acelerar el desarrollo de stripping (daño por humedad) en pavimentos susceptibles de mezclas asfálticas en caliente (Maher et al., 2005; Peshkin et al., 2011).

Nota: L, M y H definen el nivel de deterioro (L para bajo, M para medio y H para alto).

Consideraciones de construcción

La superficie debe estar limpia y seca. Se recomienda tratar previamente los huecos existentes y realizar el sellado de grietas (M-H) antes de la colocación del tratamiento. Los agregados deben ser limpios, angulares, durables, bien graduados y uniformes (preferiblemente 100% triturados). Se debe evitar la colocación en climas cálidos (posibles problemas de bombeo) y la apertura prematura al tráfico. No deben colocarse cuando se esperan temperaturas bajas (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

Serviciabilidad

Historial de confiabilidad y desempeño: este tipo de sellos son un tratamiento de mantenimiento preventivo que se ha utilizado en proyectos de carreteras durante más de 50 años. Se dispone de directrices de diseño y construcción y datos de desempeño (Maher et al., 2005).

Tabla 38. Vida esperada del sello de lechada

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| FHWA (2000) | Hicks et al., 2000 | 3 - 7 |
| NCHRP (2004) | Peshkin et al,2004 | 3 - 5 |
| FHWA (2005) | Maher et al, 2005 | 3 – 8 (5) |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | --- |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 3 - 6 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 3 - 5 |
| Minnesota (2020) | MnDOT,2020 | 5 – 7 |

*Nota: Los valores entre paréntesis representan la vida promedio del tratamiento.

Extensión en la vida del pavimento: según Peshkin et al (2011): 4 – 5 años

Modos de fallas/principales deterioros: exudación, ahuellamientos, agrietamiento (originadas de la capa de rodadura subyacente) (Maher et al., 2005).

Costos típicos

\$ 0.84 a \$ 1.14 por m² (Peshkin et al.,2011). Los costos de referencia promedio en países de la zona como Honduras para el año 2020 corresponden a \$ 2.91/m².

Información adicional

Las tasas de aplicación de los 3 tipos de sellos de lechada son: tipo I para menor volumen de tráfico (3.3 a 5.4 kg/m²), tipo II para tráfico pesado (5.4 a 8.1 kg/m²) y tipo III para pavimentos de superficie irregular y alto volumen de tráfico (8.1 kg/m²) (Peshkin et al., 2004; Maher et al, 2005).

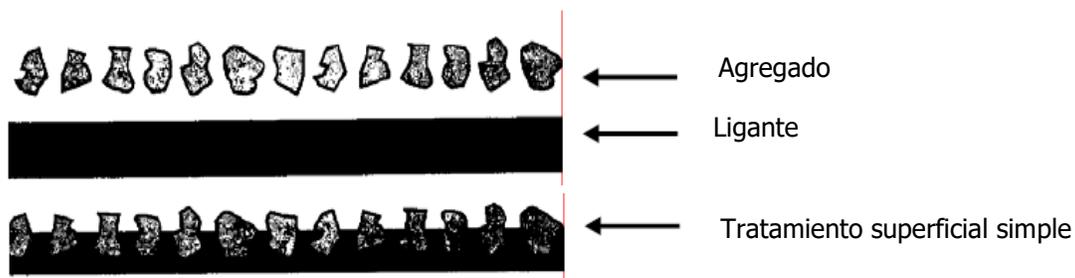
Calidad de ruedo: los sellos de lechada pueden mejorar ligeramente la calidad de ruedo de una carretera pavimentada previamente. Sin embargo, no mitigarán los defectos significativos (ahuellamientos, hundimientos, grietas severas, etc.) presentes en la superficie existente (Maher et al., 2005).

Tratamientos superficiales

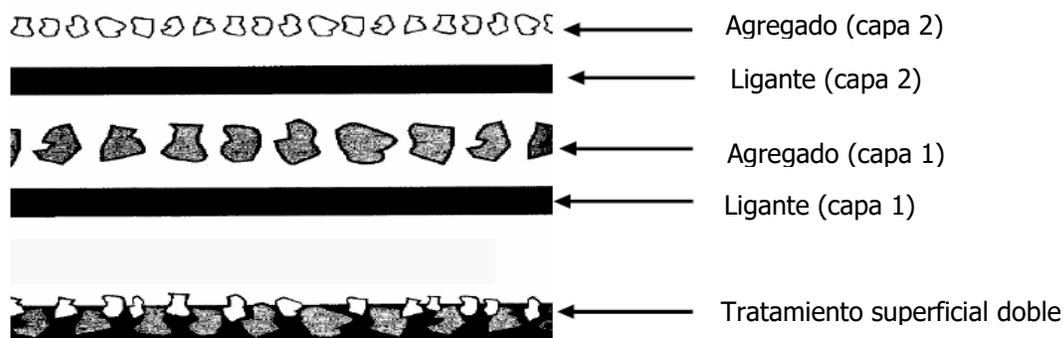
Descripción

Consiste en la aplicación de emulsión asfáltica directamente a la superficie del pavimento (1.59 a 2.27 l/m²) seguido de la aplicación de agregados (8 a 27 kg/m²), los cuales son compactados inmediatamente para lograr una incrustación del 50 a 70 %. Las tasas de aplicación dependen de la gradación y tamaño máximo del agregado. El agregado utilizado es un agregado triturado de un solo tamaño; el tamaño máximo suele ser de 6 a 9 mm (1/4 a 3/8 pulgada), aunque se han utilizado con éxito agregados de mayor tamaño en carreteras con tráfico pesado de camiones (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

El espesor de la capa del tratamiento construido es igual al tamaño máximo del agregado utilizado. Estos tratamientos son utilizados para sellar la superficie con mínimo agrietamiento del pavimento en contra la intemperie, desprendimiento de agregados, oxidación y mejorar la fricción. Se pueden aplicar en múltiples capas (por ejemplo, tratamientos dobles). También se puede utilizar en combinación con otros tratamientos, tal como los micropavimentos, cuya combinación se denomina sello de capa (cape seal) (Peshkin et al., 2011). Los componentes se muestran en la Figura 19.



a)



b)

Figura 19. Componentes de los tratamientos superficiales. a) TS-1 b) TS-2
Nota: modificado a partir del autor (Caltrans,2008)

Tabla 39. Pros y contras del tratamiento superficial

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Reduce la infiltración de agua. | Potencial generación de ruido |
| Tiempo de construcción relativamente corto, (menos interrupciones y retrasos del tráfico). | No aplicable para pavimentos susceptibles al daño por humedad. |
| No se requiere fresado. | Sin mejora estructural. |
| Disminuye el deterioro adicional de las grietas. | |
| Rápida apertura al tráfico. | |
| Es una técnica experimentada y confiable. | |
| Proporciona una superficie con alta resistencia a la fricción. | |
| Costo relativamente bajo para un tratamiento duradero. | |
| Buen desempeño del tratamiento en todos los climas. | |

Nota: Elaboración a partir de los autores (Cuelho et al.,2006; Lee y Shields,2010)

Aplicación

Clima: el tratamiento funciona bien en todas las condiciones climáticas. La colocación debe llevarse a cabo cuando la temperatura sea superior a 55 °F (12 °C) y, por tanto, evitar la colocación durante condiciones de clima frío y/o húmedo (Peshkin et al., 2011).

Tráfico: con un diseño y una ubicación adecuados, los tratamientos superficiales pueden funcionar bien en carreteras de alto volumen. Sin embargo, en ocasiones el uso se limita principalmente a carreteras de menor velocidad y menor volumen debido a la propensión

de agregado suelto; cabe destacar que, haciendo uso de consideraciones especiales de diseño y ubicación, este tipo de tratamientos puede funcionar bien en carreteras de alto volumen a través del uso de una emulsión de fraguado rápido o un ligante modificado con polímeros en el diseño de la mezcla, se recomienda aplicar un agregado triturado de menor tamaño, limitar el exceso de agregados al 5% al 10% o aplicar un tratamiento cape seal (Peshkin et al., 2011).

Rangos de tráfico desde muy bajo a medio (TPD entre 5000-10000) cuando se coloca sobre una capa de base; rango de muy bajo a alto (TPD >10000) cuando se coloca sobre una carpeta asfáltica existente (Maher et al., 2005). Generalmente, no se utilizan en carreteras con TPD>40000 (Caltrans,2008). Estos tratamientos generalmente deben limitarse a tráficos mixtos con menos del 15% de camiones. Se debe evitar el uso de tratamientos superficiales en áreas de frenado o giros frecuentes de camiones (Maher et al., 2005).

Usos típicos: según SCT (2014) son más efectivos antes de que las grietas existentes sean >10 mm de ancho. Sin embargo, las buenas prácticas establecen que la efectividad más alta se obtiene al abordar condiciones funcionales tales como grietas longitudinales, transversales y en bloque < 6mm (L), desprendimiento /desgaste de agregados, pérdida de fricción, rugosidad (L) e infiltración de humedad (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

Restricciones

Estructural: no agrega capacidad estructural. Sin embargo, es efectivo para sellar grietas por fatiga (L) en comparación con otros tratamientos (Peshkin et al., 2004).

Condiciones no abordadas: falla estructural (es decir, grietas extensas por fatiga y ahuellamientos profundos > 12 mm), grietas longitudinales, transversales con ancho >6 mm (M-H), deterioro extenso del pavimento, poca o ninguna vida restante. Puede acelerar el desarrollo de stripping (daño por humedad) en pavimentos susceptibles de HMA. (Peshkin et al., 2004; Lee y Shields,2010; SCT,2014). Según el Instituto de Transporte Mineta (MTI por sus siglas en inglés) las condiciones anteriores aplican, aunque se utilicen emulsiones asfálticas modificadas con polímeros (Caltrans,2008; MTI,2019).

Terreno: no se recomienda utilizar para pendientes de carreteras superiores al 8% (Maher et al., 2005).

Nota: L, M y H definen el nivel de deterioro (L para bajo, M para medio y H para alto).

Consideraciones de construcción

La superficie debe estar limpia. El tratamiento debe colocarse bajo condiciones de clima adecuadas haciendo uso de un esparcidor de agregado inmediatamente detrás del distribuidor de asfalto y los compactadores de rodillos deberán ubicarse detrás del esparcidor. Se requieren aproximadamente dos horas antes de que la sección tratada se vuelva a abrir al tráfico a velocidades normales. Por lo general, se requiere barrer la superficie para eliminar el material suelto (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011). Si se tienen áreas con deterioros tales como baches, ahuellamientos >12.5 mm o grietas de severidad media se recomienda tratarlas haciendo uso las técnicas que correspondan antes de la colocación del tratamiento (Caltrans,2008; SCT,2014;MIT,2019).

Serviciabilidad

Historial de confiabilidad y desempeño: son un tratamiento de carreteras muy común y se han utilizado en proyectos durante más de 50 años (Maher et al., 2005).

Tabla 40. Vida esperada de los tratamientos superficiales

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| FHWA (2000) | Hicks et al., 2000 | 3 - 7 |
| NCHRP (2004) | Peshkin et al,2004 | 4 - 7 |
| FHWA (2005) | Maher et al, 2005 | 3 - 7 |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 6 - 8 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 4 - 6 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 3 – 7 (5 - 10) |
| Minnesota (2020) | MnDOT,2020 | 5 - 7 |

*Nota: El valor entre paréntesis representan la vida esperada para el tratamiento superficial doble.

Extensión en la vida del pavimento: según Peshkin et al (2011): tratamiento simple: 5 – 6 años; tratamiento doble: 8 a 10 años.

Modos de falla/principales deterioros: agrietamiento, desprendimiento de agregados, exudación y pérdida de fricción superficial (Maher et al., 2005).

Necesidades de preservación: el mantenimiento preventivo incluye el sellado periódico de grietas. Se pueden aplicar sellos de niebla para prolongar la vida útil de los tratamientos superficiales (Maher et al., 2005).

Resistencia al deslizamiento: si se utilizan agregados de alta calidad, estos tratamientos proporcionan una resistencia al deslizamiento de buena a excelente (Maher et al, 2005).

Costos típicos

\$ 1.80 a \$ 2.40 por m² para una sola aplicación de tratamiento convencional y \$ 2.40 a \$ 4.76 por m² para una aplicación convencional modificada con polímeros (Peshkin et al., 2011). Los costos de referencia promedio en países de la zona como Honduras para el año 2020 corresponden a \$ 2.42/m² y \$ 2.65/m² para una aplicación simple convencional y modificada respectivamente y de \$3.99 /m² y \$4.41/m² para una aplicación doble convencional y modificada respectivamente.

Información adicional

Se recomienda que el grado del ligante asfáltico se seleccione en función de los rangos de temperatura de servicio y los volúmenes de tráfico. Este tipo de tratamientos también se pueden usar sobre tratamientos superficiales envejecidos para proporcionar una acumulación continua de superficie a través del tiempo (Peshkin et al., 2004).

Calidad de ruedo: similar a otros tratamientos no estructurales, no mejoran la calidad de ruedo; la cual está determinada principalmente por la regularidad de las capas subyacentes (Maher et al., 2005).

Sellos de niebla

Descripción

Los sellos son aplicaciones muy ligeras de una emulsión asfáltica diluida en agua colocada directamente sobre la superficie del pavimento sin agregado según se observa en la Figura 20. Se colocan principalmente para sellar el pavimento, inhibir el desprendimiento de agregados, enriquecer el asfalto oxidado y proporcionar algo de delimitación del borde hombro del pavimento (Peshkin et al.,2004; Peshkin et al.,2011; Caltrans 2008).

Los sellos de niebla se han usado para sellar inmediatamente pavimentos nuevos después de su construcción. En la actualidad, estos tratamientos se utilizan principalmente para enriquecer superficies de asfalto oxidado o para sellar grietas muy pequeñas. Las tasas de aplicación típicas varían de 0.23 a 0.45 l/m² (Peshkin et al.,2011; Maher et al.,2005).



Figura 20. Componentes y aplicación de sello de niebla
Nota: tomado de NCDOT (2015)

Tabla 41. Pros y contras del sello de niebla

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| Reduce la infiltración de agua. | Sin mejora estructural. |
| Disminuye el deterioro adicional de las grietas. | Corta vida útil |
| Retrasa el desprendimiento de agregados / envejecimiento de la superficie. | La aplicación excesiva puede causar una reducción en la resistencia al deslizamiento. |
| Rejuvenece la viscosidad de la superficie de mezclas asfálticas. | No aplicable para pavimentos susceptibles al daño por humedad |
| Mejora la visibilidad de la señalización del pavimento. | |
| Tiempo de colocación corto (una pasada). | |
| No se requiere fresado. | |
| Buen desempeño del tratamiento en todos los climas. | |
| Reduce la pérdida de agregado cuando se aplica sobre un tratamiento superficial. | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Cuelho et al.,2006; Lee y Shields,2010)

Aplicación

Clima: el tratamiento funciona bien en todas las condiciones climáticas. El desempeño real variará según los factores que afectan la intemperie y el desprendimiento de agregados de las superficies bituminosas (Peshkin et al.,2004).

Tráfico: el aumento de los niveles de TPD o de camiones puede aumentar el desgaste de la superficie. Según la experiencia de diferentes Agencias de Transporte el mejor desempeño se obtiene para niveles de tráfico bajos (TPD<5000). Sin embargo, en carreteras de altos niveles de tráfico, se destaca que se requiere un alto grado de experiencia en construcción y control de calidad (Peshkin et al.,2004; Maher et al., 2005).

Usos típicos: condiciones funcionales tales como pequeñas grietas longitudinales, transversales y en bloque muy pequeñas (L). Únicamente es capaz de sellar grietas <3 mm (SCT,2014). Es decir, el mejor desempeño se obtiene a través del uso en los deterioros de desprendimiento/desgaste de agregados, asfalto envejecido, oxidación y endurecimiento y prevenir la infiltración de humedad (Peshkin et al., 2004; Caltrans,2008; SCT,2014).

Restricciones

Estructural: no agrega ningún beneficio estructural, pero puede ayudar a reducir la infiltración de humedad a través de grietas por fatiga (L) (Peshkin et al., 2004).

Condiciones no abordadas: falla estructural (como grietas significativas por fatiga), exudación (M-H), pérdida por fricción (M-H), grietas longitudinales, transversales y grietas en bloque (M-H) (Peshkin et al., 2004; Caltrans, 2008; SCT, 2014).

Restricciones de sitio: es posible que no sea apropiado para carreteras sinuosas debido a posibles disminuciones de la resistencia al deslizamiento (Maher et al., 2005).

Nota: L, M y H definen el nivel de deterioro (L para bajo, M para medio y H para alto).

Consideraciones de construcción

Por lo general, se usa una emulsión de fraguado lento que requiere tiempo para "romper", el tramo a intervenir a veces se cierra durante aproximadamente dos horas para permitir el curado antes de volver a abrirse al tráfico (Peshkin et al., 2004).

Serviciabilidad

Historial de confiabilidad y desempeño: los sellos de niebla son un tratamiento muy común para la superficie de rodadura. Se dispone de una gran cantidad de información sobre construcción y experiencia en proyectos viales (Maher et al., 2005).

Tabla 42. Vida esperada del sello de niebla

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|---------------------|------------------------------|
| FHWA (2000) | Hicks et al., 2000 | 2 - 4 |
| NCHRP (2004) | Peshkin et al, 2004 | 1 - 2 |
| FHWA (2005) | Maher et al, 2005 | 1 – 3 (2) |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 1 - 3 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 1 - 3 |
| Minnesota (2020) | MnDOT, 2020 | 2 - 4 |

*Nota: Los valores entre paréntesis representan la vida promedio del tratamiento.

Extensión en la vida del pavimento: según The Pavement Preservation & Recycling Alliance (2021): 2-4 años.

Modos de falla/ principales deterioros: desgaste superficial y exudación (Maher et al., 2005).

Resistencia al deslizamiento: estos sellos pueden reducir la resistencia al deslizamiento de la superficie si se aplica en proporciones excesivas (Maher et al., 2005).

Costos típicos

\$ 0.36 a \$ 0.54 por m² de superficie del pavimento tratada (Peshkin et al., 2004). Los costos de referencia promedio en países de la zona como Honduras para el año 2020 corresponden a \$ 0.68/m².

Información adicional

Otros comentarios: no se recomienda su aplicación en superficies rodadura con baja resistencia al deslizamiento; estos funcionan mejor en capas de rodadura gruesas o porosas donde la emulsión asfáltica pueda penetrar en la superficie. Los sellos pueden extender la vida útil de las superficies de las carreteras y pueden usarse como una estrategia de "retención" (es decir, retrasar la necesidad de un mantenimiento o rehabilitación mayor). Se utilizan con frecuencia en tratamientos superficiales recién construidos para minimizar la pérdida de agregados (Maher et al., 2005).

Calidad de ruedo: los sellos antiniebla no afectan la calidad de ruedo de la superficie (Maher et al., 2005).

Apariencia: inmediatamente después de la colocación, los sellos de niebla son negros y se puede modificar a través del uso de pigmentos en la emulsión asfáltica (Maher et al., 2005).

Micro-pavimentos

Generalidades

Los micropavimentos son tratamientos que se utilizan ampliamente en la preservación de pavimentos, tal como el mantenimiento preventivo. Es utilizado principalmente para el mejoramiento de la capa de ruedo proporcionando una superficie antideslizante, para el relleno de irregularidades menores y ahuellamientos (hasta de 12.5 mm. de profundidad), inhibir el desprendimiento de agregados y la oxidación de la superficie del pavimento (Peshkin et al.,2004, Maher et al., 2005, NCHRP,2010). El tratamiento puede sellar grietas muy pequeñas. Sin embargo, no está diseñado como un tratamiento de grietas y no evitará que las grietas presentes en el pavimento subyacente se reflejen en la superficie (Caltrans,2008).

Según la International Slurry Surfacing Association (ISSA) (2010) los micropavimentos se aplicarán como una alfombra homogénea, la cual se adherirá firmemente a la superficie preparada y tendrá una textura antideslizante durante toda su vida útil.

La técnica de micropavimentos representan una opción principalmente como tratamiento de preservación para mantener buenas condiciones de las carreteras de altos volúmenes de tráfico en buen estado y no es una herramienta adecuada para usar en pavimentos cuya condición estructural se ha visto comprometida (NCHRP,2010). El pavimento existente debe presentar una sección transversal uniforme y una buena base (MDOT,2010). La aplicación de estos tratamientos no añade capacidad estructural al pavimento (Peshkin et al.,2004; Maher et al., 2005; Peshkin et al.,2011).

La principal diferencia entre los micropavimentos y los sellos de lechada es que los micropavimentos se pueden colocar con un espesor de hasta aproximadamente tres veces el tamaño máximo del agregado de la mezcla. Los sellos de lechada se aplican al espesor del tamaño máximo del agregado usado en la mezcla (Maher et al.,2005). Cuando se requieren aplicaciones dobles, estas implican una aplicación de relleno de ahuellamientos seguida de

una aplicación de ancho de carril completo (Peshkin et al., 2011) según se observa en la Figura 21.

Tabla 43. Pros y contras de los micropavimentos

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Reduce los problemas menores de hidroplaneo. | Sin mejora estructural. |
| Reduce la infiltración de agua. | Necesita equipo especial (más costoso). |
| Retrasa el desprendimiento de agregados/ envejecimiento de la superficie. | No aplicable para pavimentos susceptibles al daño por humedad. |
| Disminuye el deterioro adicional debido a las grietas. | Los materiales deben seleccionarse cuidadosamente para lograr un buen desempeño |
| No se requiere actividades de fresado. | No es eficaz como sellador de grietas. |
| Mejora la manejabilidad y la fricción de la superficie. | Se requiere contar con contratistas experimentados en la construcción. |
| Mejora la visibilidad de la señalización del pavimento. | |
| Superficie duradera para carreteras de alto volumen de tráfico. | |
| Buena adherencia al pavimento existente. | |
| Tiempo de ejecución rápido. | |
| Rápida apertura al tráfico. | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Cuelho et al.,2006; Lee y Shields,2010)

Según el Departamento de Transporte de Nevada (NDOT por sus siglas en inglés) (2018) el método de diseño de mezcla ISSA A-143 de la International Slurry Surfacing Association (ISSA) es un común estándar de diseño de mezcla de micropavimentos.

Objetivos y alcance

El objetivo de esta actividad es corregir o prevenir el desprendimiento de agregados y la oxidación de la superficie del pavimento, mejorar la fricción de la superficie de rodadura, sellar la superficie del pavimento, funcionar como relleno de irregularidades superficiales menores y ahuellamientos estables promedio en las huellas de rodadura de hasta 12.5 mm (0.50 pulgadas) de profundidad en los proyectos. Los proyectos con presencia de ahuellamientos aislados de hasta 30 mm (1.25 pulgadas.) de profundidad se pueden abordar con una mezcla de relleno de ahuellamientos previo a la colocación del tratamiento de

micropavimentos en todo el ancho de la superficie (IDOT,2010; IDOT,2020), según se muestra en la Figura 21.

Según el Departamento de Transportes de Michigan (MDOT,2010) la aplicación de una capa de micropavimento retardará la oxidación y mejorará la resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Se usa en múltiples capas para corregir ciertas deficiencias de la superficie del pavimento, incluyendo ahuellamientos, irregularidades superficiales menores, agregados pulido o de baja resistencia al deslizamiento y desprendimiento de agregados de leve a moderado.

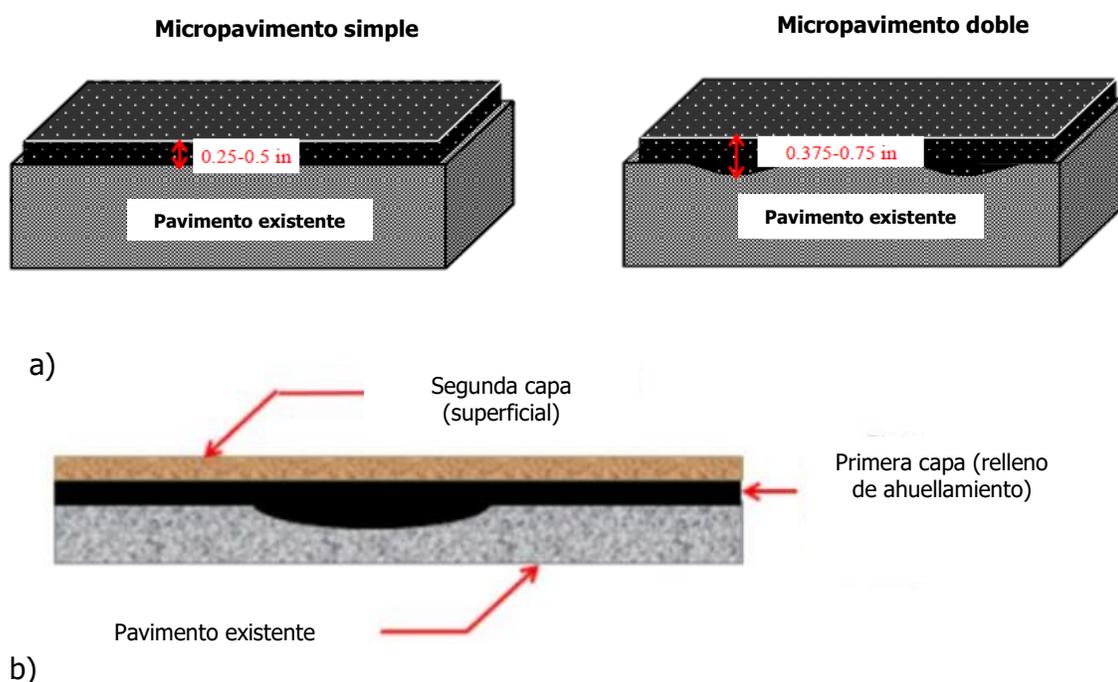


Figura 21. Configuración del uso de micropavimentos
a) Aplicaciones típicas b) Esquema de aplicación (relleno de ahuellamientos)
Nota: modificado a partir de los autores (Peshkin et al,2011; Caltrans,2008)

Los micropavimentos consisten en una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado mineral, relleno mineral, agua y aditivos debidamente proporcionados, mezclados y colocados sobre una superficie pavimentada previamente preparada a través de un proceso similar a los sellos de lechada (Peshkin et al.,2004). El micropavimento es aplicado por camiones micropavimentadores especializados, equipados con diferentes compartimentos y autopropulsados. Este equipo realiza la mezcla de los diversos componentes del sistema de acuerdo al diseño de mezcla. El tratamiento se coloca utilizando

una caja esparcidora (SDDOT,2010; MnDOT,2020; IDOT,2020) según se muestra a continuación, en la Figura 22.

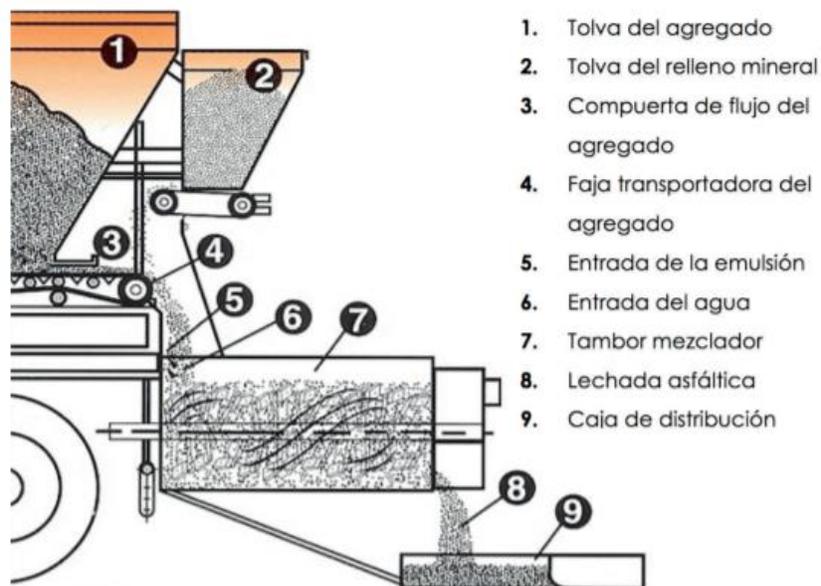


Figura 22. Esquema de fabricación de micropavimentos

Nota: tomado de LanammeUCR (2016)

Este trabajo generalmente consiste en el suministro, transporte, colocación, tendido y compactación cuando se requiera (rara vez es requerido) del tratamiento, la regulación del tránsito, así como el control de laboratorio durante todas las operaciones necesarias y limpieza final. Asimismo, incluye la ejecución de los controles de calidad durante todo el proceso de construcción, el suministro de materiales y equipo, la mano de obra y las operaciones necesarias para la adecuada ejecución de los trabajos, previamente aprobado por la Administración. El costo de la actividad dependerá del criterio y las condiciones establecidas por la Administración.

Considerando que el método de diseño de diseño la International Slurry Surfacing Association (ISSA) es considerado como referencia estándar por diferentes agencias de Transporte entre ellas Caltrans y Minnesota, los requerimientos a cumplir de los materiales y procedimiento constructivo para la ejecución de esta actividad se establecerán de acuerdo a lo indicado en la guía de recomendaciones para óptimo de desempeño de micro pavimentos ISSA A 143.

Materiales

Agregados: los agregados a utilizar deberán totalmente triturados, cumplir con los valores de pulido especificados por la Administración y cumplir las especificaciones establecidas a continuación:

Tabla 44. Requisitos de calidad de los agregados para micropavimentos

| Ensayo | Según AASHTO | Según ASTM | Especificación |
|---|--------------|------------|----------------|
| Equivalente de arena en suelos y agregado fino. | T 176 | D 2419 | Mín. 65.0% |
| Sanidad del agregado mediante Sulfato de Sodio | T 104 | C 88 | Máx. 15.0% |
| Sanidad del agregado mediante Sulfato de Magnesio | | | Máx. 25.0% |
| Abrasión Los Ángeles | T 96 | C 131 | Máx. 30.0% |

Nota: elaboración a partir del autor (ISSA,2010)

Deberá cumplir con la graduación establecida de acuerdo a los siguientes husos granulométricos para los agregados correspondientes de acuerdo a la AASHTO T 27 o ASTM C 136, según se indica a continuación:

Tabla 45. Requisitos de calidad de los agregados para micropavimentos

| Tamiz | | Tipo II | Tipo III | Tolerancias |
|-------|-------|-----------|-----------|-------------|
| Nº | mm | % pasante | % pasante | |
| 3/8 | 9.500 | 100 | 100 | ± 5.0% |
| #4 | 4.750 | 90-100 | 70-90 | ± 5.0% |
| #8 | 2.360 | 65-90 | 45-70 | ± 5.0% |
| #16 | 1.180 | 45-70 | 28-50 | ± 5.0% |
| #30 | 0.600 | 30-50 | 19-34 | ± 5.0% |
| #50 | 0.330 | 18-30 | 12-25 | ± 4.0% |
| #100 | 0.150 | 7-18 | 7-18 | ± 3.0% |
| #200 | 0.075 | 5-15 | 5-15 | ± 2.0% |

Nota: elaboración a partir de del autor (ISSA,2010)

Las graduaciones se describen a continuación (ISSA,2010):

- Tipo II: Esta gradación de agregados se utiliza para rellenar huecos en la superficie, abordar los problemas de la superficie, sellar y proporcionar una superficie de desgaste duradera.
- Tipo III: Esta gradación proporciona la máxima resistencia al deslizamiento y una superficie de desgaste mejorada. Este tipo de superficie de micropavimento es apropiado para pavimentos muy transitados, relleno de ahuellamientos o para colocar en superficies muy texturizadas que requieren un agregado de mayor tamaño para rellenar huecos.

Emulsión asfáltica: la emulsión asfáltica será modificada con polímeros. El material polimérico se triturará o mezclará con el asfalto o la solución emulsionante antes del proceso de emulsificación. En términos generales, se considera como mínimo un tres por ciento (3%) de sólidos de polímero, basado en el peso del asfalto.

El asfalto emulsionado y el residuo de asfalto emulsionado deberán cumplir con los requisitos de AASHTO M 208 o ASTM D 2397 para CQS-1h, con las siguientes excepciones:

Tabla 46. Requerimientos de calidad para la emulsión asfáltica (micropavimentos)

| Ensayos sobre la emulsión | Método ASTM | Und | Especificaciones | |
|--|-------------|-----|------------------|--------|
| | | | Mínimo | Máximo |
| Contenido de asfalto residual | D 244 | % | 62 | .- |
| Estabilidad al almacenamiento, 24 horas, % | D 244 | % | .- | 1 |
| Ensayos sobre el Residuo Asfáltico | | | | |
| Penetración, 25°C, 100 g, 5 s | D 5 | dmm | 40 | 90 |
| Punto de ablandamiento | D 36 | °C | 57 | .- |

Nota: elaboración a partir del autor (ISSA,2010)

Relleno mineral: Se puede usar un relleno mineral para mejorar la consistencia de la mezcla y ajustar las propiedades de curado y rotura de la mezcla. Se utilizará cemento portland, cal hidratada, polvo de piedra caliza, cenizas volantes u otro relleno aprobado que

cumpla con los requisitos de ASTM D242 si así lo requiere el diseño de la mezcla. Los niveles de uso típicos son normalmente de 0.0 - 3.0 por ciento y pueden considerarse parte de la gradación establecida.

Agua: El agua debe estar libre de sales y contaminantes nocivos. Si la calidad del agua está en duda, debe enviarse al laboratorio con las demás materias primas para el diseño de la mezcla.

Aditivos: Se pueden usar aditivos para acelerar o retrasar la rotura/fraguado del micro pavimento. Los aditivos apropiados y su rango de uso aplicable deben ser aprobados por el laboratorio como parte del diseño de la mezcla.

Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas necesarios para la adecuada ejecución de esta actividad son los siguientes: camiones micropavimentadores especializados o camión mezclador que deberá disponer de tanques separados para el agua, aditivos y la emulsión, provistos de bombas de alimentación. Deberá ser capaz de suministrar las proporciones adecuadas de los diversos materiales a la unidad mezcladora y de descargar en flujo igualmente continuo (el equipo micropavimentador debe calibrarse utilizando materiales específicos del sitio y proporciones de mezcla antes de cada trabajo de construcción), una caja esparcidora con un diseño de hoja de enrasado doble incorporada capaz de cubrir el ancho de una pista, unidades de apoyo móviles (camiones alimentadores) para reponer los materiales en la máquina mezcladora, caja de llenado de ahuellamientos de 1.5 o 1.8 m de ancho para profundidades mayores a 12.5 mm (0.5 pulgadas) barredoras de escoba, giratorias o de succión, compactadores, si es necesario: neumáticos o estáticos, dispositivos de control del tráfico, seguridad y herramientas menores (NCHRP,2010; ISSA,2010).

Procedimiento de ejecución

Acciones preliminares: Se deberán colocar las señales preventivas y dispositivos de seguridad que sean requeridos para la ejecución de los trabajos y mantener un control adecuado del tráfico.

Proceso constructivo: Como parte fundamental de la valoración del caso a intervenir, se deberá determinar, además, si hay carencia o deficiencia del sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas para evitar afectaciones en la estructura del pavimento (MOPT,2015).

Para el proceso constructivo se deberá aplicar el siguiente procedimiento:

- Antes de aplicar el tratamiento, la superficie deberá ser limpiada en todo el ancho que va a ser tratado, el polvo y cualquier otro material que esté flojo en lugares donde la barredora mecánica no pueda penetrar, será barrido a mano o sacado por medio de aire o agua a presión. Si se utiliza agua para la limpieza, las grietas se tienen que dejar secar antes de la aplicación del sello. Las tapas de alcantarilla, los cobertores de las válvulas y otras entradas de servicio se tienen que proteger con un método adecuado (ISSA,2010)
- No se deben realizar estos trabajos en condiciones lluviosas o si existe un riesgo inminente de lluvia. La temperatura mínima del aire o del pavimento especificada para la colocación de micropavimentos es normalmente de 10 °C (50 °F) o más, sin embargo, se puede aplicar cuando las temperaturas del pavimento y del aire están por encima de 45 ° F (7 ° C) y están aumentando (Maher et al.,2005; ISSA,2010).
- La superficie severamente deteriorada debe repararse antes de la aplicación del tratamiento a través de bacheo o sellado de grietas de lo contrario, el deterioro puede reflejarse en el micropavimento (IDOT,2010). Los baches deben rellenarse y compactarse varias semanas antes del tratamiento. El relleno de grietas se recomienda realizarse varios meses antes del tratamiento (Caltrans,2008).
- Se debe eliminar la pintura de demarcación de carril y el termoplástico (sellador de caucho asfáltico) en el pavimento existente.

- Posterior a las actividades preliminares se procederá a realizar el procedimiento constructivo:
 - a. El Contratista presentará la dosificación correspondiente al micropavimento, con el agregado, agua, emulsión asfáltica y aditivos a utilizar en el proyecto, debidamente aprobada por la Administración.
 - b. Normalmente, no se requiere una capa adhesiva a menos que la superficie a cubrir esté extremadamente seca y con desprendimiento de agregados. Si es necesario, el asfalto emulsionado debe ser del tipo SS, CSS o la emulsión de micropavimento. Se deberá consultar con el proveedor de la emulsión de micropavimentos para determinar la estabilidad de la dilución. La capa de adherencia puede consistir en una parte de emulsión asfáltica / tres partes de agua y debe aplicarse con un distribuidor estándar. El distribuidor debe ser capaz de aplicar la dilución de manera uniforme a una tasa de 0.23-0.68 l/m². Se debe permitir que la capa de adherencia se cure lo suficiente antes de la aplicación del micropavimento. Si se requiere una capa adhesiva, debe anotarse en los planos del proyecto (ISSA,2010).
 - c. Se deberán mezclar los materiales utilizando el equipo mezclador.
 - d. Se tiene que humedecer la superficie con agua en el instante inmediato previo a la distribución del micropavimento, la tasa de aplicación del sello se tiene que ajustar durante el día de acuerdo con la temperatura, la textura superficial, humedad y sequedad del pavimento, y deberá estar debidamente aprobada por la Administración. No se deberán dejar excesos de agua en la superficie en forma de charcos.
 - e. Consistencia de la mezcla: el micropavimento debe tener la consistencia adecuada al salir del mezclador. Se debe transportar una cantidad suficiente de material en todas las partes del esparcidor en todo momento para que se obtenga una cobertura completa. Debe evitarse la sobrecarga de la caja esparcidora. No se permitirán grumos o áridos sin mezclar. No se permitirá ningún agregado seco derramado de la máquina de asentamiento o existente en la carretera (ISSA,2010).
 - f. Tramo de prueba: con base en el tramo de prueba, se calibra el equipo de micropavimento y se determina la aplicación objetivo (ISSA,2010).
 - g. Aplicación: según el ISSA (2010) las tasas de aplicación deben estar de acuerdo el tipo de graduación de la mezcla, para el tipo II aplicable a calles urbanas y residenciales y pistas de aterrizaje de aeropuertos y tipo III aplicable a rutas primarias e interestatales

las tasas corresponden de 5.4 a 10.8 kg/m² y de 8.1 a 16.3 kg/m² respectivamente; dichas tasas de aplicación se basan en el peso del agregado seco en la mezcla. Las tasas de aplicación se ven afectadas por el peso unitario, la gradación del agregado y la demanda de la superficie a la que se aplica el micropavimento. Para llenar los ahuellamientos, se requerirán dos pasadas del distribuidor, una que cubra las huellas de rodadura y la otra que cubra todo el ancho del carril. Para otros propósitos, se podrán realizar dos pasadas equivalentes sobre el ancho total del carril. Las juntas de construcción longitudinales y los bordes de los carriles deben coincidir con las líneas de carril pintadas propuestas (IDOT,2010).

- h. Compactación: generalmente, no es necesario compactar los micropavimentos en carreteras. Los aeropuertos y las áreas de estacionamiento deben moverse con un rodillo de llantas neumático autopropulsado de 10 toneladas (máximo) equipado con un sistema de rociado de agua. Todos los neumáticos deben inflarse según las especificaciones del fabricante. La compactación no debe comenzar hasta que la micropavimento se haya curado lo suficiente para evitar daños por el compactador. Las áreas que requieren compactación recibirán un mínimo de dos (2) pasadas de cobertura completa (ISSA,2010).
- i. Limpieza: todas las áreas de acceso a servicios públicos, cunetas e intersecciones, deberán estar libres de la mezcla de micropavimento según lo especificado la Administración. El contratista deberá eliminar todos los escombros asociados con la realización del trabajo a diario (ISSA,2010).
- j. La superficie tratada normalmente puede ser abierto al tráfico después de aproximadamente una hora. La señalización horizontal puede ser aplicada después de transcurrido un mínimo de siete días de la colocación (Peshkin et al.,2011).

Acciones finales.

- Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
- Tomar algunas fotografías referenciadas, con indicación de ruta, sección de control y estacionamiento, que permitan evidenciar el trabajo realizado.

Aceptación de los trabajos

Según ISSA (2010) para la aceptación de los materiales y los procesos constructivos se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Inspección: los inspectores asignados a los proyectos deben estar familiarizados con los materiales, el equipo y la aplicación de micropavimentos. Se deben considerar las condiciones locales y los requisitos específicos del proyecto al determinar los parámetros de la inspección de campo.

La consistencia adecuada de la mezcla debe ser una de las principales áreas de preocupación del inspector. Si las mezclas están demasiado secas, habrá rayas, grumos y e irregularidades en la superficie. Las mezclas aplicadas demasiado húmedas fluirán excesivamente y no mantendrán líneas rectas. Los líquidos en exceso también pueden causar una superficie rica en asfalto con segregación.

Materiales: para tener en cuenta el volumen de agregados, es responsabilidad del contratista verificar el contenido de humedad del stock y, por tanto, configurar el equipo mezclador. Las pruebas de materiales se pueden realizar en muestras representativas del agregado y la emulsión. Se deberá notificar inmediatamente si alguna prueba no cumple con las especificaciones.

Micropavimento: si es necesario, se pueden tomar muestras representativas de la mezcla directamente de la máquina mezcladora para ejecutar las pruebas de contenido de asfalto residual (ASTM D2172). Se debe notificar al contratista inmediatamente si alguna prueba no cumple con las especificaciones. Los datos obtenidos de los dispositivos dosificadores de la máquina de micropavimento se pueden utilizar para determinar las cantidades individuales de material y la tasa de aplicación.

Incumplimiento: si dos pruebas sucesivas fallan en el stock de agregados, el trabajo se detendrá. Si fallan dos pruebas sucesivas de la mezcla de la misma máquina, se suspenderá

el uso de la máquina. Será responsabilidad del contratista a cargo acreditar que los problemas se han corregido.

En términos generales, la Administración aceptará los trabajos cuando compruebe que se ha realizado a satisfacción el cumplimiento de todas las especificaciones anteriores, la atención adecuada de las recomendaciones ambientales correspondientes, el adecuado desarrollo de los procesos constructivos y el cumplimiento de la calidad de los materiales suministrados, así como el suministro de equipo y herramientas con buen estado y desempeño, utilizados para el desarrollo de todas las actividades asociadas con los micropavimentos.

Medición

Según ISSA (2010) los métodos de medición para la actividad de micropavimentos puede ser de la siguiente forma:

- Área: En proyectos más pequeños, el método de medición y pago generalmente se basa en el área cubierta, medida en pies cuadrados, yardas cuadradas o metros cuadrados.
- Toneladas y galones: En proyectos grandes de más de 40,000 m², la medición y el pago generalmente se basan en las toneladas de agregado y los galones (litros) de emulsión asfáltica utilizada. Para la medición se utilizarán boletas de entrega agregados o boletas impresos de básculas certificadas en el área de preparación. La emulsión utilizada en el proyecto se medirá mediante los tickets certificados para cada carga entregada. La emulsión asfáltica no utilizada se deducirá del total del trabajo.

Pago

La actividad de micropavimento, se pagará según el precio unitario del contrato por trabajo aprobado satisfactoriamente de acuerdo con la especificación y la aceptación por parte de la Administración.

Reglones de pago

Las cantidades se pagarán al precio unitario y las unidades establecidas en el contrato, o bien de acuerdo con el siguiente listado de renglones de pago. El pago será la compensación completa por la preparación, mezcla, aplicación de materiales, mano de obra, equipo, herramientas, pruebas, limpieza, la señalización preventiva de protección de obra y cualquier otra actividad necesaria para la adecuada y correcta realización de las actividades contempladas en esta sección e imprevistos necesarios para completar el trabajo satisfactoriamente de acuerdo con la especificación del proyecto y aceptado por parte de la Administración.

Información técnica adicional del tratamiento

Aplicación

Usos típicos: es efectivo para abordar condiciones funcionales tales como grietas longitudinales, transversales y en bloque muy pequeñas (L), desprendimiento/ desgaste de agregados, rugosidad (L-M), pérdida de fricción e infiltración de humedad, relleno de ahuellamientos estables producto de la consolidación del pavimento únicamente (L) (Peshkin et al.,2004; Caltrans,2008). Cuando se utilizan aplicaciones múltiples pueden abordar de manera marginal los deterioros mencionados hasta un nivel más alto de severidad.

Restricciones

Estructural: no agrega capacidad estructural. Sella temporalmente las grietas por fatiga (severidad baja) y puede servir como relleno de ahuellamientos (si los ahuellamientos existentes son estables).

Condiciones no abordadas: fallas estructurales tales como grietas extensas por fatiga y ahuellamientos (M-H), deterioro extenso del pavimento, poca vida restante, grietas

longitudinales, transversales y en bloque (H). Puede acelerar el desarrollo de stripping (daño por humedad) en pavimentos susceptibles de mezclas asfálticas.

Nota: L, M y H definen el nivel de deterioro (L para bajo, M para medio y H para alto).

Serviciabilidad

Historial de confiabilidad y rendimiento: los micropavimentos son pioneros de Alemania en las décadas de 1960 y 1970 y se introdujo en los Estados Unidos en 1980. La mayoría de las Agencias de Transporte de los Estados Unidos tienen experiencia con el uso de micropavimentos. Se encuentran disponibles informes de investigación, guías de diseño, construcción y datos de desempeño (Maher et al., 2005).

Tabla 47. Vida esperada de los micropavimentos

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| FHWA (2000) | Hicks et al., 2000 | 3 - 9 |
| NCHRP (2004) | Peshkin et al,2004 | 4 - 7 |
| FHWA (2005) | Maher et al, 2005 | 5 - 8 |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 4 - 7 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 4 - 7 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 3 – 6 (4 – 7) |
| Minnesota (2020) | MnDOT,2020 | 5 - 7 |

*Nota: El valor entre paréntesis representan la vida esperada para los micropavimentos de múltiples capas.

Extensión en la vida del pavimento

Según Peshkin et al (2011): micropavimentos simple: 3 – 5 años; micropavimentos de múltiples capas: 4 a 6 años

Costos típicos

Los costos de referencia promedio en países de la zona como Honduras para el año 2020 corresponden a \$ 3.22/m² para una aplicación simple y \$ 4.70/m² para una aplicación doble.

3.2.2. Técnicas de preservación pavimentos rígidos

Sello de juntas y grietas

Descripción

El sello de juntas transversales y el sello de grietas en los pavimentos de concreto o Portland cement concrete (PCC) tienen como objetivo minimizar la infiltración de agua superficial en la estructura del pavimento subyacente y evitar la intrusión de materiales incompresibles en la junta. Se utiliza una gama de materiales que incluyen materiales bituminosos, siliconas y neoprenos en configuraciones diseñadas (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

El sello de juntas consiste en quitar el sellador de juntas transversal y/o longitudinal deteriorado existente (si está presente), volver a revestir y limpiar a presión las paredes laterales de la junta e instalar el nuevo material sellador (los selladores líquidos generalmente requieren la instalación de un cordón de respaldo para evitar que el sellador se filtre en la articulación) (Peshkin et al.,2011). La configuración típica del sello de juntas se muestra en la Figura 23.

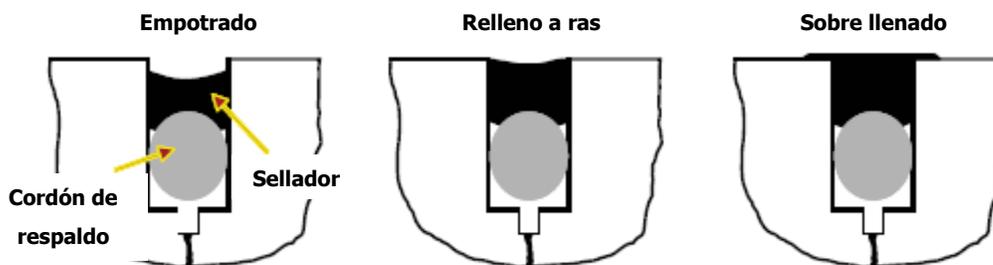


Figura 23. Configuraciones de sello de juntas entre losas
Nota: modificado a partir de los autores (Smith et al,2014)

El sello de grietas consiste en aserrar, limpiar a presión y sellar grietas (generalmente grietas transversales, longitudinales y grietas de esquinas, entre otros con anchos mayores a 3 mm en pavimentos de concreto utilizando materiales selladores de alta calidad. Su principal objetivo es reducir la velocidad de deterioro evitando la intrusión de materiales incompresibles y reduciendo la infiltración de agua en la grieta (Peshkin et al.,2011). En la Figura 24 se representan los pasos del proceso de sello de grietas.

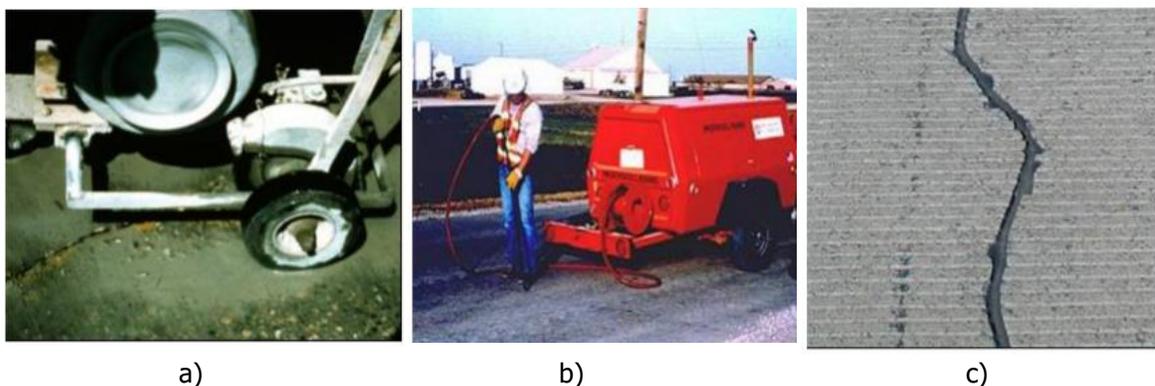


Figura 24. Pasos del proceso de sello de grietas.
 a) ruteo de grietas b) limpieza de grieta c) aplicación del sellante
 Nota: tomado de SDDOT (2010)

Tabla 48. Pros y contras del sello de juntas y grietas

| Ventajas | Desventajas |
|---|--------------------------------|
| Reduce la infiltración de agua que causa problemas relacionados con la humedad. | Mala apariencia y visibilidad. |
| Protege las juntas de la intrusión de materiales incompresibles. | No añade mejora estructural. |
| Es una técnica experimentada y confiable. | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Lee y Shields,2010)

Aplicación

Clima: el sellado de las juntas y grietas del pavimento de PCC funciona bien en todas las condiciones climáticas. El desempeño del sellador se ve afectado por las condiciones ambientales y el desempeño de las estructuras de pavimento sellada y no sellada probablemente varía dentro de las regiones ambientales (Peshkin et al., 2011).

Tráfico: el desempeño no se ve afectado por diferentes TPD o por porcentajes de camiones pesados. Los selladores de silicona en las juntas que no estén empotrados correctamente tienen más probabilidades de fallar por el efecto de las cargas. (Peshkin et al., 2004).

Usos típicos: condiciones funcionales tales como grietas longitudinales y transversales (L), juntas sin sellar o parcialmente selladas (Peshkin et al., 2004).

Restricciones

Estructural: sin beneficio estructural directo, pero puede reducir la tasa de deterioro estructural. El sellado también puede ser beneficioso en un pavimento estructuralmente defectuoso para prolongar el tiempo hasta la rehabilitación. El sellado de grietas no es un método efectivo para reparar losas agrietadas, pero puede ser útil para evitar o retrasar un mayor deterioro (Peshkin et al., 2004).

Condiciones no abordadas: no debe usarse en pavimentos con deterioro estructural o donde las grietas exhiban niveles de severidad altos, como descascaramiento, desnivel entre losas, grietas transversales y grietas longitudinales (Lee y Shields,2010; IDOT,2020).

Restricciones del sitio: el depósito del sellador debe estar limpio y seco. Los depósitos de ancho variable pueden causar un problema durante la ejecución. Se puede esperar que diferentes materiales funcionen para diferentes duraciones. La selección del material debe basarse en el tiempo esperado hasta la próxima intervención (Peshkin et al., 2004).

Nota: L, M y H definen el nivel de deterioro (L para bajo, M para medio y H para alto).

Consideraciones de construcción

El desempeño del sellado depende de muchos factores de construcción, incluido el tipo de material, la geometría de colocación y la aplicación en un ambiente limpio y seco (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

Serviciabilidad

Tabla 49. Vida esperada del sello de grietas y juntas

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| NCHRP (2004) | Peshkin et al,2004 | 7 - 8 |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 4 – 20 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 4 - 8 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 2 – 8 (4 – 7) |

*Nota: El valor entre paréntesis representan la vida esperada para el sello de grietas

Extensión en la vida del pavimento:

Según Peshkin et al (2011): sello de juntas: 5 – 6 años; sello de grietas: N/A

Costos típicos

\$ 3.28/ml a \$ 4.00/ml para la actividad de sello de juntas y aproximadamente \$ 2.50 a \$ 6.60/ml para el sello de grietas (Peshkin et al., 2011).

Información adicional

Debido a que el relleno de juntas de concreto no es una actividad de mantenimiento estacional, se deben programar inspecciones periódicas para determinar cuándo es necesario programar una nueva aplicación del tratamiento (Peshkin et al., 2011).

Reemplazo de dovelas (restauración de transferencia de carga)*Descripción*

La restauración de transferencia de carga (LTR por sus siglas en inglés) es la colocación de dispositivos de transferencia de carga (típicamente dovelas) a través de juntas o grietas en un pavimento PCC simple existente según se muestra en la Figura 25. Estos dispositivos aumentan la capacidad de transferencia de carga de la junta o grieta, reduciendo así las deflexiones y disminuyendo la posibilidad de que se produzcan otros deterioros tales como bombeo, fallas en las juntas y grietas de esquinas (Peshkin et al., 2004; Peshkin et al., 2011).

La transferencia de carga deficiente en las juntas o grietas existentes puede resultar de una situación de unión sin dovelas (en la que la excesiva abertura de juntas o grietas pueden conducir a una reducción de la trabazón de los agregados), corrosión de las dovelas existentes y un drenaje deficiente del pavimento, lo cual da como resultado la pérdida del soporte de las capas inferiores (Peshkin et al., 2011).

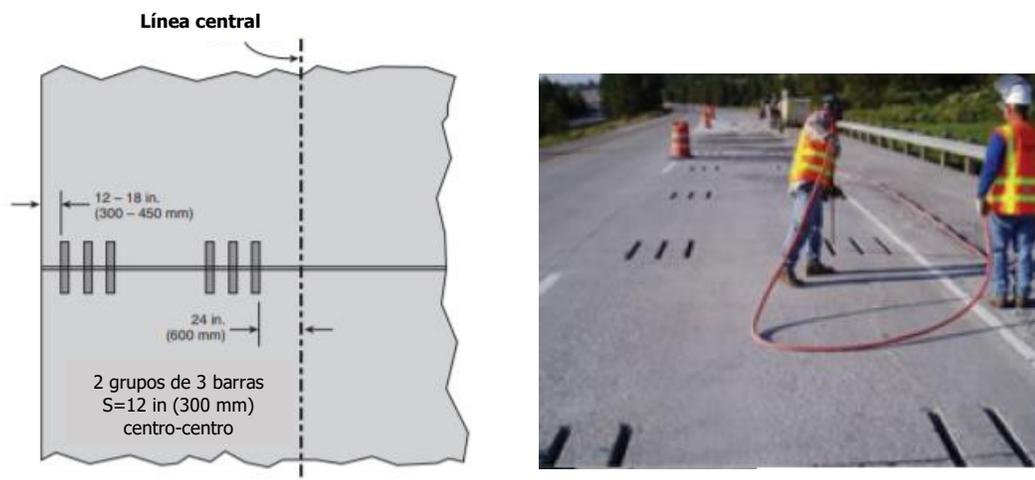


Figura 25. Configuración típica de reemplazo de dovelas en juntas longitudinales
Nota: modificado a partir del autor (ACPA,2006)

Tabla 50. Pros y contras del reemplazo de dovelas

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| Reduce los esfuerzos y deflexiones relacionadas con la carga en las juntas y grietas, lo que ayuda a controlar el desarrollo de escalonamientos. | La aplicación inadecuada o la construcción deficiente pueden resultar en una falla temprana del pavimento de un alto costo. |
| Utiliza relativamente poco material y, por lo tanto, no tiene un gran impacto ambiental relacionado con el material. | Es una operación que requiere mucha mano de obra y que puede provocar interrupciones y retrasos en el tráfico. |
| Genera una cantidad relativamente pequeña de desechos de construcción. | Puede comprometer la estética del pavimento si el material de reparación no coincide con el material del pavimento existente. |
| Mejora el confort de la superficie de rodadura en juntas y grietas. | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Lee y Shields,2010; FHWA.,2015)

Aplicación

Clima: la actividad de reemplazo de dovelas se ha utilizado en todas las regiones climáticas (Peshkin et al., 2004).

Tráfico: no se ve afectado por los diferentes niveles de TPD, sin embargo, la necesidad de ejecutar esta actividad incrementa con un aumento del TPD y el porcentaje de camiones. Es posible que los pavimentos de concreto simple de bajo volumen que no cuenten con dovelas no necesiten de estos elementos de transferencia de carga (Peshkin et al., 2004).

Usos típicos: debe utilizarse cuando el pavimento está en buenas condiciones y los únicos deterioros presentes sean asentamientos diferenciales entre losas y deterioro de las juntas transversales con niveles de severidad baja (IDOT,2020).

Restricciones

Estructural: Más eficaz en pavimentos de concreto simple que tienen poca transferencia de carga en las juntas y/o grietas transversales, pero que todavía tienen una vida estructural restante significativa. El momento óptimo para aplicar esta técnica es cuando el pavimento apenas comienza a mostrar signos de deterioros estructurales, como el bombeo y la aparición de fallas (Peshkin et al., 2004).

Restricciones del sitio: se puede realizar la actividad con el cierre de un solo carril.

Condiciones no abordadas: losas con fallas significativas u otras señales de falla estructural severa (como bombeo, agrietamiento transversal múltiple o agrietamiento longitudinal significativo) es decir, pavimentos con poca vida restante o deterioros relacionados con los materiales tales como la reacción álcali-sílice, álcali – carbonato y grietas de durabilidad (Peshkin et al., 2004; Caltrans,2008).

Consideraciones de construcción

Las Agencias de Transporte han experimentado con diferentes patrones de trabajo. Típicamente se trabajan de dos a cuatro dovelas por carril. Se debe tener cuidado con la selección del material a utilizar y el aislamiento de la articulación. Esta actividad típicamente se realiza en conjunto con el cepillado superficial (Peshkin et al., 2004).

De acuerdo con Caltrans (2008) los criterios de selección de un proyecto a ser sometido a esta intervención consisten en tener escalonamientos mínimos entre losas esta entre 2.5 mm (0.10 pulgadas) y 12.5 mm (0.5 pulgadas) con menos del 10% de agrietamiento en las losas del pavimento y menos del 60% de eficiencia de transferencia de carga entre juntas, el pavimento es candidato para reemplazo de dovelas.

*Serviciabilidad***Tabla 51.** Vida esperada del reemplazo de dovelas

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años) |
|----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| NCHRP (2004) | Peshkin et al,2004 | 9 –10/20 |
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 15 – 20 |
| California DOT (2008) | Caltrans, 2008 | 10 – 15 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 10 – 15 |

Extensión en la vida del pavimento: N/A

Costos típicos

Para trabajos de producción, los costos típicos son de \$ 25 a \$ 35 por dovela (Peshkin et al,2011).

Información adicional

Las aplicaciones repetitivas impartirán algún beneficio estructural al pavimento en forma de capacidad de carga adicional (Peshkin et al,2011).

Reparación de losas en espesor parcial*Descripción*

Las reparaciones de espesor parcial (PDR por sus siglas en inglés) se definen como la remoción de áreas pequeñas y poco profundas de pavimentos de concreto deteriorados. Estas áreas deterioradas se eliminan y reemplazan con un material de reparación aprobado. Estas reparaciones restauran la integridad general del pavimento y mejoran su calidad de ruedo, extendiendo así la capacidad funcional de los pavimentos. Se deben utilizar reparaciones de profundidad parcial para corregir el descaramiento o fractura de las juntas y otros daños superficiales que se limitan al tercio superior de la losa (Peshkin et al., 2011; Smith et al.,2014). En la Figura 26 se muestra el esquema de una aplicación de esta técnica.

Las reparaciones de espesor parcial son una alternativa a las reparaciones de espesor completo (FDR por sus siglas en inglés) en áreas donde el deterioro de la losa se localiza principalmente en el tercio superior a la mitad superior de la losa y los dispositivos de transferencia de carga existentes (si los hay) aún funcionan. Cuando se aplican en lugares apropiados y utilizando materiales y procedimientos efectivos, los PDR pueden ser más rentables que los FDR. Los costos de un PDR dependen en gran medida del tamaño, número y ubicación de las áreas de reparación, así como de los materiales utilizados. Los tiempos de cierre de carriles y los volúmenes de tráfico también afectan las tasas y los costos de producción (Smith et al.,2014).

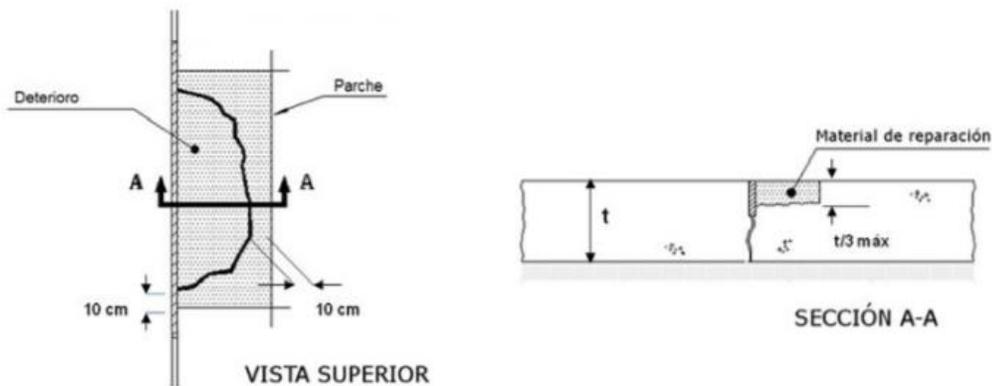


Figura 26. Ejemplo de reparación parcial en intersección de juntas
Nota: tomado de MCV (2015)

Según Smith et al (2014) las reparaciones de espesor parcial se pueden dividir en 3 tipos según se muestra en la Figura 27 y se describe a continuación:

- Tipo 1: corresponde a reparaciones que generalmente se realizan para abordar áreas localizadas de deterioro y no se recomiendan para reparaciones prolongadas y continuas, es decir, para la reparación de zonas pequeñas de baches, grietas y descascaramiento o fracturas de juntas de corta longitud. Generalmente se refiere a reparaciones menores a 1.8 m de longitud y 50 mm de espesor o profundidad.
- Tipo 2: corresponde a reparaciones que se realizan en juntas longitudinales o transversales (Tipo 2A) o grietas longitudinales o transversales (Tipo 2B) de más de 1.8 m. de longitud y pueden llegar a la mitad del espesor de la losa.

- Tipo 3: son conocidas como reparaciones de la mitad inferior de la losa, son esencialmente reparaciones de esquina de profundidad completa y se utilizan para reparar bordes y esquinas de losas que se deterioran a una profundidad que se extiende más allá de la mitad del espesor de la losa en una distancia corta (alrededor de 500 mm).

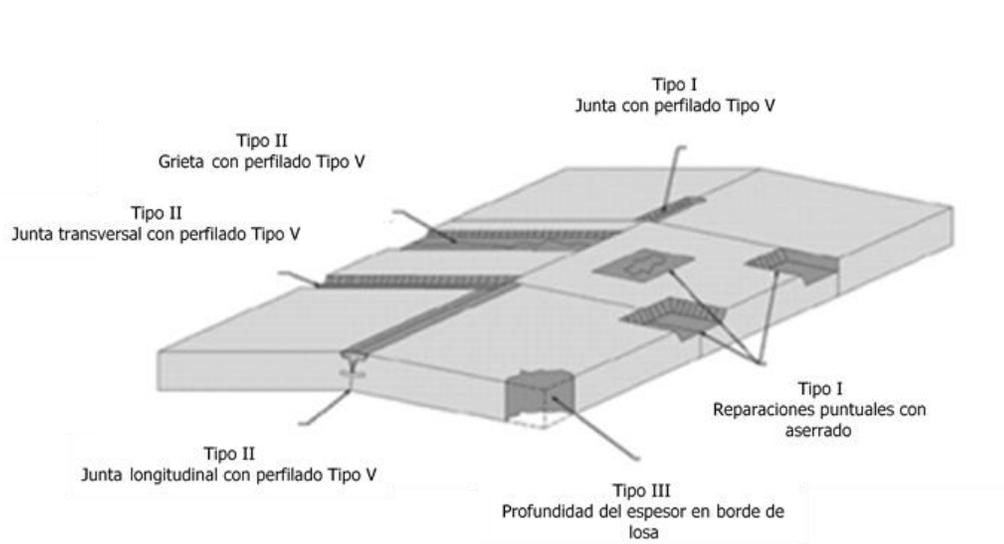


Figura 27. Tipos de reparación parcial
Nota: modificado a partir del autor (Smith et al,2014).

Tabla 52. Pros y contras de la reparación de losas en espesor parcial

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Restaura la integridad estructural del pavimento rígido. | Pueden comprometer la estética del pavimento si el material de reparación no coincide con el material del pavimento existente. |
| Mejora la calidad de ruedo. | Costo inicial de reparaciones alto. |
| Retarda un mayor deterioro. | El proceso constructivo debe ser riguroso. |
| Aplicable a cualquier tipo de tránsito. | Cierre de carriles y tránsito al menos 24 horas. |
| Es una medida costo-efectiva a largo plazo | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Lee y Shields,2010)

Aplicación

Clima: las reparaciones no deben realizarse cuando la temperatura del aire o la temperatura del pavimento sea inferior a 40 °F (4.5 °C) a menos que estén adecuadamente aislados. Además, las temperaturas por debajo de los 55 °F (13°C) generalmente requerirán un

período de curado más largo. La colocación no debe realizarse bajo condiciones lluviosas (Peshkin et al., 2011).

Tráfico: los PDR son eficaces en todos los volúmenes y cargas de tráfico. En caso de usar concreto hidráulico para las reparaciones, se recomienda abrir al tráfico cuando la resistencia a la flexión alcance un mínimo de 300 psi. (Peshkin et al., 2011).

Usos típicos: los buenos candidatos para los PDR incluyen deterioros localizados relacionados con las juntas (fractura de juntas), baches y grietas longitudinales, transversales y de esquina, los cuales no tienen como causa problemas relacionados con materiales y se deben a materiales incompresibles o inserciones en las juntas, problemas de curado y acabado, uso de concreto débil, etc. (Lee y Shields, 2010; Peshkin et al., 2011).

Restricciones:

Estructural: las reparaciones de profundidad parcial restauran la integridad estructural de áreas localizadas de concreto deteriorado (Peshkin et al., 2011).

Condiciones no abordadas: este tipo de reparaciones no aplica cuando la fractura de juntas tenga como causa la desalineación o bloqueo de las dovelas; agrietamiento causado por una construcción inadecuada de la junta; grietas activas causadas por contracción, fatiga o movimiento de la base; y fracturas relacionadas con los materiales (por ejemplo, el agrietamiento de durabilidad o reactividad alcalisílice) (Lee y Shields, 2010; Peshkin et al., 2011). Si las dovelas están expuestas en el área del parche es necesario una reparación de espesor completo. Cuando la cantidad de parches sea extensa, se debe considerar otro tipo de alternativas de rehabilitación tales como las sobrecapas asfálticas (Peshkin et al., 2011).

Consideraciones de construcción

Según Peshkin et al (2011) se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones constructivas:

- Es importante determinar correctamente los límites de reparación, preparar el área del bache, terminar, texturizar y curar el material de reparación de acuerdo con las especificaciones vigentes.
- La selección del material depende de varios factores, como los requisitos de apertura al tráfico, la temperatura ambiente, el costo y el tamaño y la profundidad del parche.
- La preparación adecuada del área a reparar es fundamental para asegurar el éxito del tratamiento. Los límites del bache deben extenderse de 2 a 6 pulgadas más allá del área de concreto en mal estado.
- Las dimensiones mínimas de reparación de fractura de juntas son 4 x12 pulgadas (Es decir, 12 pulgadas a lo largo de la junta transversal y 4 pulgadas de distancia desde la junta transversal).
- Si la profundidad de la reparación excede un tercio del espesor de la losa, entonces se debe considerar la colocación de una reparación de espesor completo.
- El desempeño de los PDR dependerá de la condición general del pavimento existente, el tipo de materiales utilizados, la construcción y las técnicas de colocación. En general, cuando se utilizan prácticas de construcción sólidas y un material duradero, los PDR pueden durar hasta 15 años o más, pero cuando se encuentran materiales o mano de obra deficientes, los PDR pueden fallar en tan solo 2 a 3 años según la Asociación Americana de pavimentos de concreto (ACPA por sus siglas en inglés) (ACPA,2006).

Serviciabilidad

Tabla 53. Vida esperada de la reparación de losas en espesor parcial

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años) |
|----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 5 – 15 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 5 - 15 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 5 – 15 |
| FHWA (2014) | Smith et al.,2014 | 3 - 15 |

Extensión en la vida del pavimento: según Peshkin et al (2011): N/A

Modos de falla/principales deterioros: los modos de falla generalmente son causados por falla de adherencia, falla de compresión, variabilidad y uso inadecuado del material de

reparación, consolidación insuficiente y diferencias en el coeficiente de expansión térmica entre el pavimento existente y la reparación (Smith et al.,2014).

Costos típicos

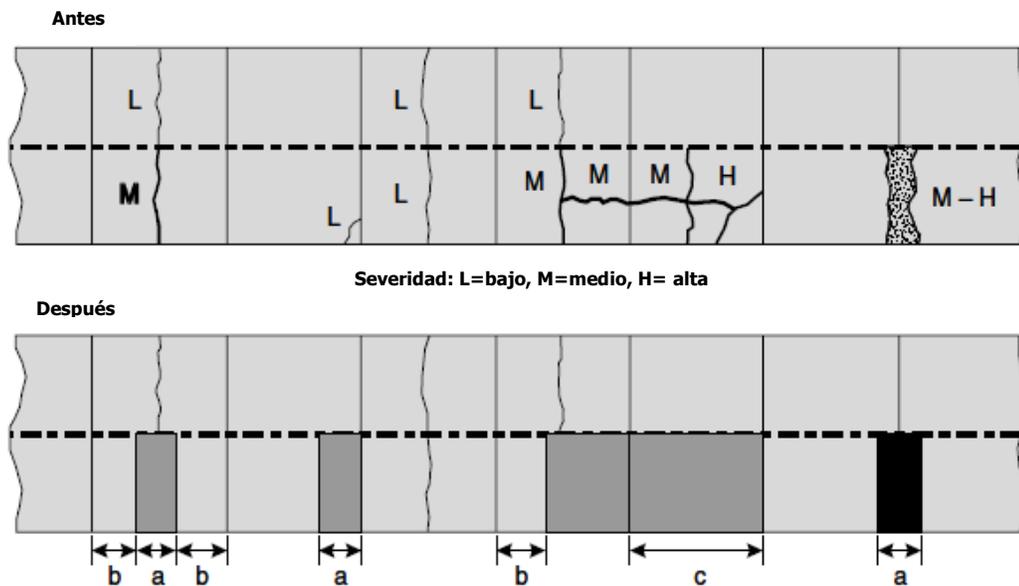
El costo de los PDR generalmente depende del tipo de materiales utilizados, la ubicación de las áreas de reparación, el tamaño y la cantidad de reparaciones. También se espera que las restricciones de cierre de carriles y los volúmenes de tráfico afecten las tasas de rendimiento en obra y, por tanto, los costos. Los costos típicos (2013) para los PDR oscilan entre \$ 269 y \$ 377 por m² (\$ 25 a \$ 30 por pie²) o \$ 49 a \$ 82 por m lineal (\$ 15 a \$ 25 por pie lineal), aunque cabe destacar que esto variará dependiendo del tamaño de proyecto y diversas condiciones, Sin embargo, estos valores de costo son solo para fines informativos (Smith et al.,2014).

Reparación de losas en espesor total

Descripción

Las reparaciones de espesor total (FDR por sus siglas en inglés) consisten en concreto colado in situ o losas prefabricadas para reparar deterioros que se extiende a todo el espesor de un pavimento de concreto existente según se observa en la Figura 28. Se pueden aplicar a estructuras de pavimentos compuestos (pavimentos de hormigón con una capa de asfalto) (Smith et al.,2014). Las reparaciones de espesor total son efectivas para corregir las fallas de la losa que se extienden más allá de un tercio de la profundidad del pavimento, así como grietas longitudinales y transversales, grietas de esquinas y descascaramiento profundo de las juntas (Peshkin et al., 2011).

Las reparaciones de espesor total cuando se usan apropiadamente, son un medio eficaz para restaurar la viabilidad y la integridad estructural de los pavimentos de concreto deteriorados y, por lo tanto, extender su capacidad funcional. El desempeño a largo plazo de los FDR depende de muchos elementos, incluida la selección del proyecto, el diseño eficaz de transferencia de carga y los procedimientos de construcción (Smith et al.,2014).

**Notas:**

a=Mínima longitud es 4 ft (1.2 m.) b= Revisar distancia entre parches y juntas cercanas c=Reemplazar la losa completa si hay múltiples deterioros

Figura 28. Configuración de reparación de espesor total según los deterioros
Nota: modificado a partir del autor (ACPA,2006)

Tabla 54. Pros y contras de losas en espesor total

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Corrige una amplia cantidad de deterioros comunes. | Mayor tiempo de cierre de carril que otros tratamientos. |
| Restaura la integridad estructural. | No es rentable si el deterioro es generalizado. |
| Mejora el confort de la superficie de rodadura. | |
| Difiere un mayor deterioro. | |

Nota: elaboración a partir de los autores (Lee y Shields,2010)

Aplicación

Clima: las reparaciones no deben realizarse cuando la temperatura del aire o la temperatura del pavimento sea inferior a 40 °F (4 °C) a menos que estén adecuadamente aislados. Además, las temperaturas por debajo de los 55 °F(12°C) generalmente requerirán un período de curado más largo. La colocación no debe realizarse bajo condiciones lluviosas (Peshkin et al., 2011).

Tráfico: los FDR son eficaces en todos los volúmenes y cargas de tráfico. Una revisión de las prácticas de las carreteras estatales de Estados Unidos sugiere que generalmente se especifican un rango de valores para la apertura al tráfico de los FDR, desde valores de resistencia a la compresión de 13.8 a 20.7 MPa (2000 a 3000 psi) y de valores de resistencia a la flexión de 2.0 a 2.8 MPa (290-400 psi) (FHWA, 2005; Smith et al.,2014).

Usos típicos: los buenos candidatos incluyen agrietamiento lineal, de esquina, fractura de juntas, punzonamiento, voladura, grietas por durabilidad, losa dividida. Sin embargo, estos últimos cuatro no siempre son abordados adecuadamente (Peshkin et al., 2011).

Restricciones

Estructural: las reparaciones de la subrasante pueden abordarse al llevar a cabo una reparación de espesor total. Ayuda a restaurar la integridad estructural pero no resuelve ninguna deficiencia estructural en el pavimento existente (Peshkin et al., 2011). Los problemas de desempeño pueden atribuirse a un diseño inadecuado (diseño de transferencia de carga deficiente), una calidad de construcción deficiente o la colocación de FDR en pavimentos que están demasiado deteriorados (Smith et al.,2014).

Consideraciones de construcción

Según Peshkin et al (2011) se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones constructivas:

- Es importante preparar adecuadamente la base, restaurar la transferencia de carga de la junta, texturizar y curar el material de la reparación según las especificaciones vigentes. El curado adecuado es más importante cuando se incorporan componentes para la aceleración del fraguado de la mezcla.
- La selección del material depende de varios factores, pero principalmente es una función de los requisitos de apertura al tráfico de la reparación.
- La preparación adecuada del área a reparar es fundamental para asegurar el éxito del tratamiento. Los límites del bache deberían extenderse de 2 a 6 pulgadas del borde del área de concreto en mal estado.

- Los límites de reparación deben cortarse a profundidad completa con hojas de sierra de diamante. Para evitar daños en la subbase/base, la sierra no debe penetrar más de 0.5 pulgadas en la subbase o base existente.
- Para acelerar la construcción, los contratistas generalmente hacen todos los cortes de espesor total requeridos antes de iniciar las actividades de remoción de losas. Cuando se hace esto, es importante limitar (normalmente no más de dos días) la carga de tráfico entre el momento del aserrado y la remoción del concreto para evitar el efecto del bombeo y la erosión debajo de la losa.
- Dimensiones mínimas de reparación: 6 pies de largo y 12 pies de ancho (ancho de carril completo)
- La transferencia de carga es fundamental para el buen desempeño. Normalmente se usan dovelas de 1.5 pulgadas de diámetro, con tres a cinco barras agrupadas en la huella de la rodadura o colocadas continuamente a través de la junta en 12 pulgadas.
- Se recomienda el levantamiento de losas para remover el concreto deteriorado del área de reparación a fin de minimizar la alteración de la base y, en general, proporcionar los mejores resultados y la mayor productividad bajo un costo aceptable.
- Se recomienda reemplazar la subbase o los materiales de la subrasante dañados con los restos del concreto para evitar el asentamiento de la reparación, ya que es muy difícil compactar adecuadamente el material granular en un área confinada.
- La reparación de juntas transversales y longitudinales deben sellarse para reducir el descascaramiento, minimizar la infiltración de humedad y materiales incompresibles.

Según se comentó anteriormente, la selección del proyecto es muy importante para obtener el desempeño deseado. Los factores importantes a tener en cuenta al seleccionar esta técnica incluyen los siguientes (Smith et al.,2014):

- Si el pavimento existente es estructuralmente deficiente o se acerca al final de su vida útil a la fatiga, se necesita una sobrecapa estructural para evitar el agrietamiento continuo del pavimento original.
- Si el pavimento original tiene algún problema relacionado con los materiales (por ejemplo, uso de agregado reactivo), los FDR solo pueden brindar un alivio temporal de las irregularidades causadas por el descascaramiento. Es probable que el deterioro

continuo del pavimento original resulte en la reparación del descascaramiento y la rugosidad.

- Las juntas adicionales introducidas por la utilización de los FDR aumentan la rugosidad del pavimento. Idealmente se debe considerar el cepillado superficial después de realizar las reparaciones para producir una superficie suave.
- Las grietas transversales no deterioradas en los pavimentos JPCP pueden repararse mediante el reacondicionamiento de dovelas. La efectividad de los FDR depende en gran medida de la ejecución de las reparaciones en el momento apropiado de la vida útil del pavimento y del diseño y construcción adecuados del FDR (en particular, el sistema de transferencia de carga).

Serviciabilidad

Tabla 55. Vida esperada de losas en espesor total

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 10 – 15 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 10- 15 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 5 – 15 |
| Michigan (2010) | MDOT,2010 | 3 - 10 |

Extensión en la vida del pavimento: Según Peshkin et al (2011): N/A

Modos de falla/principales deterioros: los modos de falla generalmente son causados por transferencia de carga inadecuada, preparación deficiente de la base, variabilidad del material de reparación, consolidación insuficiente y diferencias del coeficiente de expansión térmica entre el pavimento existente y la nueva reparación (Smith et al.,2014).

Costos típicos

El costo de los PDR generalmente depende del tipo de materiales utilizados, la ubicación de las áreas de reparación, el tamaño y la cantidad de reparaciones. Según Peshkin et al. (2011) los costos oscilan entre \$63 a \$125.4 por m².

Recalce o levantamiento localizado de losas (slab jacking)

Descripción

El levantamiento de losas consiste en la inserción a presión de una mezcla de cemento y lechada o material de poliuretano debajo de la losa para levantarla lentamente hasta que alcance un perfil determinado según se muestra en la Figura 29. Los proyectos ideales para el levantamiento de losas son los pavimentos que exhiben áreas localizadas de asentamiento pero que generalmente no presentan grietas. Los asentamientos pueden ocurrir en cualquier lugar a lo largo de un perfil del pavimento, pero generalmente están asociados con áreas de relleno, sobre alcantarillas y en accesos a puentes. No se recomienda esta actividad para reparar juntas con fallas a lo largo de un proyecto, dado que eso se aborda de manera más efectiva mediante el reemplazo de dovelas y cepillado superficial (Smith et al.,2014).

Las áreas comunes de aplicación incluyen losas sobre alcantarillas, losas de acceso a puentes, ambas típicamente como resultado de una compactación deficiente o inadecuada del relleno subyacente, aunque también pueden ocurrir sobre áreas de terraplenes.

El objetivo de la actividad es tratar los asentamientos que ocurren en pavimentos de concreto debido a la presencia de áreas subyacentes a la losa con capacidad de soporte deficiente. Dichos asentamientos no solo causan incomodidad al conducir, sino que también pueden crear grandes esfuerzos en la losa que pueden provocar grietas (Smith et al.,2014).

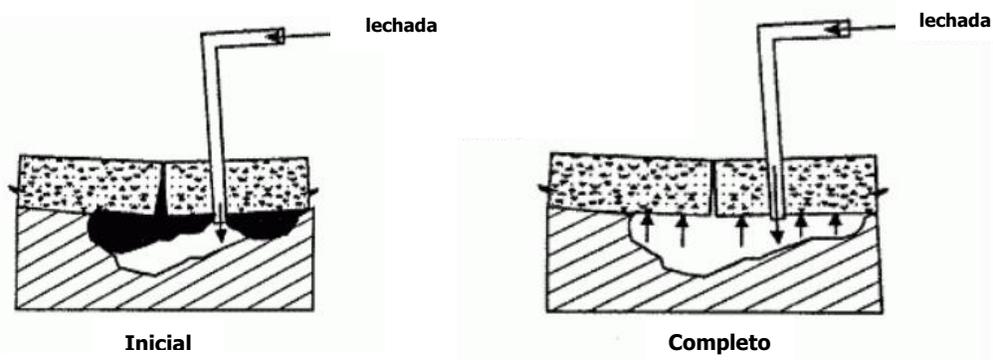


Figura 29. Lechada como relleno de vacíos bajo la losa de concreto

Nota: modificado a partir del autor (MnDOT,2006)

Tabla 56. Pros y contras del recalce o levantamiento localizado de losas

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Reduce las deflexiones y reduce la probabilidad de grietas de esquinas. | La aplicación inapropiada de este tratamiento puede resultar en desperdicio y falla temprana del pavimento. |
| Utilizan relativamente poco material y, por lo tanto, no tienen grandes impactos ambientales relacionados con material. | Pueden ser operaciones intensivas en mano de obra, por tanto, resultan en interrupciones del tráfico. |
| Las operaciones de construcción asociadas con el levantamiento de losas utilizan relativamente poca energía. | Aunque el uso de material es bajo, se debe evaluar el impacto ambiental de los materiales (lechada de cemento, poliuretano). |
| Generan pocos residuos de construcción. | |

Nota: elaboración a partir del autor (FHWA.,2015)

Aplicación

Clima: las reparaciones no deben realizarse cuando la temperatura del aire o la temperatura del pavimento sea inferior a 40 °F (4 °C) a menos que estén adecuadamente aislados. Además, las temperaturas por debajo de los 55 °F (12°C) generalmente requerirán un período de curado más largo. La colocación no debe realizarse bajo condiciones lluviosas (Peshkin et al., 2011).

Tráfico: esta técnica puede ser utilizada con altos niveles de tráfico (SDDOT,2010).

Usos típicos: esta técnica se utiliza para corregir áreas localizadas de asentamiento. La efectividad del levantamiento de losas depende en gran medida del monitoreo de la magnitud del levantamiento. Es muy importante que la losa no se levante más de 6 mm (0.25 pulg) para evitar el desarrollo de esfuerzos excesivos en la losa (Smith et al. 2014).

Restricciones

Estructural: no se recomienda esta actividad para reparar juntas con fallas estructurales a lo largo de un proyecto y losas muy agrietadas (SDDOT,2010).

Condiciones no abordadas: no se recomienda para reparar escalonamientos que se pueden atender con adaptación de dovelas y cepillado superficial.

Consideraciones de construcción

- Este tratamiento se puede utilizar antes de la aplicación de otros tratamientos de grietas, como la costura en cruz, restauración de transferencia de carga o el cepillado superficial (Smith et al.,2014).
- Los agujeros para la inyección deben estar espaciados no menos de 305 mm (12 pulgadas) ni más de 457 mm (18 pulgadas) de una junta transversal o borde de la losa. Además, los orificios deben estar espaciados 1.8 m (6 pies) o menos de centro a centro, de modo que se levante menos de 2.32-2.78 m² (25-30 pies²) de la losa mediante la lechada de un solo orificio (MnDOT, 2006).
- Se recomienda que el proceso de inyección comience en el centro de la losa con el objetivo de reducir la tensión que se ha desarrollado en la parte superior de la losa. A medida que la sección vuelve a su perfil original, el proceso se extiende más y más en cualquier dirección (Smith et al.,2014).

Serviciabilidad

Tabla 57. Vida esperada del recalce o levantamiento localizado de losas

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|-------------------|------------------------------|
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 5– 10 |

Extensión en la vida del pavimento: Según Peshkin et al (2011): N/A

Costos típicos

El costo del tratamiento dependerá generalmente depende del tipo de materiales utilizados, la ubicación de las áreas de reparación y la cantidad de reparaciones. Según WisDOT (2007) los costos oscilan entre \$33 a \$50 por m².

Cepillado superficial (diamond grinding)

Generalidades

El cepillado superficial es utilizado para corregir las fallas o deficiencias de la superficie de rodadura de los pavimentos de concreto, tales como eliminar las fallas en las juntas y otras irregularidades de la superficie, restaurar la superficie de conducción, aumentar la fricción superficial y a la vez reduce la generación de ruido. Generalmente se lleva a cabo en conjunto con otras técnicas de preservación de pavimentos (por ejemplo, restauración de transferencia de carga, reparaciones de espesor parcial, reparaciones de espesor total) como parte de un programa integral de preservación de pavimento (Peshkin et al.,2011; Smith et al.,2014).

El enfoque de esta actividad se puede usar como textura final de la superficie de rodadura para la construcción de pavimentos de concreto nuevos o se puede usar de manera intermitente en nuevos proyectos de pavimentación para ayudar a cumplir con las especificaciones de regularidad según se muestra en la Figura 30 (Smith et al.,2014).

Esta actividad solo se puede utilizar para restaurar algunas de las características funcionales del pavimento mencionadas anteriormente. Si el pavimento tiene deficiencias estructurales o relacionadas con los materiales, su ejecución no reparará ni mejorará ninguno de estos defectos. El cepillado superficial debe usarse con precaución y solo cuando sea necesario, dado que reduce el espesor del pavimento, lo cual puede afectar el desempeño a largo plazo (Caltrans,2008).



Figura 30. Componentes y superficie después del cepillado superficial.
a) Hojas de sierra de diamante b) superficie después del cepillado superficial.
Nota: modificado a partir del autor (Caltrans,2015)

Tabla 58. Pros y contras del cepillado superficial

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Es rentable cuando se equilibra el costo de la técnica con el resultado final en términos de mejora en las condiciones del pavimento. | Reduce el espesor del pavimento, lo que podría afectar el desempeño por fatiga del pavimento (No es aconsejable moler pavimentos de hormigón a menos de 8 o 9 pulgadas). |
| Puede lograrse fuera de las horas pico con cierres de carriles cortos y sin invadir carriles adyacentes. | No corrige ningún problema estructural o problemas del material. |
| Los pavimentos se pueden rectificar hasta 2 o 3 veces sin afectar significativamente la capacidad estructural del pavimento. | Es muy probable que se produzcan fallas en las juntas del pavimento si la transferencia de carga es deficiente. |
| El cepillado en un carril no implica el cepillado del carril adyacente que puede tener características superficiales aceptables. | |
| Elimina la necesidad de un estrechamiento que se requiere con las alternativas de sobrecapas en las entradas, salidas y calles laterales de las carreteras. | |
| No afecta los espacios libres por debajo de los puentes o la capacidad hidráulica de bordillos y cunetas en las calles urbanas. | |

Nota: elaboración a partir del autor (Caltrans,2008).

Objetivos y alcance

El objetivo de esta actividad es restaurar o mejorar la calidad de ruedo, pero también proporcionar mejoras en la textura de la superficie de rodadura y la reducción en los niveles de ruido (Smith et al.,2014). El cepillado superficial consiste en la eliminación de una capa delgada generalmente entre 3 y 6 mm de la superficie del pavimento de concreto utilizando una máquina autopropulsada equipada con una serie de hojas de sierra de diamante poco espaciadas montadas en un eje giratorio (Peshkin et al.,2011).

Según Smith et al. (2014) la ejecución de esta actividad ha crecido hasta convertirse en un elemento importante de los proyectos de preservación de pavimentos de concreto. El cepillado superficial se ha empleado para abordar una serie de deterioros y condiciones, según se describe a continuación:

- Eliminación de escalonamientos entre juntas transversales y fallas de grietas.

- Eliminación de "ahuellamientos" en la trayectoria de la rueda.
- Eliminación de la curvatura o deformación de las losas.
- Texturizado de una superficie pulida para mejorar la fricción superficial.
- Mejora de talud transversal para las condiciones de drenaje superficial.
- Reducción de los niveles de ruido de neumáticos-pavimento.

La mayoría de las agencias de transporte tienen sus propios criterios para considerar el cepillado superficial como una técnica de preservación. Sin embargo, Smith et al. (2014) en la Guía de Preservación de pavimentos de Concreto (FHWA) establece algunas pautas generales para su selección en un proyecto específico, según se describe a continuación:

- Escalonamiento promedio entre junta transversal superior a 2 mm.
- Regularidad entre 2,5–3,5 m/km.
- Desgaste de la huella de rodadura (ahuellamientos) entre 6–10 mm.
- Valores de fricción de la superficie por debajo de los estándares de la agencia para la vía y ubicación específica del tramo de carretera.
- Según sea necesario en áreas sensibles al ruido.

Al seleccionar los proyectos candidatos para esta actividad, se deben tener en cuenta muchas características relacionadas con el pavimento, tal como la condición estructural, los materiales del pavimento, el nivel de tráfico y los tipos, la severidad y la extensión de los deterioros actuales. Algunas de estas consideraciones adicionales se describen a continuación para determinar la viabilidad para un proyecto en particular (Smith et al.,2014):

- Los pavimentos con altos niveles de rugosidad pueden estar más allá de la ventana de intervención para una ejecución rentable, particularmente si el pavimento presenta deterioro estructural. Las agencias deben considerar la condición estructural del pavimento y el factor económico en comparación con otras alternativas de preservación (por ejemplo, sobrecapas asfálticas) para determinar el enfoque más rentable.
- El escalonamiento entre juntas transversales denota problemas de transferencia de carga y soporte de la losa, por lo que se debe considerar la instalación de dovelas

reacondicionadas, estabilización de la losa y problemas de drenajes, los cuales deben ser tratados antes de la operación de cepillado con el objetivo de abordar la causa raíz de los deterioros. Caltrans (2008) recomienda valores de activación del cepillado superficial al tener escalonamientos de 2.5 mm (0.1 pulgadas) y destaca que debe realizarse antes de estos alcancen los 4 mm (0.16 pulgadas) o más para lograr maximizar sus beneficios, sin embargo, también establece como valores máximos de aplicación de esta actividad de 12.5 mm (0.5 pulgadas).

- Las fallas estructurales tales como grietas en las esquinas, grietas transversales activas y ruptura de losas requerirán ser reparadas antes del cepillado (Correa y Wong, 2001). La presencia de grietas significativas en la losa en un proyecto (más del 10 % de las losas) sugiere un problema estructural y el cepillado puede no ser apropiado. De manera similar, la presencia de un reemplazo y reparación significativa de losas puede ser indicativo de un deterioro estructural progresivo continuo que el cepillado superficial no solucionaría.
- La dureza del agregado y su impacto directo en el costo de la actividad pueden influir en si un proyecto es o no un candidato factible para esta actividad. Cepillar un pavimento con agregado extremadamente duro (como granito, traprock o cuarcita) requiere más tiempo y esfuerzo que un pavimento con un agregado más blando (como piedra caliza). Sin embargo, estos agregados duros mantienen la textura de corte por más tiempo y pueden proporcionar una vida útil prolongada.
- Los pavimentos de concreto que sufren problemas de durabilidad, como el agrietamiento en D, indican que el cepillado no es una técnica adecuada y que puede ser necesaria una estrategia de rehabilitación más sustancial (Correa y Wong, 2001).
- Los pavimentos de concreto reforzados pueden tener una malla de acero ubicada cerca de la superficie del pavimento, lo que podría crear problemas localizados de descascaramiento de la superficie si se aplica esta técnica.

En términos generales, si un pavimento tiene pocos problemas estructurales o relacionados con los materiales, la decisión de llevar a cabo el cepillado de un pavimento se reduce a una evaluación de su rugosidad general y niveles de fallas, en conjunto con el factor costo de ejecución de la actividad (en función del tipo de agregado, profundidad de ranura, tamaño del proyecto, disponibilidad de contratistas, etc.).

En la Figura 31. se muestra un esquema de la textura superficial producida por la operación de cepillado y se observa que consta de un ancho de ranura, un área de contacto y un espesor o altura de ranura. Estas dimensiones variarán según el espaciado de las hojas que se seleccionen para un proyecto en particular, la cual se determinará en función de la dureza del agregado, según se muestra en la Tabla 59.

Para el diseño y especificación del cepillado superficial se utiliza la siguiente terminología:

- Espesor de corte: la profundidad de las ranuras cortadas por la hoja de diamante.
- Área de contacto: la distancia entre ranuras consecutivas.
- Ranura: el ancho de la ranura de corte de sierra o el ancho de la hoja de diamante.

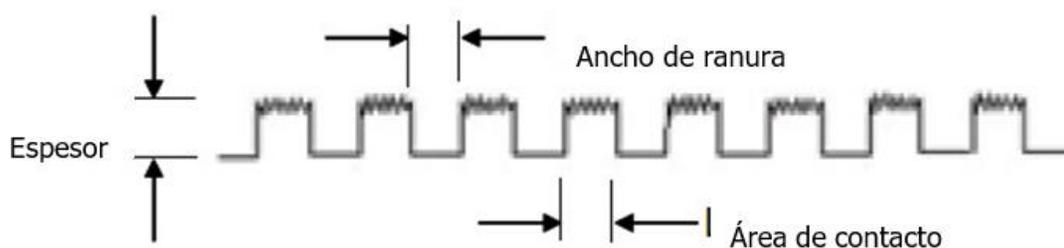


Figura 31. Esquema de textura provista por el cepillado superficial
Nota: modificado a partir de los autores (Smith et al.,2014)

Tabla 59. Rango de dimensiones típicas para la operación de cepillado

| Característica | Rango | Agregados duros | Agregados suaves |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Ancho de ranura | 2.29-3.81 mm (0.090-0.150 in) | 2.29-3.81 mm (0.090-0.150 in) | 2.29-3.81 mm (0.090-0.150 in) |
| Área de contacto | 1.78-3.25 mm (0.070-0.130 in) | 1.78-2.79 mm (0.070-0.110 in) | 2.29-3.25 mm (0.090-0.130 in) |
| Espesor | 1.00-3.00 mm (0.040-0.120 in) | 1.00-3.00 mm (0.040-0.120 in) | 1.00-3.00 mm (0.040-0.120 in) |
| No. de cuchillas | 165-200 /m. (50-60/ft) | 175-200 /m. (53-60/ft) | 165-180 /m. (50-54/ft) |

Nota: elaboración a partir de los autores (Smith et al.,2014)

Este trabajo generalmente consiste en el servicio de perfilado longitudinal de la vía recorrida en el ancho del carril, la regulación del tránsito durante todas las operaciones necesarias y limpieza final. Asimismo, incluye la ejecución de los controles de calidad o aceptación

durante todo el proceso de construcción y las operaciones necesarias para la adecuada ejecución de los trabajos, previamente aprobados por la Administración. El costo de la actividad dependerá del criterio y las condiciones establecidas por la Administración.

Materiales

No utilizados

Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas necesarios para la adecuada ejecución de esta actividad son los siguientes: máquinas autopropulsadas equipadas con hojas de diamante y espaciadores montados en un eje para proporcionar el patrón deseado. El proceso se realiza mediante la doble acción del cabezal rectificador: rotación y presión contra la superficie del pavimento. El equipo típico para estas operaciones en carreteras tiene una "base de rueda" de entre 3.0 y 4.3 m. (10 y 14 pies, medida desde las ruedas de "bogie" principales hasta las ruedas de control del espesor) y un peso mínimo de 15876 kg (35000 lb), que incluye el cabezal de rectificado. Las rectificadoras también están equipadas con un sistema de aspiración para eliminar los residuos del cepillado de la superficie del pavimento o un camión de recolección de residuos producto de la ejecución de la actividad. El cabezal de corte colocado en el equipo generalmente tiene un ancho que varía de 1.22 a 1.27 m. según se mostró en la Tabla 59. Las hojas de corte están normalmente espaciadas en el rango de 165 a 200 hojas por metro (50 a 60 hojas por pie), dependiendo de la dureza del agregado (Smith et al.,2014).

Procedimiento de ejecución

Acciones preliminares: Se deberán colocar las señales preventivas y dispositivos de seguridad que sean requeridos para la ejecución de los trabajos y mantener un control adecuado del tráfico.

Proceso constructivo: Como parte fundamental de la valoración del caso a intervenir, se deberá determinar, además, si hay carencia o deficiencia del sistema de drenaje superficial o subdrenajes, para lo cual, y si corresponde, se deberán tomar las medidas correctivas para evitar afectaciones en la estructura del pavimento (MOPT,2015)

Para el proceso constructivo se deberá aplicar el siguiente procedimiento (Caltrans,2008):

- **Preparación:** Se deberán realizar actividades previas a la ejecución del cepillado:
 - a. Todas las deficiencias estructurales/materiales del pavimento deben restaurarse antes de la operación de cepillado superficial. El cepillado se suele realizar en conjunto con otras reparaciones. La secuencia en la que se realizan las reparaciones es muy importante. Normalmente, la reparación de losas (profundidad total o parcial) y la restauración de transferencia de carga se realizan primero. El cepillado se debe realizar después de reparaciones de fractura de juntas y reemplazos de losas para asegurar una suavidad uniforme y propiedades de fricción del pavimento existente y reparado.
 - b. Antes de realizar cualquier trabajo de cepillado, se recomienda obtener un perfil de la superficie existente como perfil de control en términos de IRI. Las mediciones del perfil pueden ser obtenidas por la agencia o por el contratista.
- **Cepillado:** La operación de cepillado debe comenzar y terminar perpendicularmente a la línea central del pavimento y mantenerse paralela a la línea central entre los puntos inicial y final.
 - a. En la medida de lo posible, el perfilado debe realizarse de forma continua a lo largo de un carril en todo su ancho, incluidas las líneas del carril. No se recomienda el perfilado puntual.
 - b. El ancho del cabezal de corte es generalmente de aproximadamente 4 pies (1.2 m). Para moler todo el ancho de un carril, se requerirá más de una pasada del equipo de utilizado. Se recomienda que el traslape entre pasadas adyacentes no sea superior a 2 pulgadas (50 mm). Para aumentar la productividad y minimizar los cierres de tráfico. En los proyectos grandes, generalmente se usan varias máquinas para cubrir todo el ancho de un carril en una sola pasada (Smith et al.,2014).
 - c. Cada aplicación de cepillado no debe exceder el espesor de la aplicación anterior en más de la cantidad especificada (típicamente 6 mm) (Smith et al.,2014).

- **Limpieza:** Los residuos de la operación de trituración debe eliminarse correctamente, es decir deben recolectarse en el sitio y eliminarse de acuerdo con las regulaciones locales.
- **Relleno/ Sellado:** Las juntas y grietas deben sellarse o rellenarse.

Acciones finales.

- Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

Aceptación de los trabajos

Según Caltrans (2008) para la aceptación del proceso constructivos se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

La calidad de la operación generalmente se evalúa mediante mediciones de regularidad y/o resistencia al deslizamiento después de que se completa la ejecución de la actividad:

Regularidad: Es común realizar mediciones de IRI antes y después de la actividad para cuantificar mejor los beneficios obtenidos. El equipo utilizado en las pruebas de aceptación debería ser el mismo que el utilizado en la evaluación inicial y debería especificarse en conjunto con los procedimientos a seguir en las pruebas de aceptación. Según Smith et al (2014) a veces se especifica un % de mejora mínima en la regularidad del pavimento (antes y después de la actividad), los requisitos de mejora pueden estar en el rango del 30 al 35%, pero estos variarán según la agencia de transporte y la clasificación de la carretera intervenida (por ejemplo, interestatal, rural, arterial o urbana).

Resistencia al deslizamiento: La resistencia al deslizamiento del pavimento también se puede utilizar para evaluar la calidad del cepillado. Los valores de resistencia al deslizamiento obtenidos después del cepillado se pueden comparar con los valores obtenidos antes del rectificado para documentar las mejoras. Estos valores de umbral deberán ser establecidos por la Administración.

Medición

Área: El método de medición y pago generalmente se basa en el área tratada, medida en pies cuadrados, yardas cuadradas o metros cuadrados.

Pago

La actividad de cepillado superficial, se pagará según el precio de contrato por trabajo aprobado satisfactoriamente de acuerdo con la especificación y la aceptación por parte de la Administración.

Renglones de pago

Las cantidades se pagarán al precio unitario y las unidades establecidas en el Contrato, o bien de acuerdo con el siguiente listado de renglones de pago. El pago será la compensación completa por la mano de obra, equipo, herramientas, pruebas, limpieza, la señalización preventiva de protección de obra y cualquier otra actividad necesaria para la adecuada y correcta realización de las actividades contempladas en esta sección e imprevistos necesarios para completar el trabajo satisfactoriamente de acuerdo con la especificación del proyecto y aceptado por parte de la Administración.

Información adicional

Tabla 60. Vida esperada del cepillado superficial

| Estado (DOT)/Fuente | Referencia | Vida esperada (años)* |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| Dakota del Sur (2010) | SDDOT, 2010 | 8 – 15 |
| Illinois (2010) | IDOT , 2010 | 8 - 15 |
| SHRP (2011) | Peshkin et al,2011 | 8– 15 |
| FHWA (2014) | Smith et al.,2014 | 8 - 15 |

En términos generales, cada técnica de preservación tiene capacidades y funciones únicas que le permiten impactar el desempeño estructural y/o funcional de una estructura de pavimento existente. Los impactos pueden por medio de la prevención, ralentizar el

deterioro del pavimento a través de la impermeabilización, protección y rejuvenecimiento o por medio de restaurar la integridad y funcionalidad del pavimento (Peshkin et al,2011; NCHRP,2015). La Tabla 61. resume la capacidad y función principal de las diversas técnicas de pavimentos flexibles y rígidos presentados anteriormente.

Tabla 61. Capacidad y función principal de las técnicas de preservación

| Pavimentos Flexibles | | | | | | |
|--|--|--|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Prevención | | Restauración | | | |
| Tratamiento | Sellar la superficie | Rejuvenecer la superficie inhibir la oxidación | *Eliminar defecto superficial | *Eliminar un ahuellamiento estable | Mejorar textura (fricción) | Mejora del perfil |
| Sello de grietas | ✓ | | ✓ | | | |
| Relleno de grietas | ✓ | | ✓ | | | |
| Tratamiento Superficial | ✓ | | ✓ | | ✓ | |
| Micropavimentos | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ (menor) |
| Sello de lechada | ✓ | ✓ | | | ✓ | |
| Sello de niebla | ✓ | ✓ | | | | |
| Pavimentos Rígidos | | | | | | |
| | Prevención | | Restauración | | | |
| Tratamiento | Sellar e impermeabilizar la superficie | Prevenir la intrusión de material incomprensible | Remover Control de escalonamiento | Mejorar la textura para fricción | Mejorar el perfil | Mejorar textura para ruido |
| Sello de grietas | ✓ | ✓ | | | | |
| Sello de juntas | ✓ | ✓ | | | | |
| Cepillado superficial | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Reemplazo de dovelas | | | ✓ | | ✓ | |
| Reparación de losas en espesor parcial | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Reparación de losas en espesor total | ✓ | ✓ | ✓ ⁽¹⁾ | | ✓ ⁽¹⁾ | |
| Levantamiento localizado de losas | | | ✓ | | ✓ | |
| ✓ | Efecto | | | | | |

*Nota: Los defectos superficiales incluyen desprendimiento/desgaste de agregados, exudación, pulido, grietas superficiales, etc.

⁽¹⁾ Se ejecuta en conjunto con el cepillado superficial

3.3. Marco de referencia para la selección de técnicas de preservación

Las técnicas de preservación abordan los deterioros existentes de los pavimentos a través de diversas maneras y partiendo del hecho que un tratamiento no siempre será el más adecuado para todas las condiciones. Generalmente se necesita una evaluación detallada que combine la capacidad del tratamiento o técnica con los deterioros existentes en el pavimento. Idealmente, esta evaluación debería considerar no solo los tipos específicos de deterioros presentes y sus causas, sino también el nivel de severidad y la extensión de cada deterioro observado. Además, se debe considerar su impacto en atributos importantes de desempeño funcional tal como la fricción como la fricción y la regularidad del pavimento (Hicks et al.,2000).

Según la revisión bibliográfica típicamente se hace uso de dos enfoques para identificar técnicas de preservación factibles basados en los deterioros existentes de un pavimento tales como las matrices de decisión y los flujogramas de decisión (Peshkin et al.,2011). Los flujogramas y matrices de decisión permiten tener en cuenta múltiples criterios como herramientas para seleccionar una técnica que dependen de los criterios establecidos por la Administración, las cuales generalmente se basan en experiencias anteriores usando las posibles opciones de técnicas de preservación. Los tipos de datos considerados en el desarrollo de estas herramientas incluyen (Hicks et al.,2000):

- Tipo de superficie del pavimento y/o historial de construcción.
- Un indicador de la clasificación funcional y/o nivel de tráfico de la vía.
- Índices de condición, incluyendo los deterioros presentes.
- Información específica del tipo de deterioro presente, ya sea en términos de extensión del deterioro relacionado con las cargas o la presencia de un tipo de deterioro en particular.
- Geometría del pavimento para determinar el alcance de la aplicación.
- Condiciones ambientales en las que se va a utilizar la técnica de preservación.

De acuerdo con Hicks et al. (2000) y SHRP (2011) las herramientas de decisión mencionadas cuentan con una serie de ventajas y desventajas. Las ventajas incluyen:

- Hacen uso de la experiencia existente.
- Reflejan el proceso de decisión normalmente utilizado por la Agencia de Transporte o Administración.
- Muestran flexibilidad para modificar tanto los criterios de decisión como las técnicas asociadas.
- La capacidad de generar recomendaciones consistentes.
- La relativa facilidad con la que se puede explicar y programar el proceso de selección.

Las desventajas incluyen:

- Consideran el enfoque de solo uno o dos técnicas que han tenido un correcto desempeño en el pasado.
- Es difícil incorporar todos los factores importantes del tramo a evaluar (por ejemplo, clasificación funcional, vida restante del pavimento).
- Las técnicas mejoradas o más novedosas que pueden ser más efectivas generalmente se pasan por alto o no se consideran, no es el caso para este proyecto.
- No incluyen una evaluación tan completa de varias alternativas factibles y análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) para determinar la estrategia más rentable.
- El uso de árboles de decisión y matrices, por sí mismos, no garantiza la selección de la técnica más rentable.

Para fines de este trabajo, se hará uso de ambas herramientas con el propósito de establecer un marco de referencia que permita guiar en la toma de decisiones a través de un proceso de decisión para la selección de las técnicas de preservación factibles acorde a cada deterioro y su nivel de severidad. Para la elaboración de estas herramientas de decisión se llevó a cabo el estudio de los deterioros incluidos en la sección 3.1 y las técnicas de preservación incluidas en la sección 3.2. del presente informe. La Figura 32 presenta las pautas para llevar a cabo el proceso de decisión de las técnicas de preservación factibles.

El proceso de decisión mostrado a continuación se basa en la identificación del tipo de deterioros observados o medidos que representan condiciones típicas en la red vial de Costa Rica y la factibilidad de ser abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos.

En términos generales, estas herramientas se sugieren como alternativa para seleccionar una o más técnicas potenciales acompañado del criterio de ingeniería.

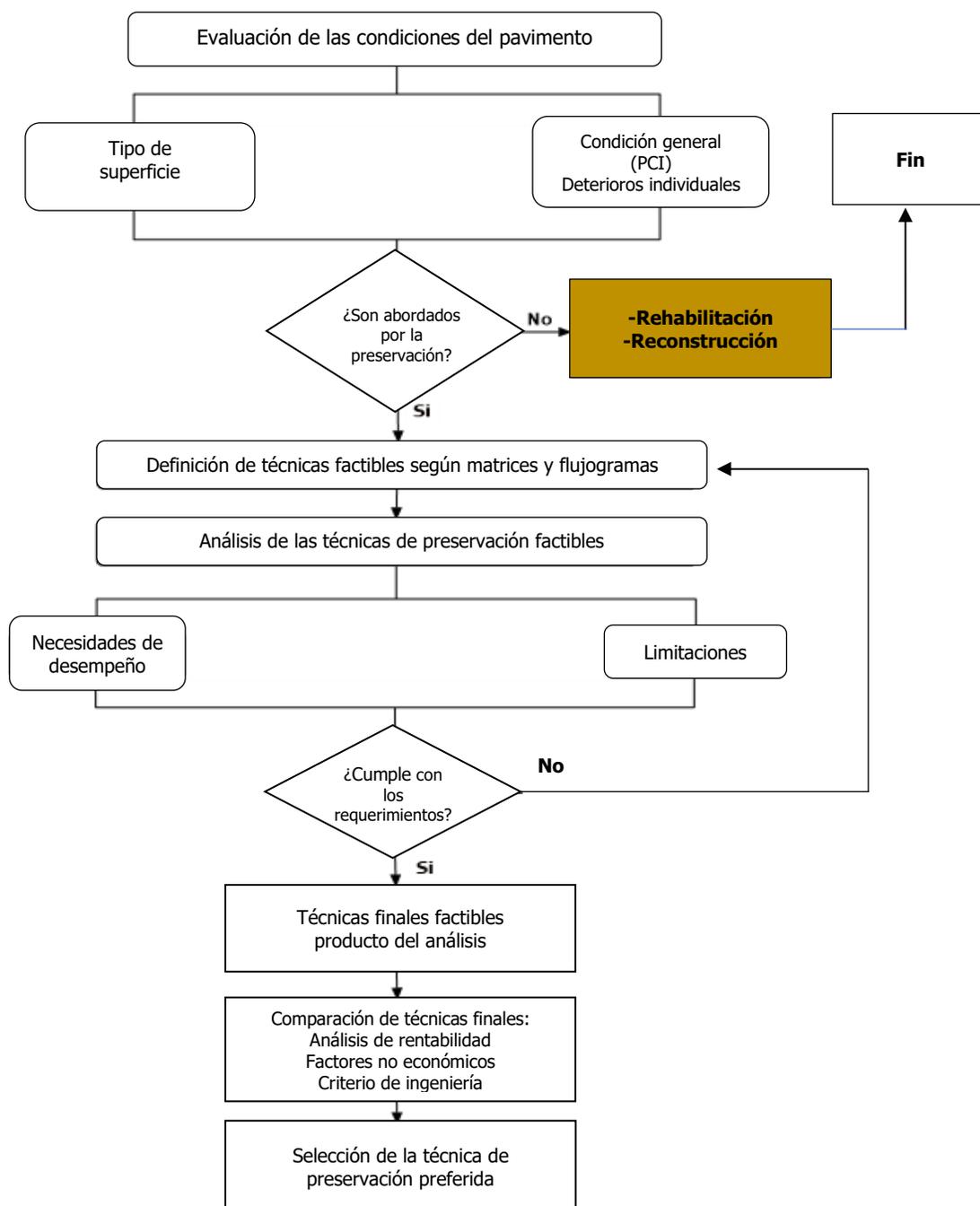


Figura 32. Proceso propuesto para la decisión de técnicas de preservación

3.3.1. Proceso de decisión de técnicas de preservación

Basado en la Figura 32 del presente documento se pueden identificar cinco pasos básicos en el proceso de decisión de la técnica de preservación óptima. Estos pasos incluyen:

- Evaluar las condiciones existentes del pavimento.
- Determinar las opciones de técnicas factibles.
- Analizar las opciones de técnicas factibles.
- Comparación de técnicas de preservación finales.
- Selección de la técnica de preservación preferida.

A continuación, se describe cada uno de los pasos mencionados anteriormente:

3.3.1.1. Evaluar las condiciones existentes

La evaluación de las condiciones de deterioro existentes servirá de insumo principal para el proceso de decisión y selección de las técnicas factibles. Esta evaluación se puede dividir en tres procesos, que incluyen:

- Auscultación visual del tramo de carretera y/o inspección de la información del proyecto de una base de datos y/o registros.
- Realización de ensayos relacionados con el pavimento existente, según lo requieran las condiciones.
- Definición de los requisitos de desempeño de la técnica de preservación.

Previo al proceso de inspección visual, es necesario obtener información del pavimento relacionada con su ubicación, geometría, obras de drenaje y tipos de juntas, entre otros, para conocer no sólo el pavimento sino también el entorno del sitio del proyecto en aras de facilitar el proceso de auscultación (MAV,2016). Para el proceso de auscultación visual se recomienda utilizar el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV,2016) para identificar los mecanismos de deterioro presentes en el pavimento. Para el registro de la información durante la evaluación de los pavimentos se recomienda el uso de formatos de levantamiento de deterioros con el objetivo de promover la uniformidad en

el proceso de evaluación. El ingeniero vial u otro revisor debe completar el formato de evaluación del pavimento en el sitio para cada tramo de pavimento que se considere tratar bajo las técnicas de preservación. Las Figuras 3.1 a la 3.4 del MAV 2016 ilustra algunos ejemplos de formatos de registro de la información proveniente de la evaluación de pavimentos y el tipo de información que debe recopilarse.

El procedimiento de auscultación varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento (flexible o rígido) dado que los deterioros que pueden presentar son diferentes. Debe seguirse estrictamente la definición de los deterioros del manual propuesto para la obtención de índices de la condición del pavimento. En el presente estudio se propone considerar la utilización del Índice de Condición de pavimentos (PCI, por sus siglas en inglés) como herramienta para tener una indicación de su integridad estructural y la capacidad funcional.

El PCI es un indicador fundamental para determinar si un pavimento es óptimo para la preservación de pavimentos o si se requiere la consideración de otro nivel de intervención mayor. Cabe destacar que la calidad del proceso de auscultación visual definirá la confiabilidad de los valores de PCI obtenidos. El procedimiento para la estimación del PCI se especifica en el MAV,2016, con base en la norma ASTM D6433. Por tanto, se considerará como referencia para su determinación.

Idealmente para diagnosticar de manera más completa el estado del pavimento existente se debería hacer uso de indicadores del desempeño funcional y estructural de un pavimento. La información de desempeño debería incluir información histórica y actual relacionada con la condición general del pavimento, la cual se puede reflejar a través de indicadores de condición compuestos, tipo, severidad y extensión de deterioros individuales. A partir de la información mencionada se deberán estudiar las características de los deterioros individuales en conjunto con el resultado del índice de condición de pavimento PCI para determinar la aplicabilidad de la preservación de pavimentos según los valores de referencia (ventanas de oportunidad) establecidos en la matriz de decisión según se establece en la Figura 32. Cabe mencionar que a través del análisis de la información de la condición existente se determinará la aplicabilidad de la preservación y con ello la continuidad del presente proceso. En caso de no ser aplicable llegará a su fin.

3.3.1.2. Determinar las opciones de técnicas factibles

Una vez que se ha cuantificado la condición del pavimento, se han recopilado y analizado los resultados de las pruebas y los datos disponibles (estas últimas dos si aplica), se puede identificar una lista de las técnicas factibles. En este paso, la "factibilidad" está determinada por la capacidad de una técnica para abordar la condición funcional y estructural del pavimento y al mismo tiempo, satisfacer cualquier necesidad futura.

Se debe tener en cuenta que la factibilidad no está en función de la accesibilidad, ya que en esta etapa del proceso de selección el objetivo principal es determinar qué técnicas podrían funcionar para la condición del pavimento. Las herramientas tales como las matrices de decisión de la Tabla 62. y Tabla 63. y los flujogramas de decisión que se muestran entre la Figuras 33. a la Figura 52. reflejan las opciones de técnicas disponibles basados en los deterioros y su nivel de severidad. En términos generales, esta lista representa un primer corte de técnicas capaces de preservar la estructura del pavimento y prevenir o retrasar el deterioro futuro dada la condición física actual del pavimento y la tasa de deterioro.

A continuación, se comenta algunos aspectos relevantes considerados para la elaboración de las herramientas de decisión mencionadas:

Matrices de decisión

Para el desarrollo del presente trabajo y el cumplimiento de los objetivos establecidos, basado en la experiencia de diferentes Agencias de Transporte en el desarrollo de estos documentos se determinó que se debe utilizar una matriz de decisión como base para identificar las técnicas de preservación candidatas según la condición del pavimento. Las matrices sirven como base para el desarrollo de los flujogramas de decisión.

Durante la revisión bibliográfica se identificaron varias matrices y flujogramas de decisión como herramientas a utilizar de forma eficaz en la selección e identificación de las técnicas adecuadas de preservación. Se consideró de referencia principal la matriz de decisión que se propone en el documento denominado "Guía para la preservación de carreteras de alto

tráfico” desarrollado por Peshkin et al. en el año 2011 dado que es una de las referencias más completas encontradas durante la revisión bibliográfica. Para su desarrollo se consideraron los resultados y análisis de encuestas relacionadas con las prácticas en términos de preservación de 50 Agencias de Transporte, tanto de Estados Unidos como Canadá.

El informe mencionado incluyó el estudio de las matrices de decisión desarrolladas por las Agencias de Transporte de California, Ohio e Illinois y matrices desarrolladas por Hicks et al en el año 2000 y la Fundación para la preservación de pavimentos (FP²) en el año 2006. Adicionalmente, para su adaptación se consideraron los niveles de severidad establecidos en los catálogos de deterioros de referencia y los principales atributos y limitaciones de las técnicas de preservación consideradas en el presente documento. Según Hicks et al (2000) una matriz de decisión proporciona a los usuarios un enfoque más práctico, comprensible y funciona como un insumo fundamental para el desarrollo de los flujogramas de decisión.

Las matrices de decisión presentadas para cada tipo de pavimento muestran las técnicas factibles según las condiciones de tráfico y nivel de severidad de cada deterioro individual bajo el cual cada técnica puede tener un desempeño bueno, regular o marginal, pobre y no recomendado. Considerando que la filosofía de la preservación es la aplicación de los tratamientos en el tiempo correcto, se muestra la ventana de oportunidad de cada técnica, es decir, el rango de valores de PCI y el periodo de años del ciclo de vida del pavimento donde según la literatura y experiencia internacional sería más correcta para su aplicación en términos de condición o serviciabilidad del pavimento.

Los niveles de tráfico se establecen según los diferentes conceptos de alto tráfico que se manejan a nivel estatal en las Agencias de Transporte de Estados Unidos y además se consideró la clasificación de los niveles de tráfico que se reflejan en el “Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica” (ERVN,2018-2019). Estas matrices se establecen con un enfoque práctico de insumo y apoyo de los flujogramas de decisión para la determinación de las técnicas con un desempeño aceptable ante las condiciones establecidas, además de servir de referencia para los casos en que el usuario requiera seleccionar alternativas con un desempeño inferior al aceptable.

Tabla 62. Matriz de decisión para pavimentos flexibles

| Técnica de preservación | Ventana de oportunidad | | TPD | | Deterioros superficiales | | Agrietamiento | | | |
|---|---------------------------|-------------|-------|-------|---|------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------------|
| | Índice de Condición (PCI) | Edad (años) | | | Desprendimiento desgaste de agregados | Pulimiento | Fatiga ⁽³⁾ | Bloque | Transversal | Reflejo de juntas |
| | | | <5000 | >5000 | B M A | --- | B M A | B M A | B M A | B M A |
| Sello de grietas | 80-95 | 3-6 | ✓ | ✓ | x x x | x | x x x | ○ ● x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● |
| Relleno de grietas | 75-90 | 2-5 | ✓ | ✓ | x x x | x | x x x | ○ ● x | ● x x | ● x x |
| Slurry seal (Tipo III) ⁽¹⁾ | 70-85 | 5-8 | ✓ | ○ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ○ ● x | ✓ ○ ● | ○ ● x | ○ ● x |
| Micropavimento simple | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ○ ● x | ✓ ○ ● | ○ ● x | ○ ● x |
| Micropavimento doble | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ○ ● x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● |
| <i>Tratamiento superficial simple</i> | | | | | | | | | | |
| Convencional | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ○ x x | ✓ ○ x | ✓ ○ x | ✓ ○ x |
| Modificado con polímeros | 70-85 | | ✓ | ✓ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ○ ● x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● |
| <i>Tratamiento superficial doble</i> | | | | | | | | | | |
| Convencional | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ○ ● x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● |
| Modificado con polímeros | 70-85 | | ✓ | ✓ | ✓ ✓ ○ | ✓ | ✓ ○ x | ✓ ✓ ● | ✓ ✓ ● | ✓ ✓ ● |
| Fog seal (sello de niebla) ⁽²⁾ | 80-90 | 3-6 | ✓ | x | ✓ ○ x | x | ● x x | ○ x x | ○ x x | ○ x x |

| Simbología | |
|------------|--|
| ✓ | Buen desempeño - efectivo (aceptable) |
| ○ | Regular desempeño - efectivo marginalmente (aceptable) |
| ● | Pobre desempeño |
| x | No recomendado |

Nota: El desempeño regular o marginal puede ser muy efectivo, si el deterioro es tratado en su etapa inicial

- (1) El Slurry seal tipo III es recomendable para valores máximo de TPD de 20,000 (Caltrans,2008).
(2) Idealmente el buen desempeño se obtiene para carreteras de bajo volumen y en hombros de carreteras de alto volumen.
(3) Las técnicas recomendadas para el agrietamiento por fatiga (L) consideran grietas con anchos <6 mm

Elaboración y modificación a partir del autor (SHRP,2011).

Tabla 62. Matriz de decisión para pavimentos flexibles (cont.)

| Técnica de preservación | Ventana de oportunidad | | TPD | | Agrietamiento | | Deformación | Miscela. | Funcionales | |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------|-------|-------|--------------------------|----------------------|------------------------------------|----------|-------------|----------|
| | Índice de Condición (PCI) | Edad (años) | | | Longitud. ⁽⁴⁾ | Borde ⁽⁴⁾ | Superficial estable ⁽⁵⁾ | baches | Regularidad | Fricción |
| | | | <5000 | >5000 | B M A | B M A | B M A | B M A | --- | ---- |
| Sello de grietas | 80-95 | 3-6 | ✓ | ✓ | ● x x | ● x x | x x x | x x x | x | x |
| Relleno de grietas | 75-90 | 2-5 | ✓ | ✓ | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | x x x | x x x | x | x |
| Slurry seal (Tipo III) | 70-85 | 5-8 | ✓ | ○ | ○ ● x | ○ ● x | ● x x | ○ ● x | x | ○ |
| Micropavimento simple | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ○ ● x | ○ ● x | ○ ● x | ○ ● x | ● | ✓ |
| Micropavimento doble | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ✓ ○ ● | ✓ ○ x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | ○ | ✓ |
| <i>Tratamiento superficial simple</i> | | | | | | | | | | |
| Convencional | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ○ ○ x | ○ ○ x | ○ ● x | ○ ○ x | ● | ✓ |
| Modificado con polímeros | 70-85 | | ✓ | ✓ | ✓ ○ x | ✓ ○ x | ○ ● x | ○ ○ x | ● | ✓ |
| <i>Tratamiento superficial doble</i> | | | | | | | | | | |
| Convencional | 70-85 | 5-8 | ✓ | ✓ | ✓ ○ x | ✓ ○ x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | ○ | ○ |
| Modificado con polímeros | 70-85 | | ✓ | ✓ | ✓ ○ ● | ✓ ○ x | ✓ ○ ● | ✓ ○ ● | ○ | ○ |
| Fog seal (sello de niebla) | 80-90 | 3-6 | ✓ | x | ● x x | ● x x | x x x | x x x | x | x |

| Simbología | |
|------------|--|
| ✓ | Buen desempeño - efectivo (aceptable) |
| ○ | Regular desempeño - efectivo marginalmente (aceptable) |
| ● | Pobre desempeño |
| x | No recomendado |

Nota: El desempeño regular o marginal puede ser muy efectivo, si el deterioro es tratado en su etapa inicial

- (4) Las grietas longitudinales y de borde de severidad (M-H) se recomienda se tratadas previamente antes de la colocación de tratamientos superficiales, slurry seal y micropavimentos.
- (5) Se refiere a deformaciones generadas debido al confinamiento de la mezcla asfáltica típicamente <12.5 mm.

Elaboración y modificación a partir del autor (SHRP,2011).

Tabla 63. Matriz de decisión para pavimentos rígidos

| Técnica de preservación | Ventana de oportunidad | | TPD | | Deterioros superficiales | | Agrietamiento | | |
|---|---------------------------|-------------|-------|-------|--------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|------------------|
| | Índice de Condición (PCI) | Edad (años) | | | Pulimiento | Desprendimiento | Agrietamiento Lineal ⁽²⁾ | Grietas de esquina | Grietas en malla |
| | | | <5000 | >5000 | ---- | --- | B M A | B M A | B M A |
| Sellado de Juntas entre losas | 75-90 | 5-10 | ✓ | ✓ | x | x | x x x | x x x | x x x |
| Sellado de grietas de concreto | 70-90 | 5-12 | ✓ | ✓ | x | x | ✓ ○ x | ✓ ○ x | x x x |
| Diamond grinding (cepillado de superficie) | 70-90 | 5-13 | ✓ | ✓ | ✓ | x | x x x | x x x | ○ ○ ○ |
| Reparación de losas en espesor parcial ⁽¹⁾ | 65-85 | 6-15 | ✓ | ✓ | x | ✓ | x ○ x | x ○ x | ✓ ✓ ✓ |
| Reparación de losas en espesor total | 65-85 | 6-15 | ✓ | ✓ | x | ✓ | x ✓ ✓ | x ✓ ✓ | x x x |
| Reemplazo de dovelas* | 65-85 | 6-15 | ✓ | ○ | x | x | x x x | x ● ● | x x x |
| Recalce levantamiento ^o | 65-85 | 6-15 | ✓ | ✓ | x | x | x x x | x x x | x x x |

| Simbología | |
|------------|--|
| ✓ | Buen desempeño - efectivo (aceptable) |
| ○ | Regular desempeño - efectivo marginalmente (aceptable) |
| ● | Pobre desempeño |
| x | No recomendado |

Nota: El desempeño regular o marginal puede ser muy efectivo, si el deterioro es tratado en su etapa inicial

- (1) Los deterioros abordados por la reparación de espesor parcial corresponden a deterioro confinados en el tercio superior de la losa.
- (2) El agrietamiento lineal incluye el agrietamiento longitudinal, transversal y diagonal.

Elaboración y modificación a partir del autor (SHRP,2011).

Tabla 63. Matriz de decisión para pavimentos rígidos (cont.)

| Técnica de preservación | Ventana de oportunidad | | TPD | | Juntas | | | Misceláneos | | | Funcionales | |
|--|---------------------------|-------------|-------|-------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|-----------|--------|---------------|----------|
| | Índice de condición (PCI) | Edad (años) | | | Daño en sello | Fract. de junta | Fract. de esquina | Escalonamiento ⁽⁴⁾ | Baches | Bombeo | Regul- aridad | Fricción |
| | | | <5000 | >5000 | B M A | B M A | B M A | B M A | B M A | --- | --- | --- |
| Sellado de Juntas entre losas ⁽³⁾ | 75-90 | 5-10 | ✓ | ✓ | x ✓ ✓ | x x x | x x x | x x x | x x x | ○ | x | x |
| Sellado de grietas ⁽³⁾ | 70-90 | 5-12 | ✓ | ✓ | x x x | x x x | x x x | x x x | x x x | ○ | x | x |
| Diamond grinding (cepillado de superficie) | 70-90 | 5-13 | ✓ | ✓ | x x x | x x x | x x x | ✓ ● x | ✓ ○ x | x | ✓ | ✓ |
| Reparación de losas en espesor parcial | 65-85 | 6-15 | ✓ | ○ | x x x | ✓ ✓ ✓ | ✓ ✓ ✓ | x x x | ✓ ○ ● | x | x | x |
| Reparación de losas en espesor total | 65-85 | 6-15 | ✓ | ✓ | x x x | x ✓ ✓ | x ✓ ✓ | x ○ ○ | x ✓ ✓ | ○ | ○ | x |
| Reemplazo de dovelas | 65-85 | 6-15 | ✓ | ○ | x x x | x x x | x x x | ✓ ○ ● | x x x | ○ | x | x |
| Recalce levantamiento ^o | 65-85 | 6-15 | ✓ | ✓ | x x x | x x x | x x x | ✓ ● x | x x x | ○ | x | x |

| Simbología | |
|------------|--|
| ✓ | Buen desempeño - efectivo (aceptable) |
| ○ | Regular desempeño - efectivo marginalmente (aceptable) |
| ● | Pobre desempeño |
| x | No recomendado |

Nota: El desempeño regular o marginal puede ser muy efectivo, si el deterioro es tratado en su etapa inicial

- ⁽³⁾ El sellado de juntas y grietas puede ser efectivo para mitigar el bombeo de finos en etapas iniciales, si se detecta la filtración de agua por las juntas y grietas existentes.
- ⁽⁴⁾ Para tratar los escalonamientos probablemente sea necesario hacerlo en conjunto con el cepillado superficial. Esta técnica aplicará para escalonamientos > 0.5 in (13 mm) únicamente si se tiene agrietamientos de losas menores al 10% y valores de TPD < 50,000 (Caltrans, 2008).

Elaboración y modificación a partir del autor (SHRP, 2011).

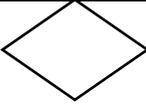
Flujogramas de decisión

Los flujogramas se realizaron a partir de las matrices de decisión mostradas anteriormente. En los flujogramas se establecen únicamente las técnicas de preservación recomendadas, es decir, aquellas que presentan un desempeño aceptable catalogado como bueno y regular (marginal) de acuerdo al nivel de tráfico y severidad asociado a su correcto desempeño, las cuales son el objetivo del presente trabajo. Las técnicas con buen desempeño se muestran en negrita en cada uno de los flujogramas de decisión, el resto de técnicas corresponden a un desempeño regular. Los flujogramas mencionados para cada uno de los deterioros o combinación de estos se muestran a continuación a partir de la Figura 33 hasta la Figura 52.

En cada flujograma se encontrará la manera en que son abordados adecuadamente por la preservación de pavimento, de igual manera, los niveles de severidad que se muestran en los flujogramas corresponden a los que se muestran en los catálogos de deterioros de la sección 3.1.

A continuación, se muestra la simbología propia empleada en la elaboración de los flujogramas de decisión, la cual se considera que debe ser descrita con el objetivo de favorecer la lectura de dichos flujogramas. En la Tabla 64 se explica el significado de cada elemento a utilizar para la elaboración de los flujogramas mencionados.

Tabla 64. Simbología básica de los flujogramas de decisión

| Simbología | Significado |
|---|--|
|  | Inicio de flujograma de decisión (deterioro) |
|  | Actividad de seguimiento (causas, condiciones de tráfico y nivel de severidad) |
|  | Criterio de decisión de desempeño de técnicas de preservación |
|  | Técnicas o alternativas recomendadas |

Flujogramas de decisión en pavimentos flexibles

Grietas

Grietas por fatiga

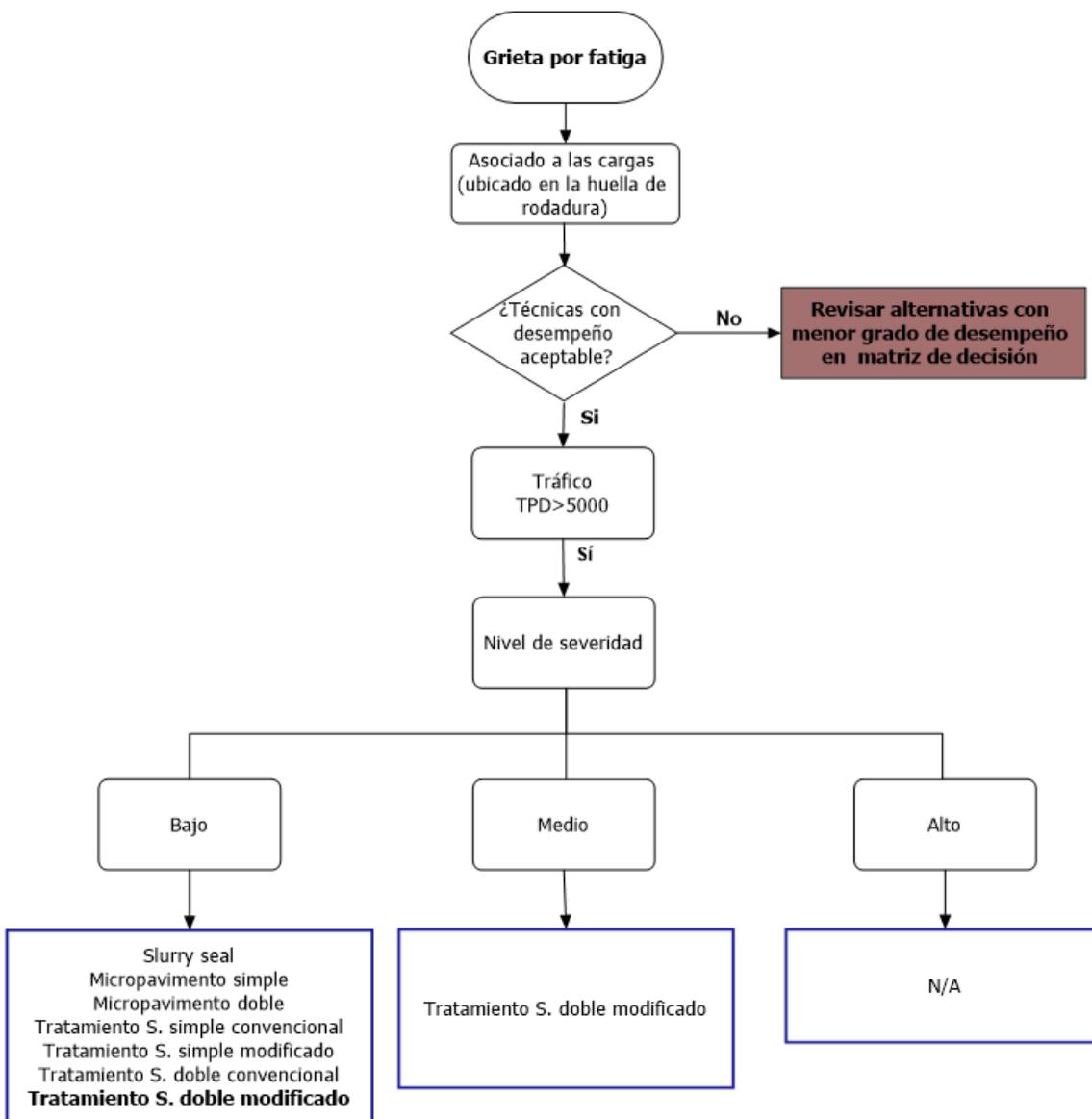


Figura 33. Flujograma de decisión para el agrietamiento por fatiga

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural, sin embargo, no con técnicas que muestren excelente desempeño.

Grietas longitudinales

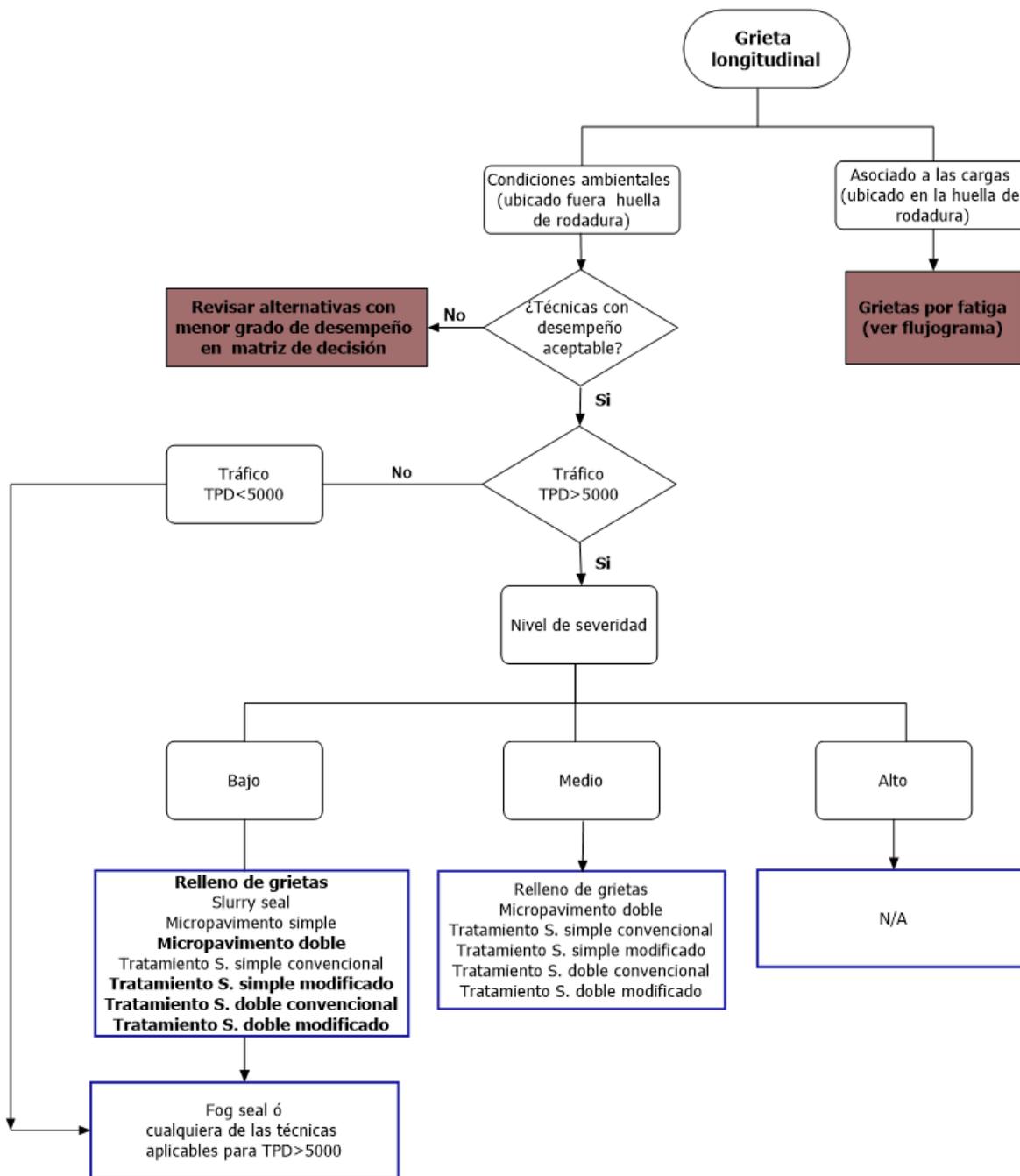


Figura 34. Flujograma de decisión para las grietas longitudinales

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Grieta transversal/agrietamiento por reflejo de juntas

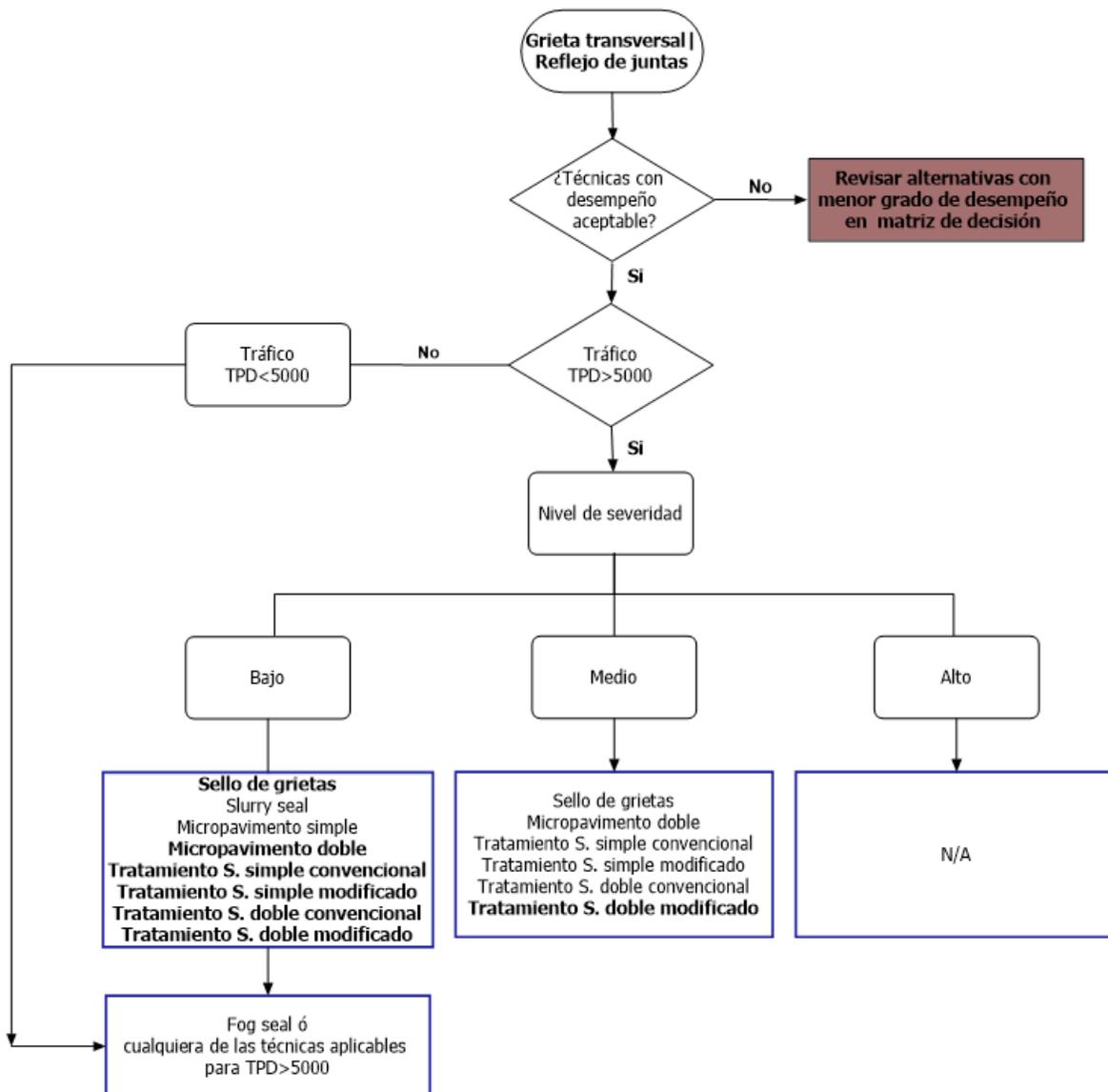


Figura 35. Flujograma de decisión para las grietas transversales-agrietamiento por reflejo de juntas

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Grietas en bloque

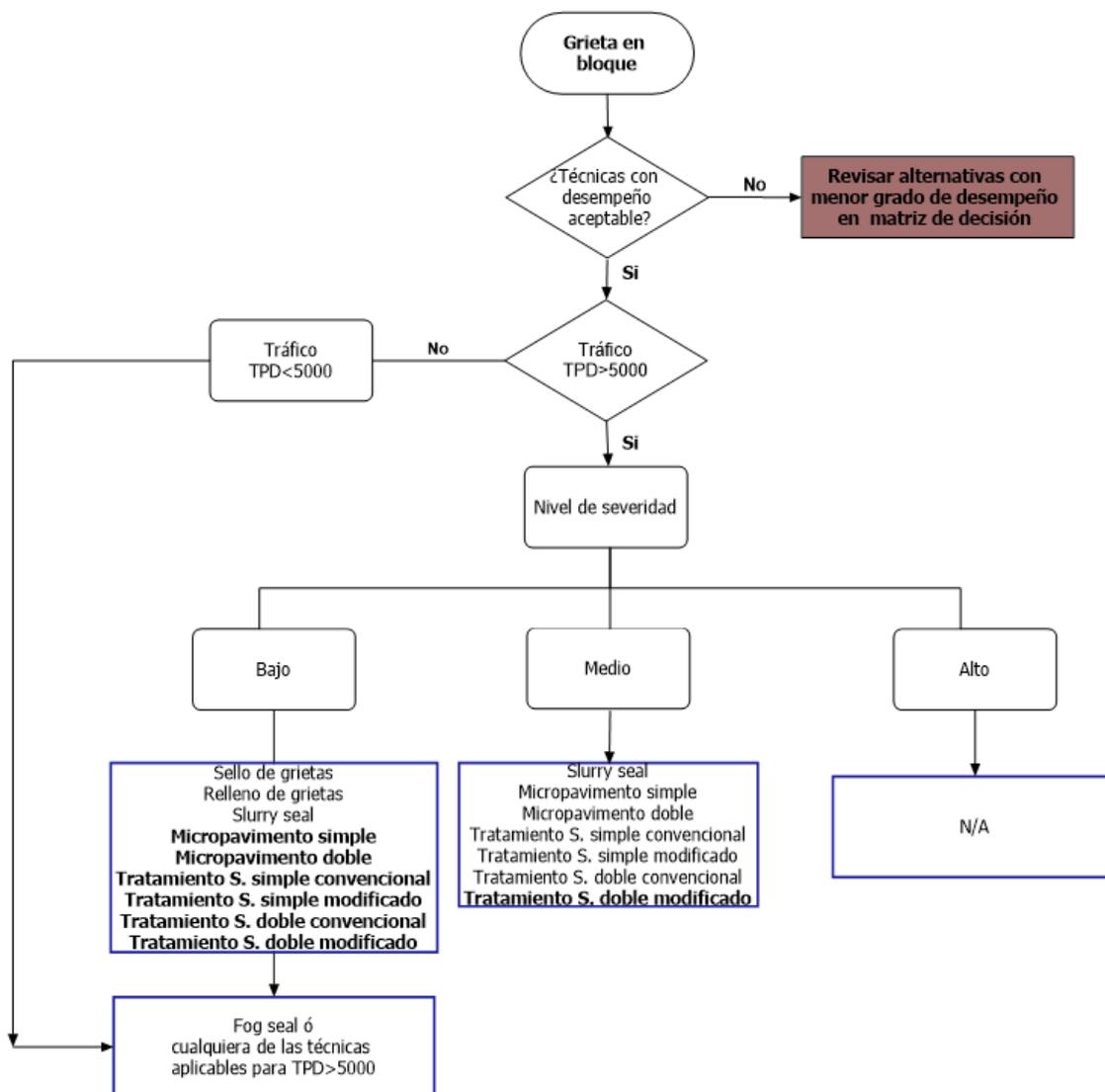


Figura 36. Flujograma de decisión para las grietas en bloque

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Grietas de borde

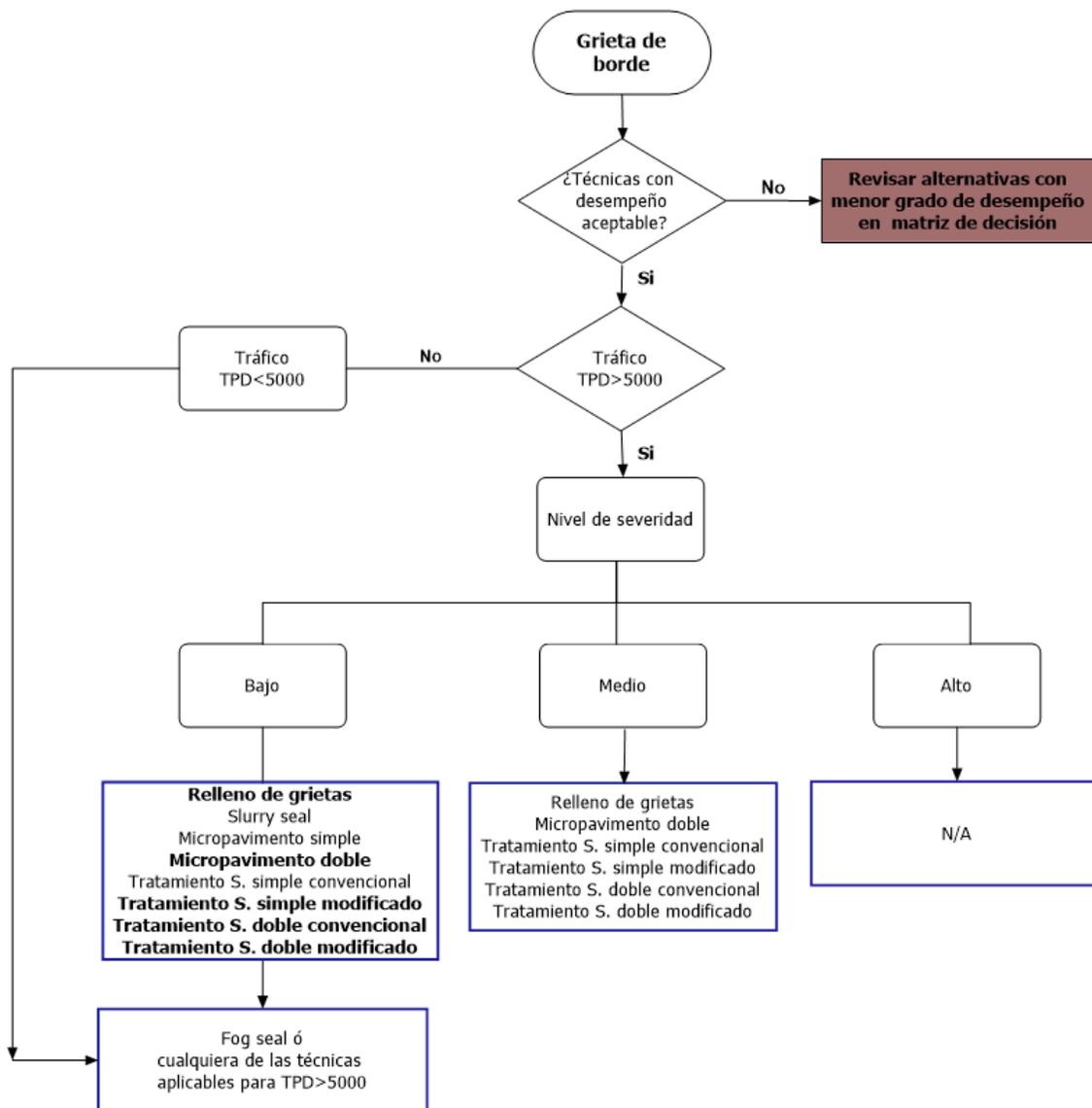


Figura 37. Flujograma de decisión para las grietas de borde

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Textura superficial

Pulimiento de agregados

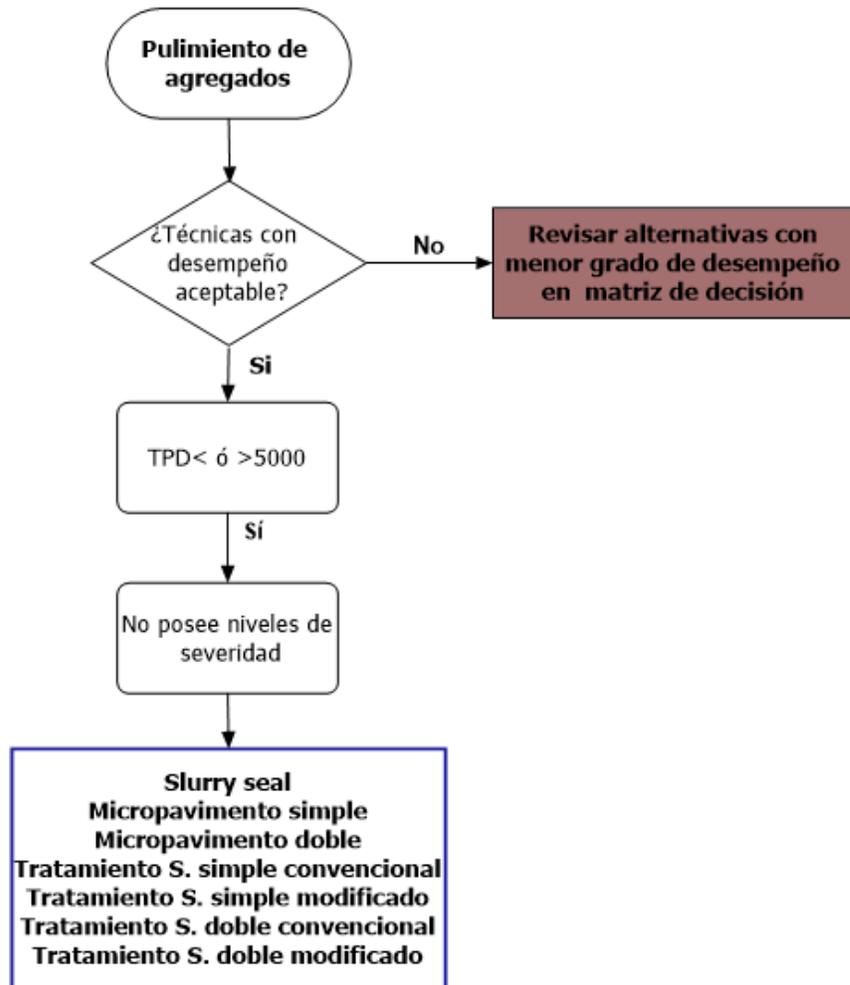


Figura 38. Flujograma de decisión para pulimiento de agregados

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Desprendimiento/desgaste superficial

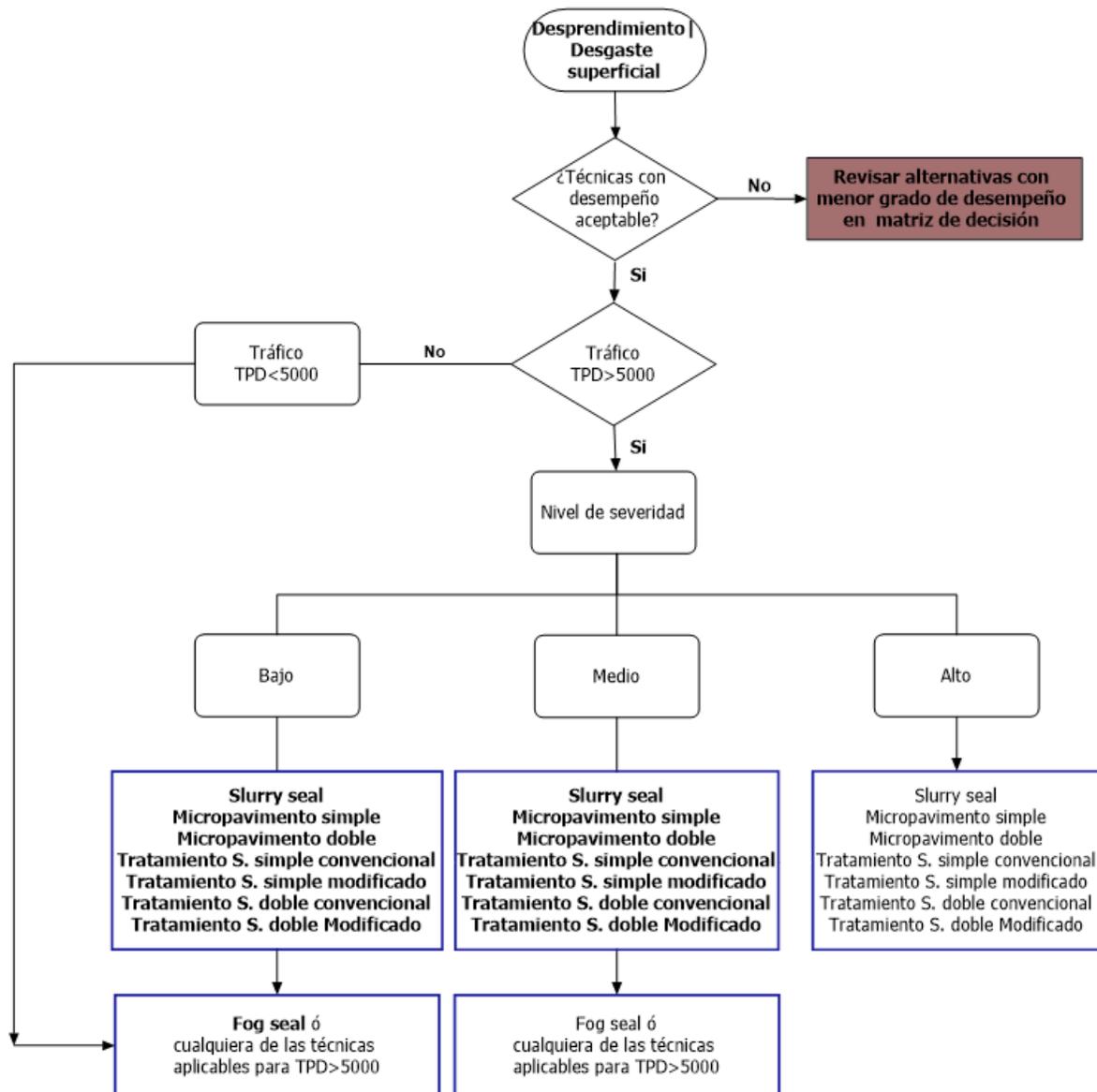


Figura 39. Flujograma de decisión para desprendimiento/desgaste superficial

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Deformaciones

Roderos/ahuellamiento

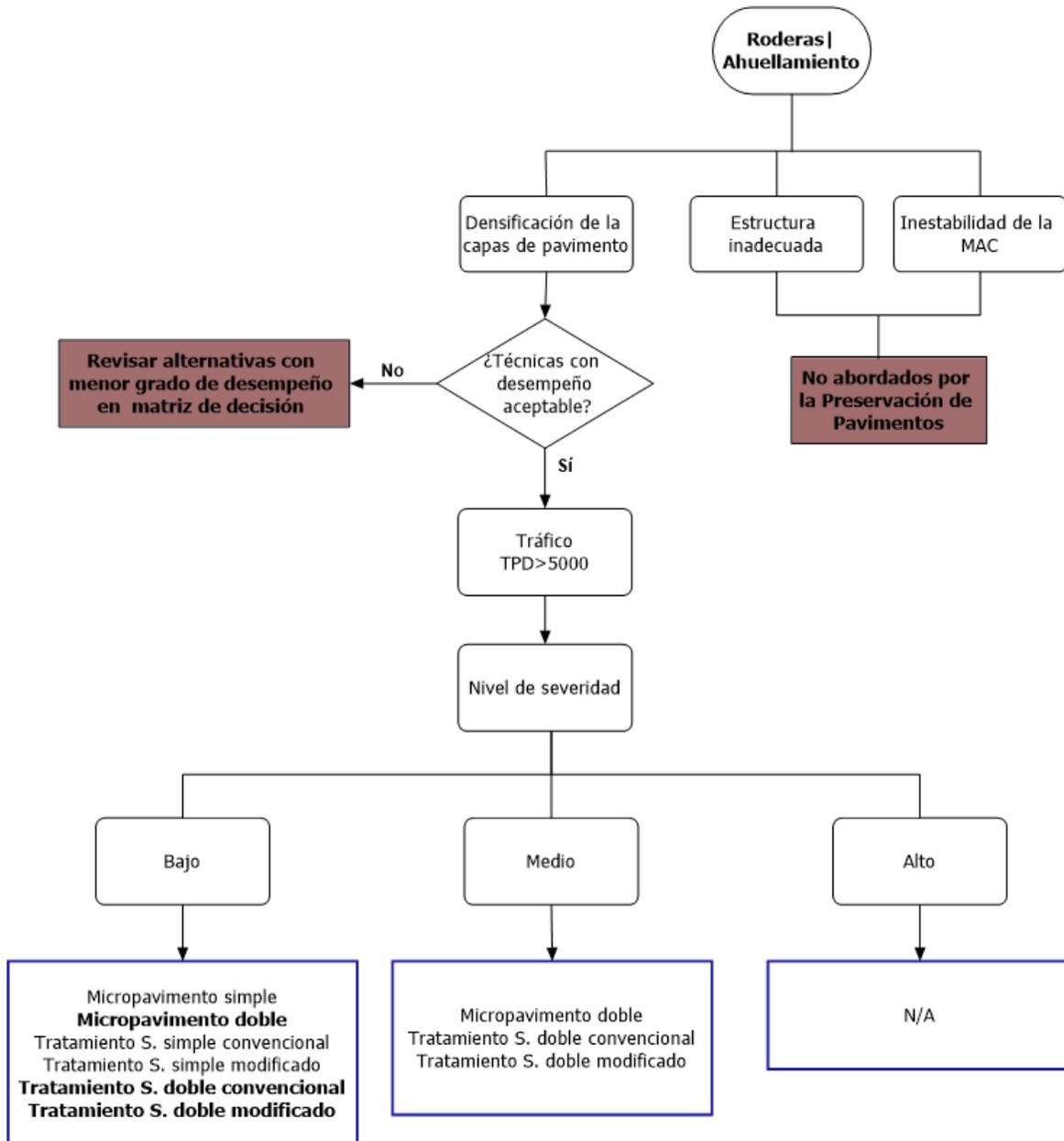


Figura 40. Flujograma de decisión para roderos/ahuellamiento

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Misceláneos

Baches

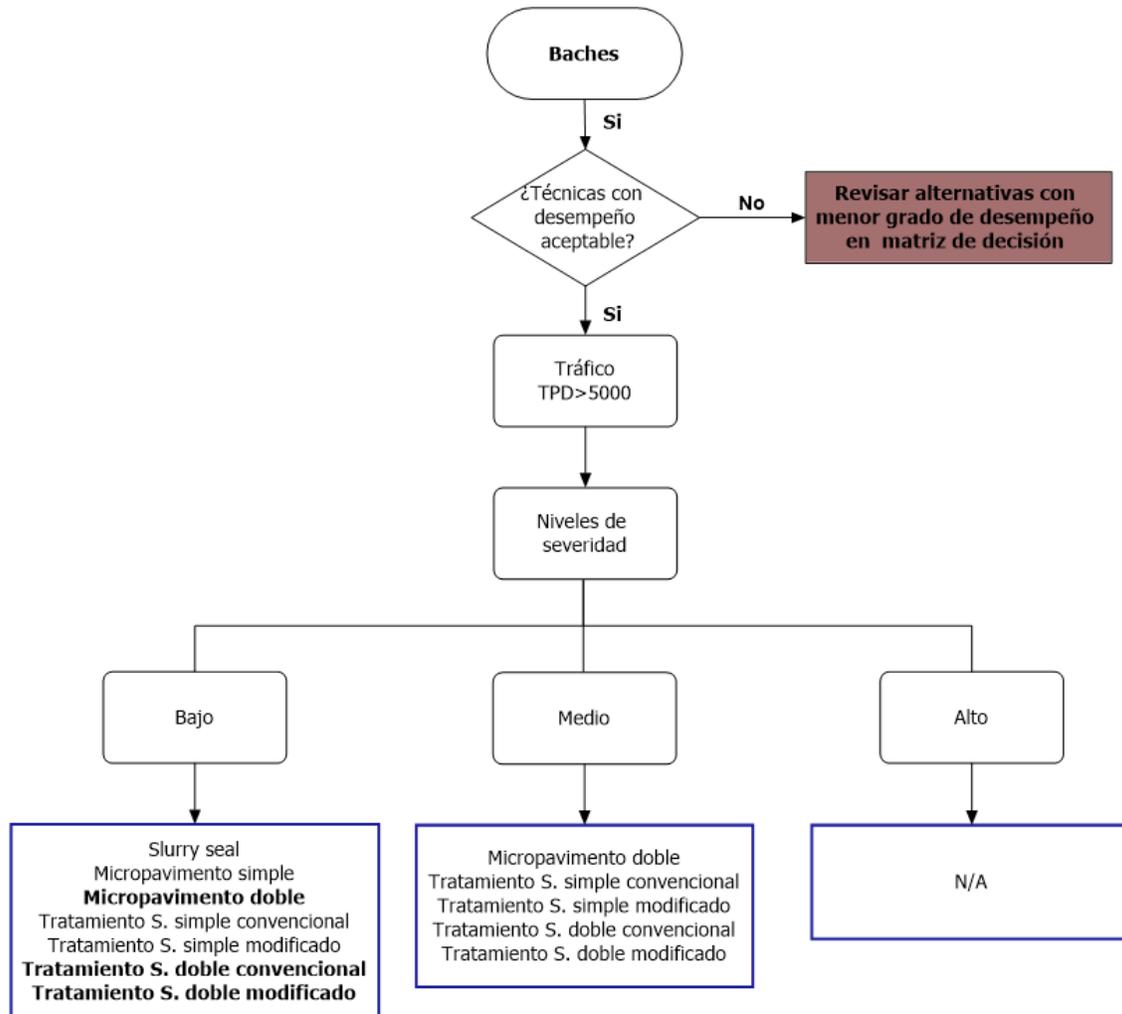


Figura 41. Flujograma de decisión para baches

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Flujogramas de decisión en pavimentos rígidos

Grietas

Agrietamiento lineal

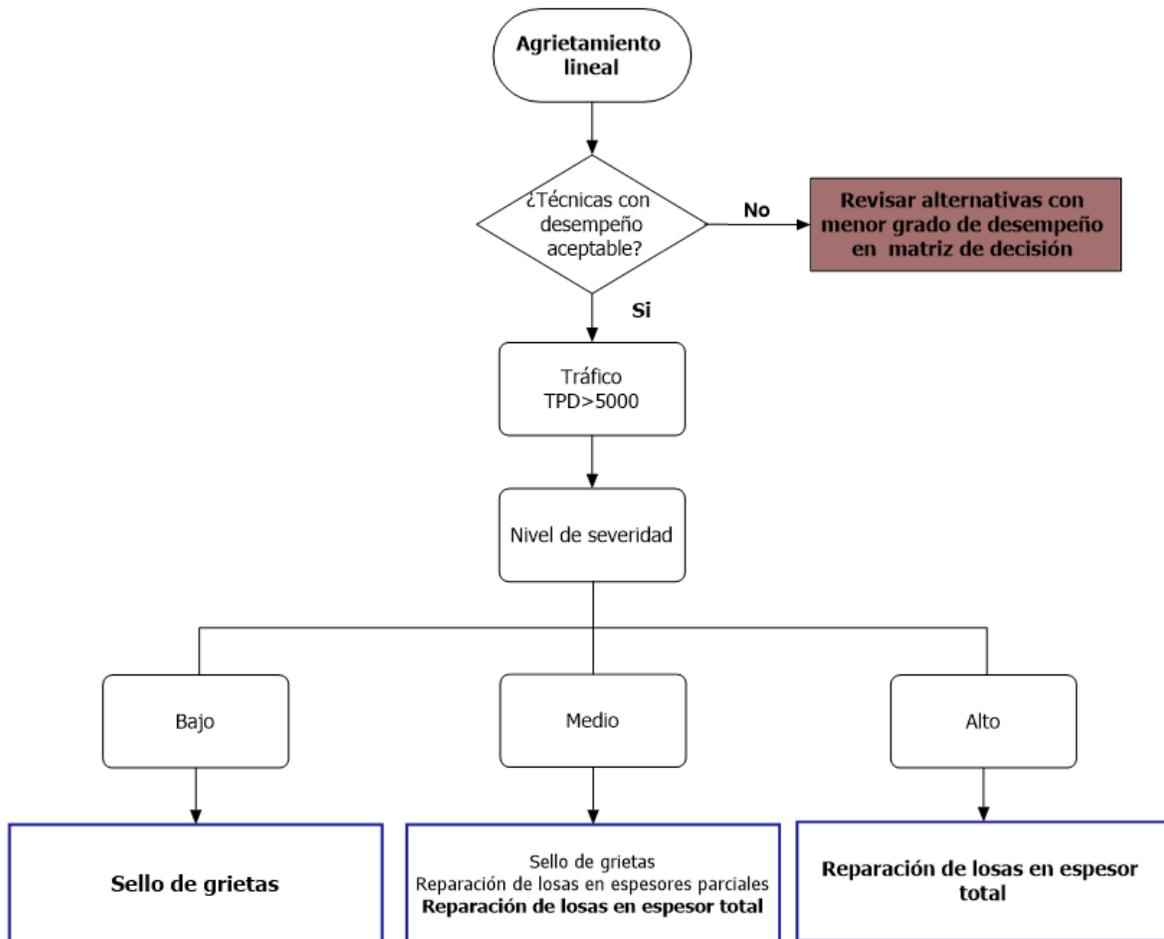


Figura 42. Flujograma de decisión del agrietamiento lineal

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Grietas de esquina

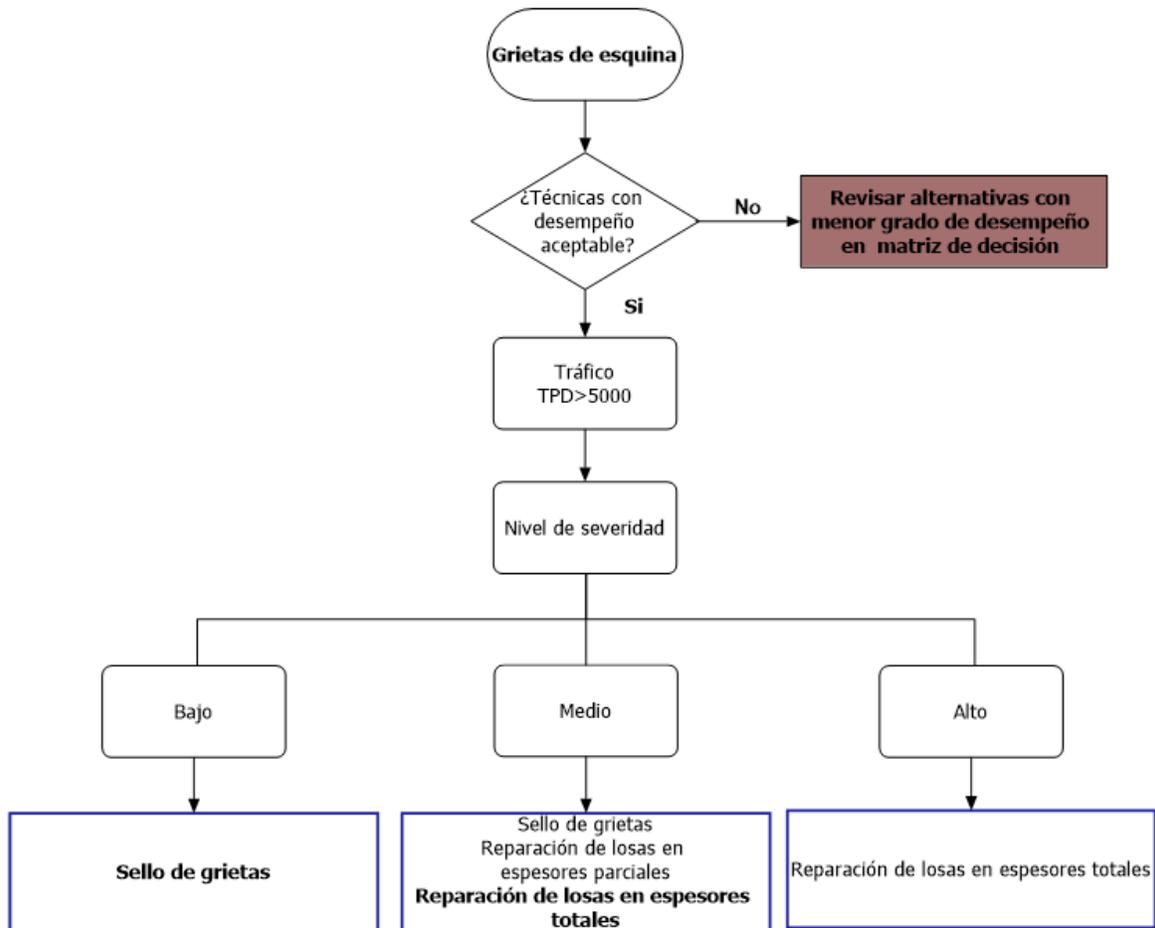


Figura 43. Flujograma de decisión de la grieta de esquina

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Grietas en malla o resquebrajadura

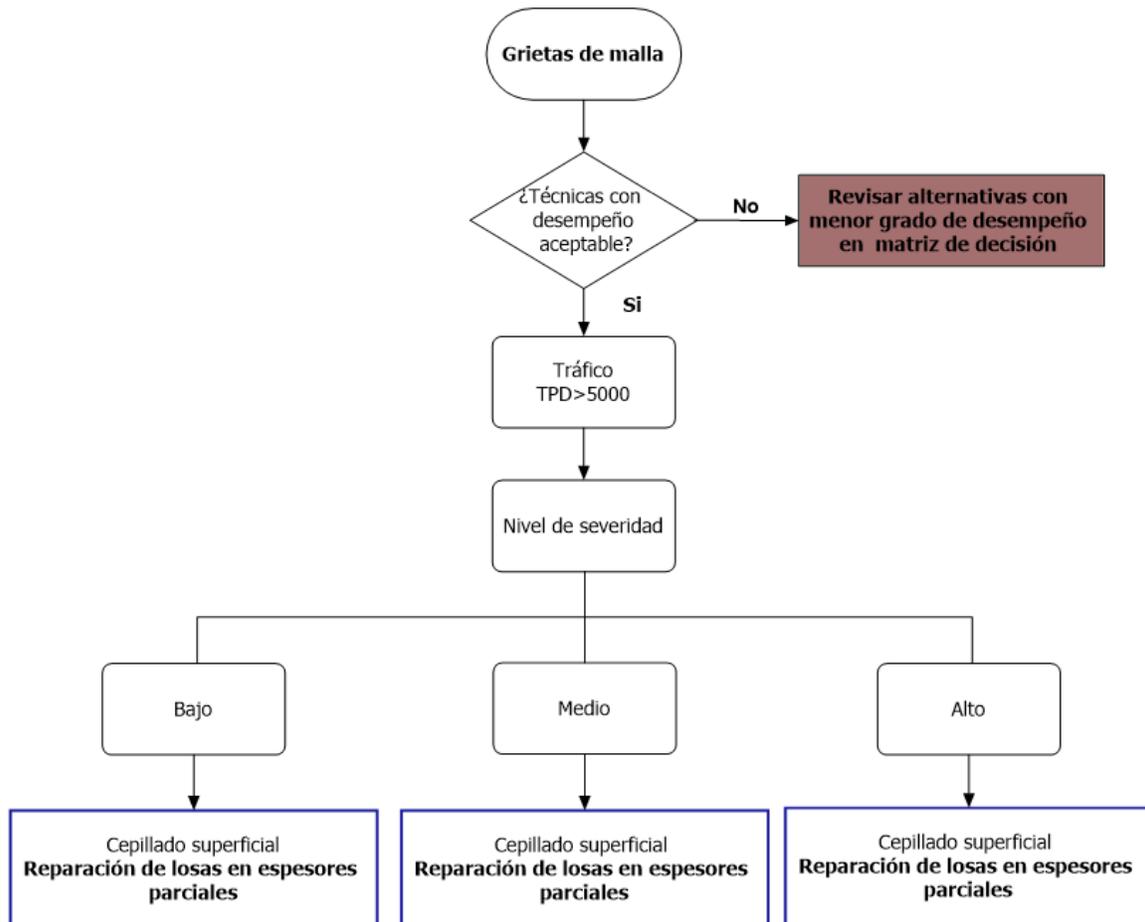


Figura 44. Flujograma de decisión de las grietas de malla

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Deterioro superficial

Pulimiento de agregados

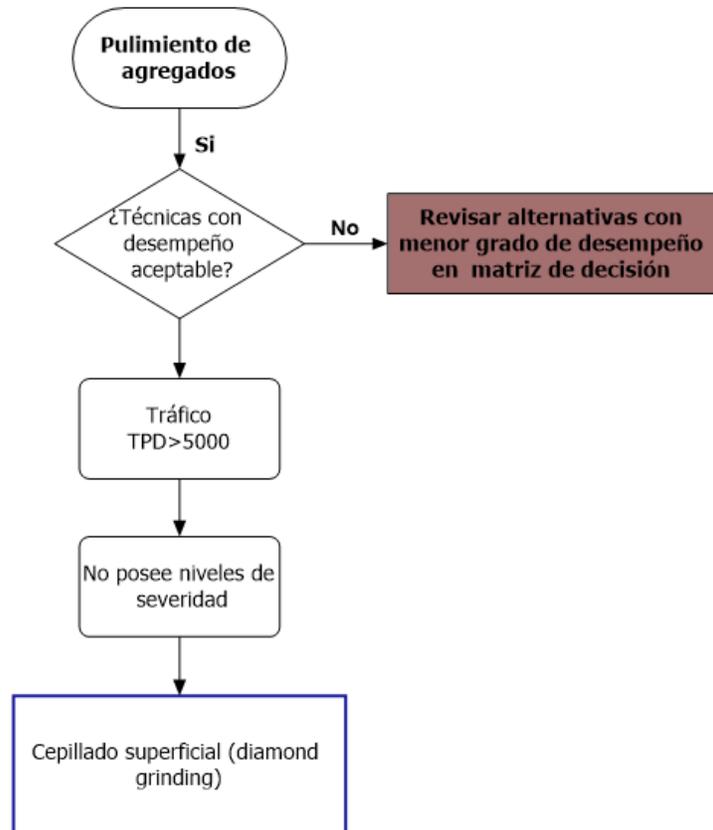


Figura 45. Flujograma de decisión del pulimiento de agregados

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

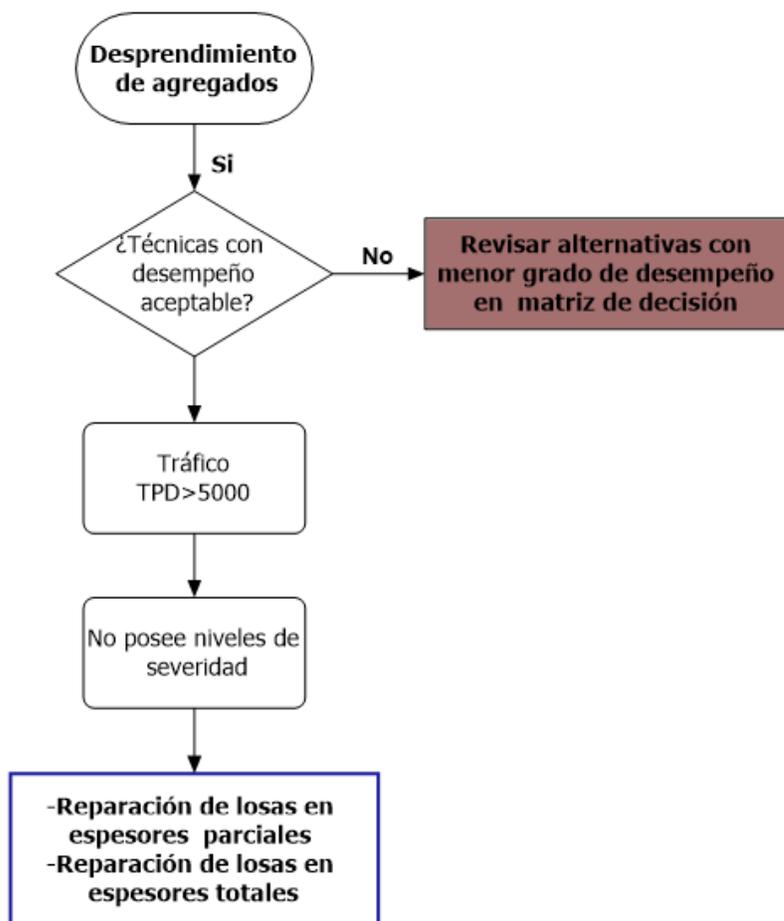
Desprendimiento de agregados

Figura 46. Flujograma de decisión del desprendimiento de agregados

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Juntas

Daño en el sello de juntas

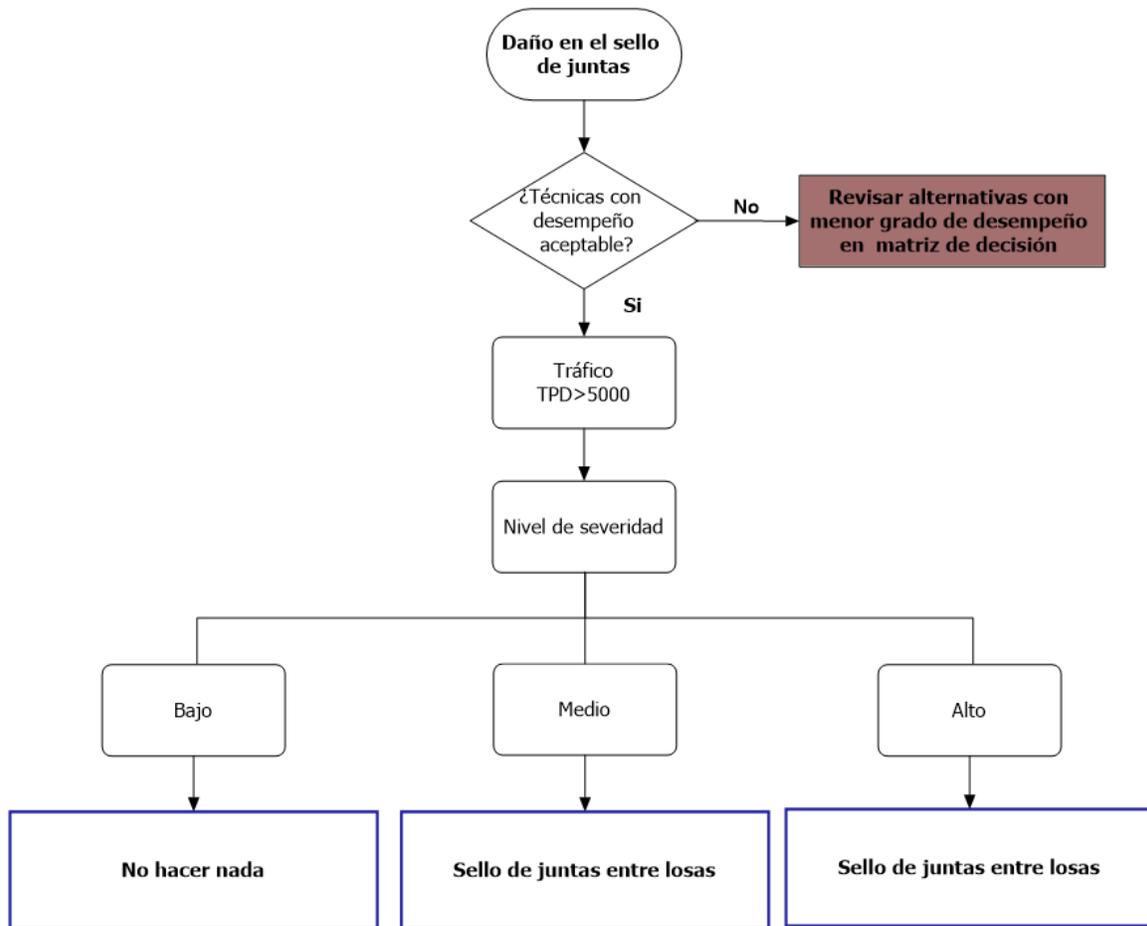


Figura 47. Flujograma de decisión de daño en el sello de juntas

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Fracturas de junta

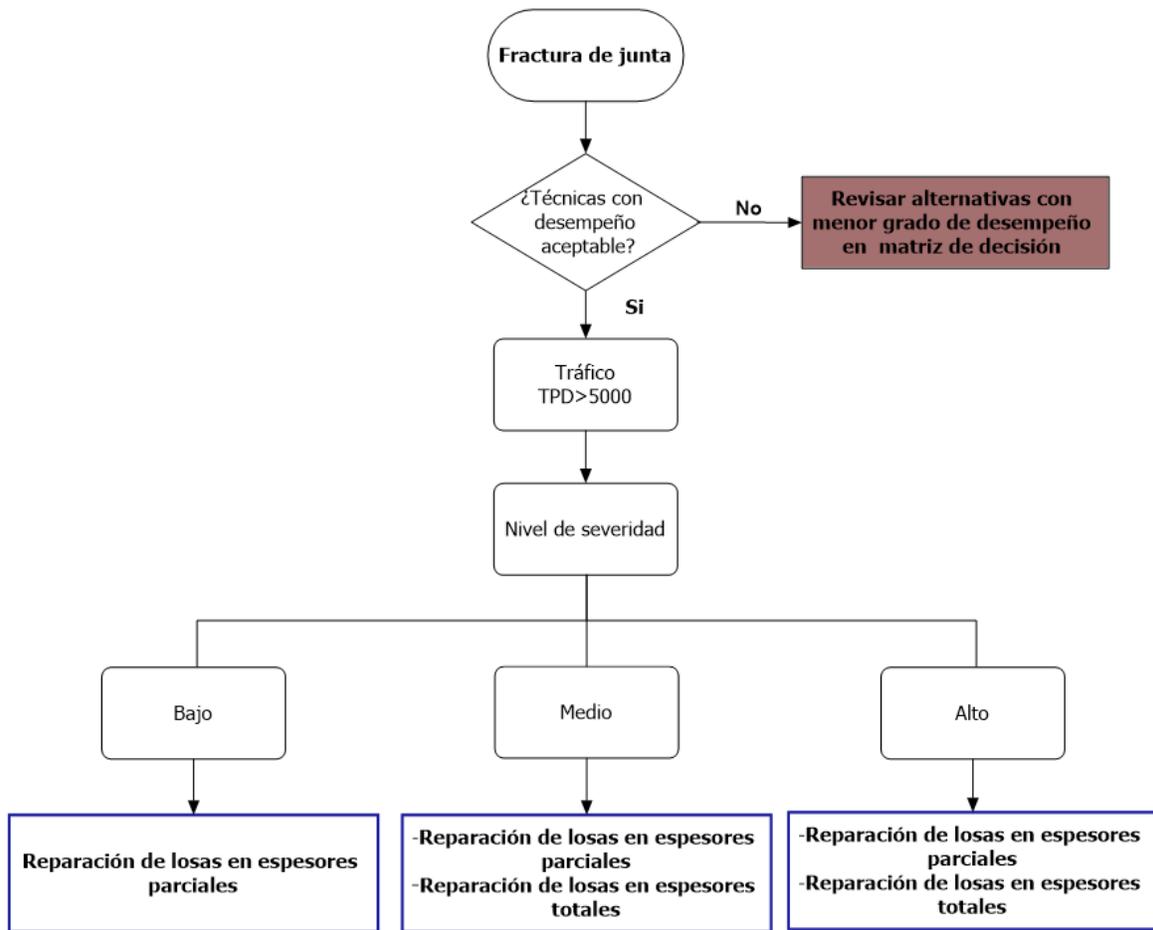


Figura 48. Flujograma de decisión de fractura de juntas

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Fracturas de esquina

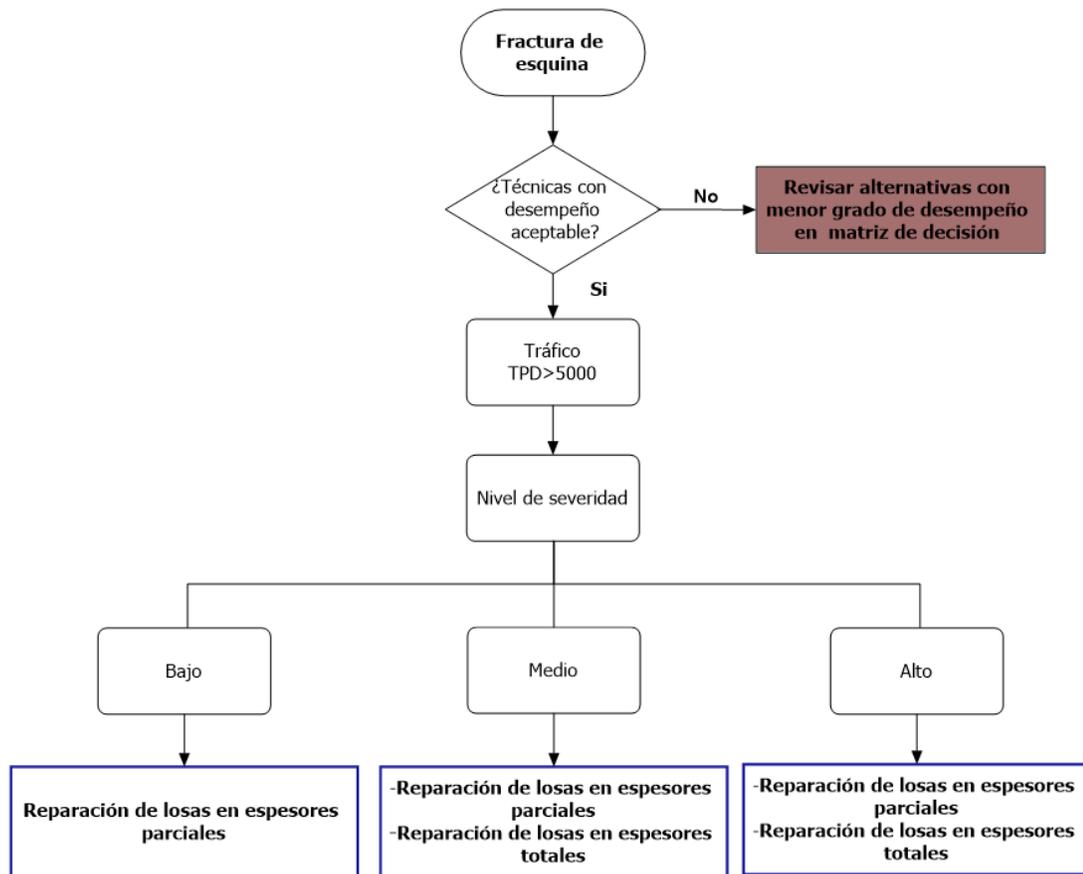


Figura 49. Flujograma de decisión de fractura de esquina

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

Misceláneos

Escalonamiento entre calzada y juntas

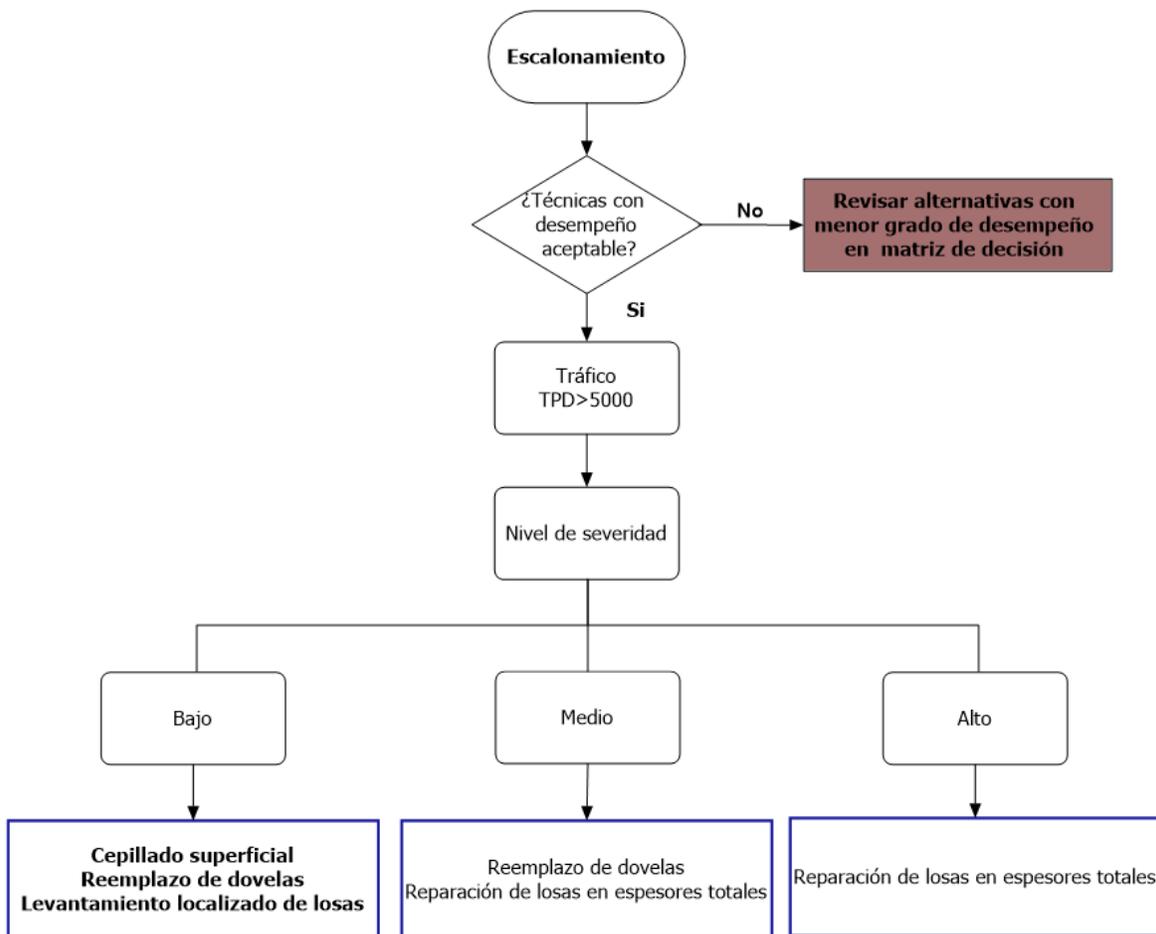


Figura 50. Flujograma de decisión de escalonamiento entre juntas

Nota:

- Abordaje de la preservación: restaura la integridad estructural/ funcionalidad

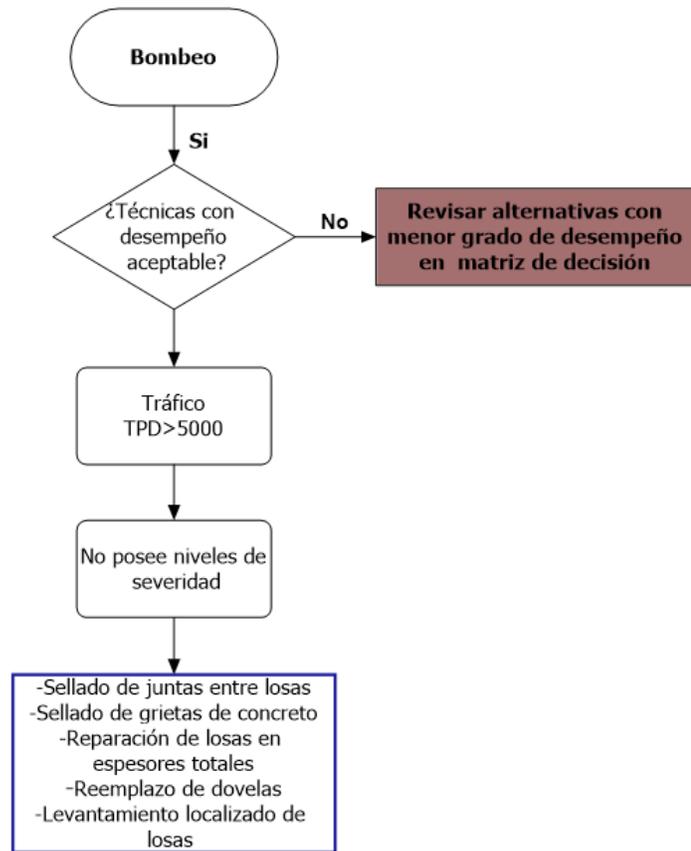
Bombeo

Figura 51. Flujograma de decisión de bombeo

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

Baches mayores y menores

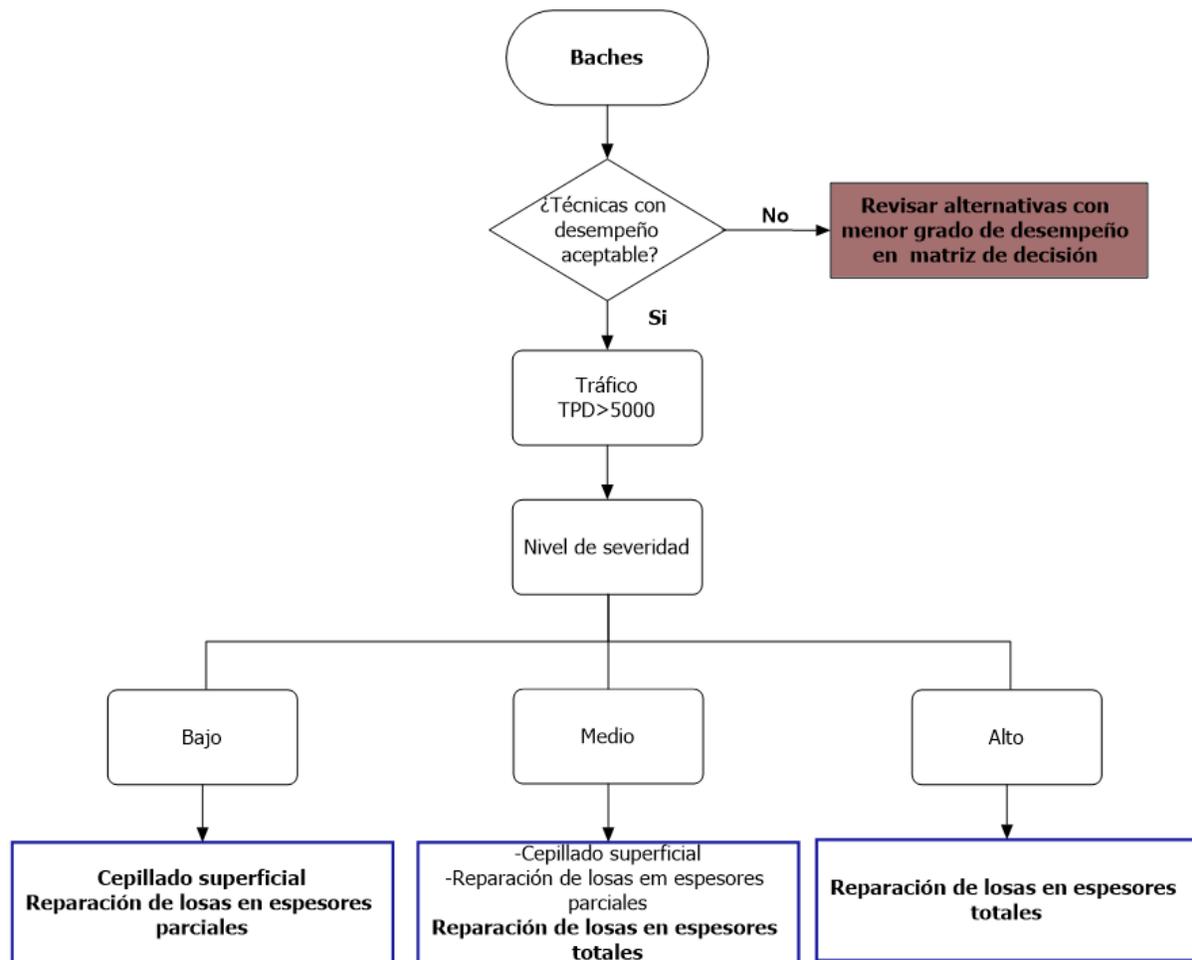


Figura 52. Flujograma de decisión de baches

Nota:

- Abordaje de la preservación: previene/desacelera el deterioro

3.3.1.3. Analizar las opciones de técnicas factibles

Es probable que se hayan identificado varias técnicas como factibles. Una vez que se hayan detectado, un aspecto fundamental para la definición de las técnicas finales es la evaluación de las necesidades de desempeño y las limitaciones del proyecto. Las necesidades de desempeño se refieren a examinar la capacidad de desempeño de las técnicas candidatas con respecto a un objetivo o requisito de desempeño establecido por la Administración (expectativa con respecto a la técnica).

El desempeño de una técnica o tratamiento se puede medir en términos de la vida útil de la técnica o en términos de la extensión de la vida útil generada al pavimento existente por su aplicación. En la sección 3.2 se muestran los resultados de referencia producto de la investigación realizada con respecto al desempeño esperado de las técnicas de preservación incluidas en el presente trabajo. Es importante mencionar que se pueden esperar variaciones en el desempeño cuando se aplican en pavimentos con una condición regular en lugar de satisfactoria o buena, además del impacto de los efectos climáticos. Un parámetro de selección fundamental es la efectividad esperada, es decir, se deberá dar prioridad a aquellas técnicas que tenga un desempeño aceptable (bueno).

Las técnicas de preservación candidatas también deben evaluarse para determinar su capacidad para satisfacer cualquier limitación específica. Las limitaciones potenciales incluyen las condiciones climáticas de la zona, los fondos disponibles para el proyecto, la restricción de duración de las actividades en la zona de trabajo, la geometría de las carreteras, la disponibilidad de contratistas experimentados, materiales de calidad, problemas de seguridad, edad del pavimento, deterioros críticos (solo si aplica) y los niveles de tráfico.

Las alternativas factibles pueden abarcar más de una técnica de preservación, es decir, se puede utilizar una combinación de técnicas. Dicha combinación puede ser necesaria para tratar los diferentes tipos de deterioro presentes en un proyecto en particular o como una técnica de preparación de la superficie previa con el propósito de optimizar la vida del tratamiento que será usado como superficie de rodadura. Con base en los resultados de la

evaluación del proyecto, el ingeniero vial deberá determinar las técnicas o la combinación de técnicas a ser consideradas como alternativas factibles finales de un pavimento. En términos generales, la lista de técnicas factibles se reducirá a un conjunto de técnicas finales factibles. Es decir, aquellas cuyo desempeño esperado satisfaga el nivel de desempeño requerido objetivo y mejor se adapte ante las principales limitaciones consideradas.

3.3.1.4. Comparación de técnicas de preservación finales

Una vez que se ha identificado un conjunto final de técnicas de preservación factibles finales, se debe realizar un análisis de costo-efectividad para determinar que tratamientos proporcionan el mayor retorno de beneficio. Este análisis puede realizarse utilizando técnicas tales como la de costo anual equivalente o la de relación costo-beneficio. La información adecuada sobre el costo unitario y el desempeño de las alternativas de tratamientos es fundamental para cada técnica de análisis.

El costo anual equivalente (EAC por sus siglas en inglés) es un enfoque de análisis simple en el que el costo unitario de la técnica se divide por el desempeño esperado de la misma (vida útil de la técnica o extensión de la vida útil del pavimento), según se muestra en la ecuación 1 a continuación:

$$EAC = \frac{\text{costo unitario de la técnica}}{\text{vida esperada de la técnica (años)}} \quad (1)$$

La relación costo-beneficio es un enfoque más detallado en el que el beneficio general (área bajo la curva de desempeño) se divide por el costo total del ciclo de vida. Los resultados del análisis de rentabilidad deben evaluarse en conjunto con otros factores económicos y no económicos para seleccionar la técnica de preservación preferida.

En el presente documento se propone emplear como medida de evaluación inicial el enfoque más simplificado, es decir, el de costo anual equivalente (EAC). Este enfoque es útil ya que es de fácil actualización, considerando que los costos y los precios de oferta reales de las técnicas de preservación fluctúan a través del tiempo (Hicks et al., 2000; Peshkin et al., 2011).

En este informe el costo unitario se consideró como el resultado de los valores de referencia establecidos en las secciones 3.2.1 para los pavimentos flexibles (precios unitarios de la experiencia de Honduras) y 3.2.2 para los pavimentos rígidos (precios unitarios experiencia estadounidense) y la vida esperada de la técnica corresponde al promedio de los años estipulados en la descripción de cada una de las técnicas de preservación, en las tablas denominadas "vida esperada del tratamiento" en las secciones 3.2.1 y 3.2.2.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos para el análisis de costo anual equivalente y la cantidad de años de extensión de vida útil que genera la aplicación de cada una de las técnicas de preservación de pavimentos flexibles y rígidos, los cuales se muestra en la Tabla 65 y Tabla 66. Las tablas mencionadas podrían servir como criterio de apoyo para la toma de decisiones.

Es importante destacar que esta etapa se utilizará para fines de comparación y criterio de decisión, únicamente para aquellos casos donde se tengan más de una técnica adecuada para abordar un mismo deterioro y nivel de severidad bajo un adecuado desempeño.

En casos donde se tengan deterioros de pavimentos abordados por diferentes técnicas, sin embargo, cada una tenga su propio propósito y efectividad, tal como el caso de los pavimentos rígidos, se usaría para fines informativos. Un claro ejemplo podría ser el deterioro de grieta lineal de severidad baja donde la técnica efectiva podría ser el sello de grietas comparado con otra técnica dentro del mismo listado de técnicas finales tal como la técnica de reparación de losas en espesor total. Si bien es cierto, ambas son capaces de abordar el mismo deterioro, el escenario no tendría lugar de comparación y únicamente la información se utilizaría como datos básicos de cada técnica.

Tabla 65. Análisis del Costo Anual Equivalente de las técnicas-pavimentos flexible

| Técnicas de preservación | Vida de la técnica | Costo | | EAC (costo/vida técnica) | Extensión de vida útil |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|
| | Promedio (años) | Unidad | Valor (\$/unidad) | \$/año | Rango (años) |
| Sello de grietas | 5 | \$/ml | 3.1 | 0.62 | 2-5 |
| Relleno de grietas | 3 | \$/ml | 2.3 | 0.77 | 0 |
| Slurry seal (tipo III) | 5 | \$/m ² | 2.91 | 0.58 | 4-5 |
| Micropavimento simple | 5 | \$/m ² | 3.22 | 0.64 | 3-5 |
| Micropavimento doble | 6 | \$/m ² | 4.7 | 0.78 | 4-6 |
| <i>Tratamiento superficial simple</i> | | | | | |
| Convencional | 6 | \$/m ² | 2.42 | 0.40 | 5-6 |
| Modificado (polímeros) | 7 | \$/m ² | 2.65 | 0.38 | 6-8 |
| <i>Tratamiento superficial doble</i> | | | | | |
| Convencional | 8 | \$/m ² | 3.99 | 0.50 | 8-10 |
| Modificado (polímeros) | 9 | \$/m ² | 4.41 | 0.49 | 9-11 |
| Fog seal | 2 | \$/m ² | 0.68 | 0.34 | 2-4 |

Tabla 66. Análisis del Costo Anual Equivalente de los técnicas-pavimentos rígidos

| Técnicas de preservación | Vida de la técnica | Costo | | EAC (costo/vida técnica) | Extensión de vida útil |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|
| | Promedio (años) | Unidad | Valor (\$/unidad) | \$/año | Rango (años) |
| Sellado de Juntas entre losas | 8 | \$/ml | 3.64 | 0.46 | 5-6 |
| Sellado de grietas de concreto | 6 | \$/ml | 4.55 | 0.76 | N/A |
| Diamond grinding (cepillado superficial) | 12 | \$/m ² | 3.00 | 0.25 | N/A |
| Reparación de losas en espesor parcial | 9 | \$/m ² | 323.00 | 35.89 | N/A |
| Reparación de losas en espesor total | 10 | \$/m ² | 93.75 | 9.38 | N/A |
| Reemplazo de dovelas | 15 | \$/unidad | 30.00 | 2.00 | N/A |
| Recalce o levantamiento localizado de losas | 8 | \$/m ² | 41.70 | 5.21 | N/A |

3.3.1.5. Selección de la técnica de preservación preferida

Según AASHTO (1993) no existe un método certero único para seleccionar la alternativa preferida para un proyecto dado. El proceso de selección requiere de un importante criterio ingenieril, creatividad y flexibilidad. Cada Administración debe desarrollar un procedimiento para seleccionar las soluciones preferidas para sus proyectos utilizando consideraciones tanto monetarias como no monetarias.

En esta etapa, se puede seleccionar la técnica que cumpla con los requisitos de desempeño y se adapte a las limitaciones con el EAC más bajo. Según Caltrans (2008) esta estrategia de selección puede ser una opción utilizada. Sin embargo, también se comenta que idealmente los resultados del análisis de rentabilidad deben evaluarse en conjunto, es decir, donde se incluyan factores económicos y varios factores no económicos. En relación con lo anterior, Peshkin et al (2011) propone que, para realizar una selección más racional de la técnica final, los factores económicos (rentabilidad) pueden combinarse con varios factores no económicos como los que se muestran en la Tabla 67.

Tabla 67. Posibles factores no económicos considerados para la toma de decisiones

| Atributos | Factores |
|--|---|
| Económicos | Costo inicial Rentabilidad (EAC o B/C) Costo de la Administración Costo del usuario |
| Construcción / materiales | Disponibilidad de contratistas calificados (debidamente equipados) Disponibilidad de materiales de calidad Conservación de materiales / consumo de energía Limitaciones climáticas |
| Satisfacción del usuario | Interrupción del tráfico Problemas de seguridad (fricción, hidroplaneo, reflectividad / visibilidad) Problemas de ruido y calidad de ruedo. |
| Preferencias o políticas de la agencia | Continuidad de aceras adyacentes Continuidad de carriles adyacentes Preferencia local |

Nota: Elaboración a partir de Peshkin et al. (2011)

Herramientas de evaluación multicriterio

Según el Departamento de Transporte y Carreteras Principales de Queensland en Australia (DTMR por sus siglas en inglés) (2020) las herramientas que permiten comparar alternativas son las de evaluación multicriterio (MCA por sus siglas en inglés). Su uso puede estar justificado, sin embargo, sus resultados no necesariamente tienen que ser el único insumo en el proceso de toma de decisiones. Este tipo de herramientas únicamente sirven de apoyo para la toma de decisiones. Hay varios métodos de MCA. El método que se describe a continuación, es un método de ponderación simple. Para obtener una guía detallada con respecto a la MCA, se debe hacer referencia a la literatura relevante y/o se debe buscar el asesoramiento de un especialista (DMTR,2020).

Cuando se utiliza el enfoque de MCA se desarrollan criterios de evaluación. Estos generalmente corresponden a criterios establecidos por la Administración. A cada criterio se le da una ponderación, en función de su importancia para influir en el resultado final:

- Se asigna un valor o peso a cada criterio de modo que el total de las ponderaciones sea igual a 1 (o al 100%).
- Cada opción recibe una puntuación, calificación o rango para cada uno de los criterios.
- Para cada opción de técnica factible, la ponderación o peso se multiplica por la puntuación, calificación o rango.
- Se determina la calificación total de cada opción.

Este tipo de herramientas son establecidas en la literatura por diferentes autores (Peshkin et al, 2011) y diferentes instituciones (AASHTO,1993; Caltrans, 2008; INVIAS, 2008 y DTMR, 2020) en sus respectivas Guías de Mantenimiento y Rehabilitación como una opción para llevar a cabo un proceso de decisión que incluya factores económicos y no económicos.

Según SHRP (2011) una matriz de decisión entre tratamientos es una excelente manera de evaluar racional y sistemáticamente los diferentes factores económicos y no económicos. Este tipo de herramientas le permite al analista ponderar la importancia de los diferentes

factores, puntuar las diferentes alternativas en cada factor y luego otorgar puntuaciones generales utilizando las ponderaciones y puntuaciones de los factores individuales.

En el presente documento se propone como herramienta de evaluación la matriz planteada por la Agencia de Transporte de California (Caltrans DOT) en el cual se consideran algunos atributos principales al momento de seleccionar las opciones prioritarias entre las técnicas finales factibles, los cuales se establecen en la Tabla 68.

Tabla 68. Factores considerados en la toma de decisión final

| Atributos | Factores |
|--------------------------|--|
| Desempeño | Vida esperada Efectos estacionales Efecto de la estructura del pavimento Efecto de la condición existente del pavimento |
| Constructibilidad | Análisis de rentabilidad (EAC) Disponibilidad de contratistas calificados Disponibilidad de materiales de calidad Limitaciones climáticas |
| Satisfacción del usuario | Interrupción del tráfico Generación de ruido Fricción superficial |

La Tabla 69 ilustra el formato de la matriz propuesta con cada uno de los atributos y factores mencionados anteriormente y, además, se comenta cada uno de los componentes mencionados.

A partir de la Tabla 69, se observa que cuenta con tres atributos donde a cada uno de estos se les asignará un porcentaje de atributo, el cual representará el impacto en la decisión de la técnica. La suma de estos porcentajes deberá ser igual a 1 (o al 100%).

El peso de cada factor consiste en asignar un valor de peso a cada uno de los factores incluidos en cada atributo y este representará la importancia de cada uno para el éxito de una técnica en específico; cuanto más alta sea el valor, más significativo será el impacto del factor en el desempeño de la técnica. La suma de los valores de peso de los factores incluidos en cada atributo deberá ser igual al % del atributo asignado, mientras la suma del total de factores debe ser igual a 1 (o al 100%).

Cada uno de estos factores se propone calificarlos en una escala del 1 al 5. El ingeniero vial o el supervisor debe asignar las calificaciones en función de su experiencia individual. Las calificaciones se basan en el desempeño de cada tratamiento ante los diferentes factores incluidos para los atributos. Donde: 1= Calificación más baja (menor desempeño) y 5 la calificación más alta (mejor desempeño).

Tabla 69. Formato de matriz de decisión de técnicas finales

| Factores considerados | Peso del factor (%) (1) | Puntuación de las técnicas (2) | | Calificación total (1)x(2) | |
|---|-------------------------|---------------------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| | | Técnica 1 | Técnica 2 | Técnica 1 | Técnica 2 |
| Atributos de desempeño (% atributo) | | | | | |
| Vida esperada | | | | | |
| Efectos estacionales | | | | | |
| Efecto de la estructura del pavimento | | | | | |
| Efecto de la condición existente del pavimento | | | | | |
| Atributos de constructibilidad (% atributo) | | | | | |
| Análisis de rentabilidad (EAC) | | | | | |
| Disponibilidad de contratistas calificados | | | | | |
| Disponibilidad de materiales de calidad | | | | | |
| Limitaciones climáticas | | | | | |
| Atributos de satisfacción del usuario (% atributo) | | | | | |
| Interrupción del tráfico | | | | | |
| Generación de ruido | | | | | |
| Fricción superficial | | | | | |
| Total | | Calificación total por técnica | | | |
| Ranking según calificación obtenida | | | | | |

Nota: elaboración a partir del autor (Caltrans,2008)

Para cada alternativa de preservación final, el peso de cada factor se multiplica por la calificación dada y, por ende, se deriva la calificación total para cada técnica. La alternativa con la calificación total más alta se seleccionaría como la técnica más eficaz. Haciendo uso del conjunto de datos anteriores como entrada también se puede generar un ranking y comparación entre estas técnicas finales. **Se debe hacer hincapié que cada Administración debe determinar el EAC, la efectividad de las técnicas, la vida esperada para cada una y la ponderación de los atributos y factores, dado que variarán según las condiciones locales.**

Es importante mencionar que el componente denominado como "matriz de decisión de técnicas finales" de esta última etapa no siempre será aplicable en los pavimentos rígidos, ya que es probable que se tengan diferentes técnicas finales, pero que cada una tenga su propio propósito, según se explicó en la sección anterior. Por ende, es probable que en lugar de contrastar las múltiples técnicas a través de la matriz, únicamente se decida utilizar todas las opciones, cada una para abordar deterioros específicos. En el caso de los pavimentos rígidos la matriz mencionada tendría lugar para contrastar entre dos o más técnicas finales que tengan la capacidad de abordar el mismo deterioro bajo un buen desempeño.

Capítulo 4. Aplicación de la guía de gestión en proyectos viales

La información de este capítulo, corresponde a la aplicación de la guía de gestión de pavimentos generada en esta investigación en cuatro tramos viales, dos tramos cantonales y dos tramos en rutas que forman parte de la Red Vial Nacional del país. Los tramos fueron seleccionados en conjunto con la profesora guía de la presente investigación. La longitud de los tramos evaluados fue de 600 m. para los tramos cantonales y tramos de mayor longitud para las rutas nacionales. Las actividades a ejecutar en cada tramo consisten en trabajos de campo y de gabinete para el levantamiento de deterioros presentes en cada tramo y el análisis de la información obtenida, necesaria para la selección de las técnicas de preservación óptimas acorde a la condición existente. La metodología empleada para esta sección consistió en los siguientes pasos:

4.1. Selección de los tramos de estudio

Para este proceso se consideró relevante la selección de tramos de ambos tipos de pavimentos, es decir, tanto de pavimentos flexibles como pavimentos rígidos. Basado en el propósito de la presente guía se estableció como relevante el hecho de incluir en el análisis tramos en una condición superficial buena, óptimos a ser sometidos a las estrategias de intervención y tramos en condición deteriorada para poner en perspectiva ambos escenarios y principalmente la aplicabilidad de la guía en ambos casos.

Los tramos seleccionados se muestran a continuación a través de la Tabla 70. Para fines prácticos a través de esta sección se denominarán por el Id asignado.

Tabla 70. Listado de tramos considerados en el estudio

| Id del tramo evaluado | Provincia | Clasificación de la ruta | Longitud evaluada (km.) | Ubicación |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 1F - Flexible | Guanacaste | Primaria | 6.00 | Ruta Nacional 18 |
| 2F - Flexible | San José | Cantonal | 0.60 | San Pedro |
| 3R - Rígido | Guanacaste | Primaria | 3.80 | Ruta Nacional 1 |
| 4R - Rígido | San José | Cantonal | 0.60 | Curridabat |

4.2. Aplicación de proceso de decisión de técnicas de preservación

Una vez seleccionados los tramos se procedió a la aplicación del proceso de decisión de técnicas de preservación de pavimentos a través de diagrama propuesto en la Figura 32 y la sección 3.3.1 del capítulo anterior. Cabe mencionar que la actividad de auscultación visual para los tramos 2F y 4R se realizó mediante un levantamiento de deterioros manual, mientras que para los tramos 1F y 3R se realizó a través de un levantamiento de deterioros semiautomatizado haciendo uso de los equipos de auscultación de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN) del LanammeUCR.

A continuación, se detallarán los pasos que componen el procedimiento propuesto en el presente documento para cada uno de los tramos considerados.

4.2.1. Tramo 1F. Ruta Nacional 18, sección 51110. Guanacaste

Evaluación de las condiciones existentes

Visita de campo y descripción del tramo de estudio: para este caso en específico no se llevó a cabo la visita de campo al sitio de estudio. La información con respecto a su ubicación, geometría, entre otros fue facilitada por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR. El tramo vial consiste en un subtramo con una longitud de 6 km de la Ruta Nacional 18, específicamente en la sección de control 51110 definida el límite cantonal entre Cañas y Abangares y el Rio Tempisque (Puente la Amistad) ubicada en el cantón de Cañas, distrito de Porozal en la provincia de Guanacaste y forma parte de la Red Vial Nacional del país bajo la jerarquía de una vía primaria según se muestra en la Figura 53.

Esta vía tiene un ancho total de 7 m, cuenta con dos carriles de circulación (uno por sentido). Según datos del Anuario Información de Tránsito del MOPT 2019 esta vía tiene un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 3848 con base en registros del año 2015 (Estación 0), destacando un % de camiones pesados cercano al 17%. A continuación, se presenta el mapa de ubicación del tramo de estudio.

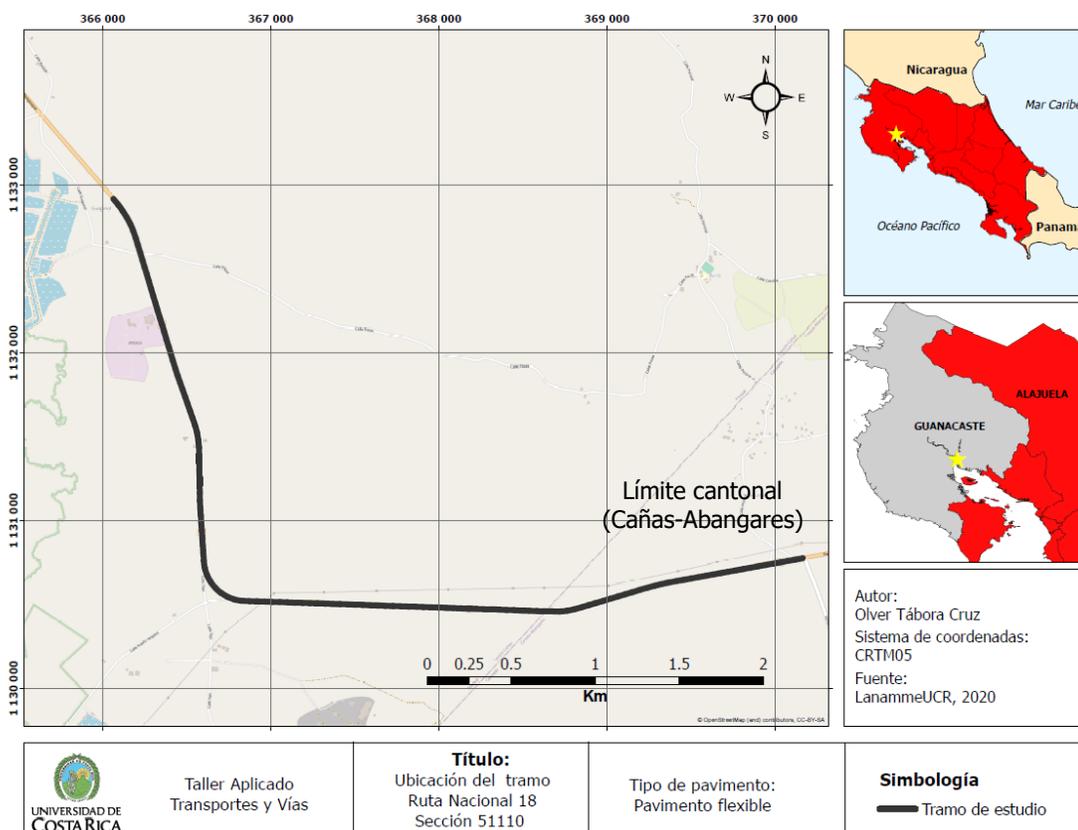


Figura 53. Mapa de localización y ubicación de tramo 1F-Flexible

Auscultación visual: el levantamiento de los deterioros del tramo mencionado se realizó en el mes de julio del año 2020 y cabe destacar que fue facilitado por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR. Sin embargo, se realizó la revisión y análisis de los datos recopilados. El levantamiento de la información se realizó de manera semiautomatizada a través del equipo de auscultación Geo 3D y parte de trabajo de gabinete para la caracterización de los deterioros. Se detectó la presencia de los deterioros mostrados en la Tabla 71. La identificación, determinación del nivel de severidad y extensión se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en el MAV-2016.

Tabla 71. Deterioros identificados en el tramo 1F

| Deterioro No. ⁽¹⁾ | Deterioro |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Cuero de lagarto |
| 2 | Grieta longitudinal-transversal |
| 5 | Grietas de borde |
| 15 | Desprendimiento de agregados |
| 18 | Baches |

⁽¹⁾ La numeración de los deterioros corresponde a la mostrada en el MAV-2016.

La distribución y cantidad total presente por tipo de deterioro se muestra a continuación a través de la Figura 54. Cabe destacar que se observa que los deterioros más frecuentes son agrietamiento longitudinal y transversal, cuero de lagarto, grietas de borde y en menor medida deterioros tales como el desprendimiento de agregados y baches en diferentes niveles de severidad.

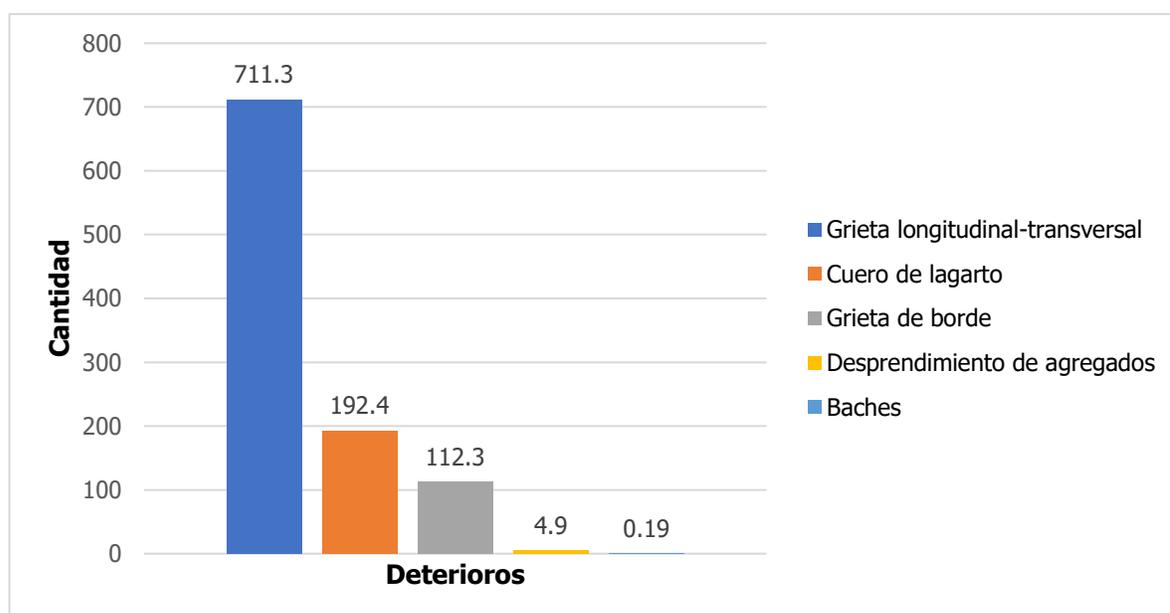


Figura 54. Cantidad de deterioros total en tramo 1F

A continuación, en la Figura 55 se muestran la cantidad de deterioros por cada nivel de severidad. Se destaca que en toda la longitud evaluada se encuentra una mayor frecuencia de deterioros de severidad baja relacionados con agrietamientos producto de los efectos climáticos, defectos constructivos tales como el agrietamiento longitudinal y transversal en mayor medida, grietas de borde y algunos relacionados con las cargas de tráfico tales como el cuero de lagarto con una menor frecuencia.

Los deterioros de severidad media se encontraron con menor frecuencia en el tramo evaluado. Sin embargo, predomina el agrietamiento longitudinal y transversal en una menor cantidad, seguido de cuero de lagarto y grietas de borde.

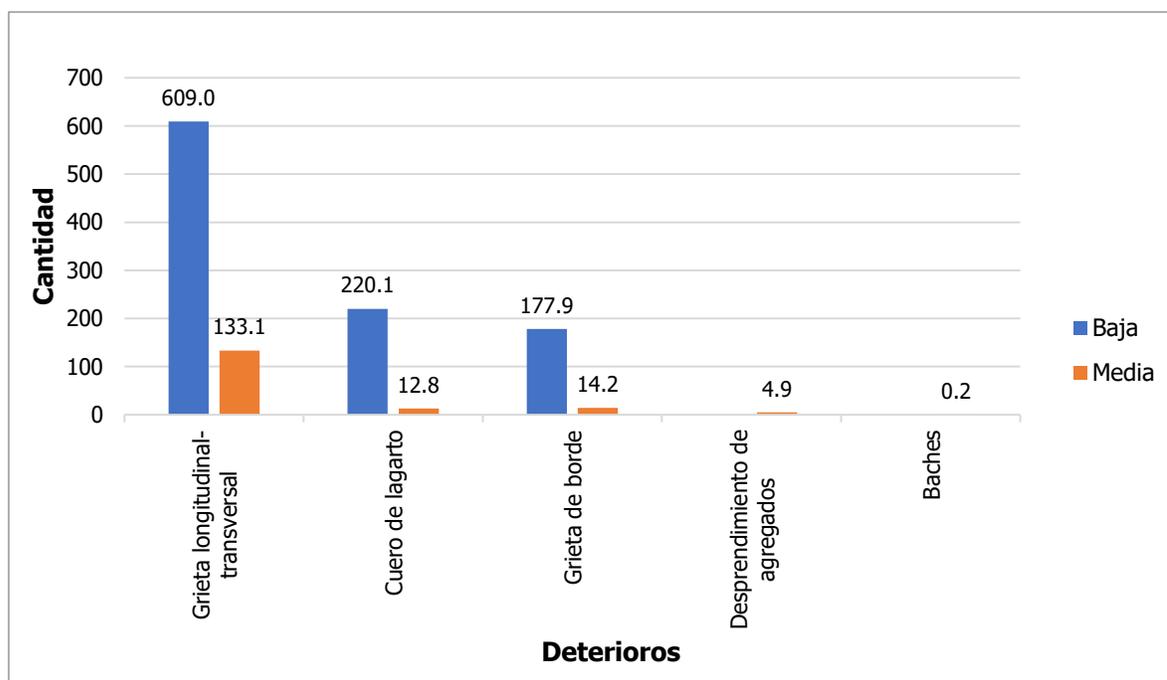


Figura 55. Cantidad de deterioros por nivel de severidad en tramo 1F

Cálculo del índice de condición de pavimento (PCI): De la misma manera que con los deterioros, es importante mencionar que la información relacionada con el PCI de este tramo fue facilitada por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR. Sin embargo, se llevó a cabo una revisión de la información proporcionada y se verificó el cumplimiento de la metodología establecida en el MAV-2016 para las diferentes unidades de muestreo (U.M).

Cabe mencionar que según la metodología el número mínimo de U.M correspondía a 14 U.M, sin embargo, el cálculo se realizó en base a 23 U.M con el propósito de aprovechar la información brindada y a la vez realizar una evaluación de la condición general de tramo más completa. Los resultados del levantamiento de campo y cálculos de este indicador para las 23 unidades de muestra se pueden consultar en soportes mostrados en el Anexo I. Los valores específicos de PCI y la respectiva calificación para cada tramo se muestran a continuación en la Tabla 72.

Tabla 72. Valores de PCI de las unidades de muestreo del tramo 1F

| Unidad de Muestra (U.M) | Valor de PCI | Calificación PCI |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 99.0 | Bueno |
| 2 | 68.0 | Malo |
| 3 | 96.0 | Bueno |
| 4 | 80.0 | Satisfactorio |
| 5 | 78.0 | Satisfactorio |
| 6 | 75.0 | Satisfactorio |
| 7 | 51.0 | Pobre |
| 8 | 77.0 | Satisfactorio |
| 9 | 70.0 | Malo |
| 10 | 74.0 | Satisfactorio |
| 11 | 68.0 | Malo |
| 12 | 100.0 | Bueno |
| 13 | 94.0 | Bueno |
| 14 | 94.0 | Bueno |
| 15 | 78.0 | Satisfactorio |
| 16 | 68.0 | Malo |
| 17 | 100.0 | Bueno |
| 18 | 91.0 | Bueno |
| 19 | 65.0 | Malo |
| 20 | 88.0 | Bueno |
| 21 | 90.0 | Bueno |
| 22 | 71.0 | Satisfactorio |
| 23 | 67.0 | Malo |
| PCI Promedio | 80 | Satisfactoria |

A partir de los deterioros encontrados y cálculo del PCI de cada unidad de muestreo se obtiene un valor promedio de PCI del tramo de 80, por lo tanto, el estado del pavimento se califica como satisfactorio.

Con base en los datos de PCI de cada una de las unidades de muestreo se llevó a cabo un análisis con las frecuencias de los valores representados en la Tabla 72 en cada una de las calificaciones de pavimentos establecidas en la metodología. La frecuencia de cada calificación corresponde al porcentaje de unidades de muestreo en cada condición con respecto al total de unidades evaluadas. Los resultados se muestran en la Figura 56.

Los resultados anteriores muestran que alrededor del 70% de las U.M evaluadas están clasificadas bajo una condición buena y satisfactoria, el 26% se encuentra bajo una

condición mala, sin embargo, los valores de PCI se encuentran en el límite superior de dicho rango, es decir cercanos a 71 según se observa en la Figura 57, donde se muestra la distribución espacial de cada uno de los datos correspondientes al indicador mencionado. La condición pobre está representada por un 4%, la cual corresponde a la U.M siete donde se detectaron deterioros tales como cuero de lagarto en severidades bajas y el 100% de este mismo deterioro en severidad media.

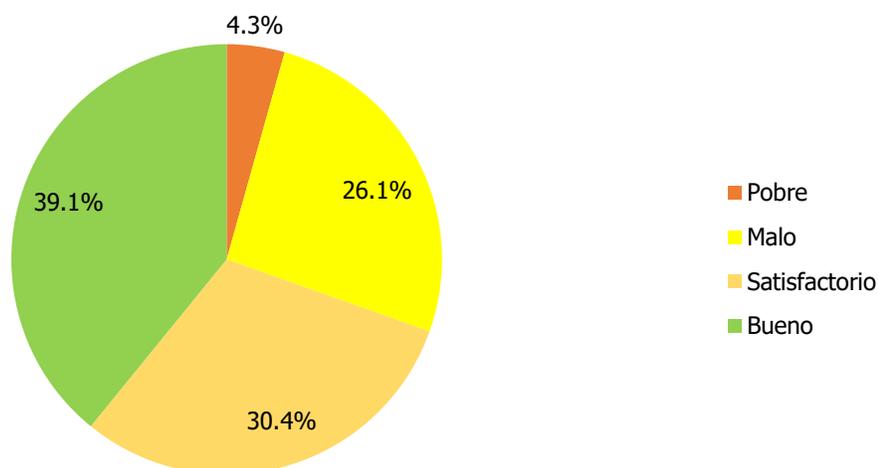


Figura 56. Distribución de calificación de PCI del tramo de estudio

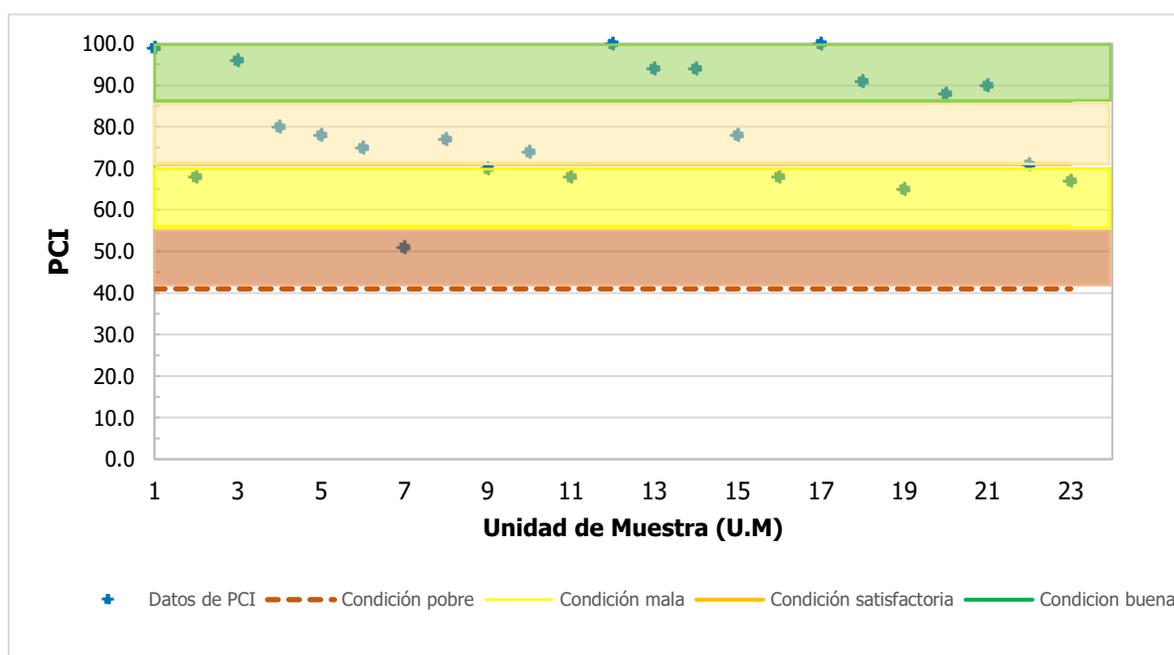


Figura 57. Distribución espacial de los valores de PCI del tramo de estudio

Se elaboró el mapa por medio del sistema de información geográfica que representa la integridad estructural y superficial general de las unidades de muestreo correspondientes al tramo evaluado, según se aprecia en la Figura 58.

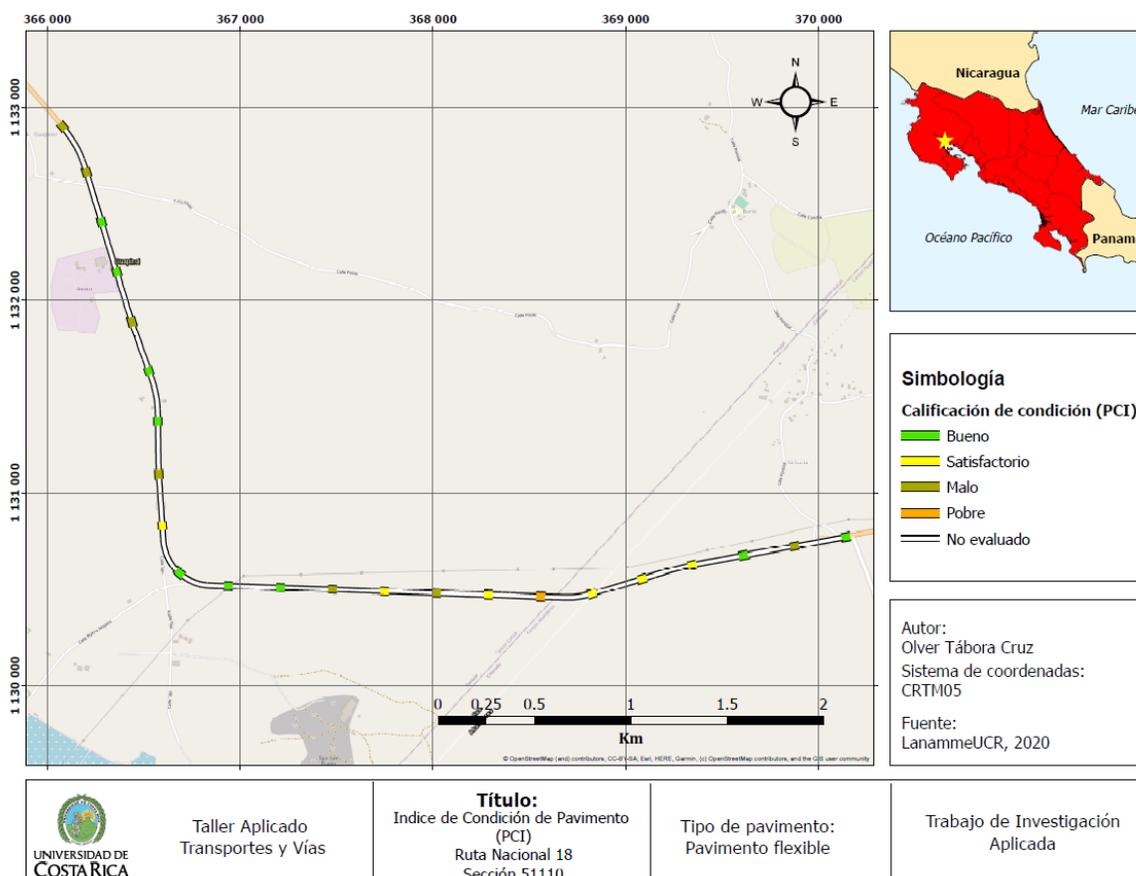


Figura 58. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 1f

Condición funcional, estructural y seguridad del tramo: en el último Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica (ERVN,2018-2019) se muestran los resultados de la capacidad funcional y estructural y de seguridad de la Ruta Nacional 18 a través de la medición de un conjunto de indicadores. Considerando el informe mencionado, se comentarán los resultados obtenidos con respecto a estos indicadores:

Capacidad estructural: la capacidad estructural se evaluó a través de ensayos de medición de deflexiones haciendo uso del deflectómetro de impacto (FWD). Los resultados muestran que el tramo cuenta con deflexiones bajas de acuerdo al TPD de la vía ($<7.65 \text{ mm} \times 10^{-3}$).

En términos generales, el informe muestra que el tramo cuenta con una adecuada capacidad estructural.

Capacidad funcional: se evaluó a través de ensayos de medición regularidad superficial a través de las pruebas de IRI. Los resultados mostraron que el tramo presenta resultados en el rango de regular, es decir, el tramo presentó un valor en el rango entre 1.9-3.6 m/km. Con respecto a lo anterior, el informe concluye que el tramo cuenta con una capacidad funcional regular.

Seguridad: se evaluó a través de ensayos de medición resistencia al deslizamiento a través de la prueba de agarre haciendo uso del equipo Griptestter. Los resultados mostraron que el tramo presenta valores de agarre o GN en el rango de 0.60-0.78. En términos generales, el tramo cuenta con una condición niveles de agarre bueno (poco deslizante).

El informe califica el tramo con una nota de calidad entre Q1 y Q3, lo cual representa que el tramo requiere de mantenimiento de preservación, con énfasis en mantener la buena condición funcional de la superficie.

Análisis de la información recopilada e indicadores

A continuación, se comenta con respecto a los resultados de la evaluación de la condición existente para determinar la aplicabilidad de la preservación de pavimentos.

Deterioros individuales existentes: con base en los resultados, se observa una frecuencia considerable de deterioros no relacionados con las cargas repetidas de tránsito, los cuales consisten principalmente en agrietamientos de severidad baja y deterioros relacionados con las cargas tal como el agrietamiento por fatiga en severidades bajas en algunas U.M y de severidad media en solamente una U.M según se comentó anteriormente. El tipo de deterioros presentes y los niveles de severidad presentes en la mayoría del tramo es un indicador de que este tramo puede ser abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos.

Indice de condición de pavimento (PCI): los resultados de este indicador determinan la condición general del pavimento evaluado. El resultado obtenido consistió en un PCI promedio de 80, lo cual representa que el tramo evaluado es calificado bajo una adecuada condición, lo cual también se evidenció a través del análisis de las unidades de muestreo.

A partir del valor de PCI se establece que el tramo evaluado es abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos ya que dicho valor está dentro del rango establecido como ventana de oportunidad en la matriz de decisión para la mayoría de las técnicas de preservación incluidas en el presente informe. Según el resultado de PCI obtenido y las prácticas de gestión encontradas en la literatura haciendo uso de este indicador, el tramo en cuestión requiere estrategias de preservación de pavimentos tal como las técnicas de mantenimiento preventivo.

Capacidad funcional, estructural y de seguridad: con base en los resultados anteriores, el tramo cuenta con adecuada capacidad estructural, regular condición funcional y una condición aceptable en términos de agarre superficial o resistencia al deslizamiento. Con base en estos indicadores, el tramo es un candidato a ser sometido a la preservación de pavimentos.

En términos generales, con base en la información recopilada, se establece que el tramo **es un candidato para la preservación de pavimentos.**

Determinar las opciones de técnicas factibles

Una vez que se ha cuantificado la condición del pavimento se procederá a identificar la lista de las técnicas factibles basados en los deterioros y su nivel de severidad. Es decir, se determinará qué técnicas podrían funcionar para la condición del pavimento a través de las herramientas decisión tales como las matrices de decisión de la Tabla 62 y los flujogramas de decisión que se muestran entre la Figura 33 a la Figura 41. A continuación, se muestran los deterioros identificados y las posibles técnicas de preservación capaces de tratarlos. Con base en la matriz y flujogramas de decisión se determina que las siguientes técnicas tienen un desempeño aceptable (bueno o regular) para tratar los deterioros identificados:

Tabla 73. Identificación de técnicas de preservación factibles en tramo 1F

| Deterioro | | Técnicas de preservación | |
|---------------------------------|-----------|--|--|
| | | Desempeño | |
| Tipo | Severidad | Bueno | Regular |
| Cuero de lagarto | Baja | T.S doble modificado | Micropavimento simple Micropavimento doble T.S simple convencional T.S simple modificado T.S doble convencional |
| | Media | | T.S doble modificado |
| Grieta longitudinal-transversal | Baja | Sello y relleno de grietas Micropavimento doble T.S simple modificado T.S doble convencional T.S doble modificado | Slurry seal (tipo III) Micropavimento simple T.S simple convencional |
| | Media | T.S doble modificado | Sello y relleno de grietas Micropavimento doble T.S simple convencional T.S simple modificado T.S doble convencional |
| Grietas de borde | Baja | Sello y relleno de grietas Micropavimento doble T.S simple modificado T.S doble convencional T.S doble modificado | Slurry seal (tipo III) Micropavimento simple T.S simple convencional |
| | Media | T.S doble modificado | Sello y relleno de grietas Micropavimento doble T.S simple convencional T.S simple modificado T.S doble convencional |
| Desprendimiento de agregados | Baja | Slurry seal (tipo III) Micropavimento simple Micropavimento doble T.S convencional T.S simple modificado T.S doble convencional T.S doble modificado Fog seal | |
| Baches | Baja | Micropavimento doble T.S doble convencional T.S doble modificado | Slurry seal (tipo III) Micropavimento simple T.S simple convencional T.S simple modificado |

Analizar las opciones de técnicas factibles

Para esta etapa se considerarán una serie de supuestos relacionados con las expectativas de la administración con respecto a la técnica a seleccionar y que servirían como argumentos para el análisis de los tratamientos o técnicas factibles.

- La Administración tiene planificado realizar alguna forma de preservación en el año 2022 y espera realizar una rehabilitación más significativa en el marco de tiempo comprendido entre el año 2027- 2029.
- El financiamiento para las actividades de preservación está disponible en gran medida, sin embargo, se requiere una alternativa funcional y rentable. Si la preservación se considera apropiada, el objetivo de la Administración es que la técnica seleccionada funcione adecuadamente durante al menos 7 años.
- La administración no percibe restricciones con respecto a la disponibilidad de contratistas. Sin embargo, se conoce que los contratistas locales no tienen experiencia ni equipos disponibles para algunas técnicas que se encuentran en el mercado.

Una vez definidos los supuestos anteriores se procederá a evaluar las técnicas de preservación factibles identificadas en el paso anterior para seleccionar las técnicas que mejor se adapten a las necesidades de desempeño de la administración.

Con respecto a las técnicas identificadas en la Tabla 73, se destaca que las técnicas apropiadas para la mayoría de los tipos de deterioros existentes, nivel de severidad, extensión y que tienen el mejor desempeño incluyen los siguientes:

- Micropavimento doble
- T.S simple modificado
- T.S doble convencional
- T.S doble modificado

Las técnicas de preservación candidatas también se evaluarán para determinar su capacidad para satisfacer cualquier limitación específica. Las limitaciones potenciales incluyen el desempeño esperado en términos de vida útil esperada, fondos disponibles para el proyecto, la disponibilidad de contratistas experimentados, materiales de calidad, capacidad de abordar deterioros críticos tal como el cuero de lagarto y otros deterioros con niveles de severidad media, niveles de tráfico. Estas variables se analizarán a través de la Tabla 74. donde se determinará su nivel de cumplimiento con los requerimientos establecidos. Se seleccionarán aquellas técnicas que cumplan o se adapten de mejor manera a la mayor

cantidad de limitaciones propias del proyecto. Un insumo fundamental para llevar a cabo este análisis es el catálogo de técnicas de preservación de la sección 3.2, donde se establecen los criterios de aplicabilidad de cada una de las técnicas de preservación.

Tabla 74. Análisis de técnicas de preservación factibles en tramo 1F

| Técnica de preservación | Variables consideradas | | | | | |
|-------------------------|------------------------|-----------|---------|---------------------|------------|--------------|
| | Desempeño esperado | Vida útil | Tráfico | Deterioros críticos | Materiales | Contratistas |
| Micropavimento doble | ✓ | x | ✓ | x | ✓ | x |
| T. S simple modificado | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| T. S doble convencional | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| T. S doble modificado | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

*Nota: ✓ Cumple | X No cumple

A partir de los resultados de este análisis, se destaca que las técnicas de preservación que tienen un mejor cumplimiento con los requerimientos del proyecto y necesidades de la administración y que, por tanto, serán consideradas como las técnicas finales son:

- Tratamiento superficial simple convencional
- Tratamiento superficial doble convencional
- Tratamiento superficial doble modificado.

Comparación de técnicas de preservación finales

Una vez definidas las técnicas finales se procederá a realizar un análisis de costo-efectividad para determinar que tratamientos proporcionan el mayor retorno de beneficio. Este análisis se realizará a través del método de costo anual equivalente. Los valores para cada técnica se muestran en la Tabla 65. A partir de dicha tabla se muestra a continuación la comparación del análisis gráficamente en la Figura 59. Según se observa en la figura mencionada el tratamiento superficial simple modificado tiene el mejor resultado con respecto al análisis de costo- efectividad.

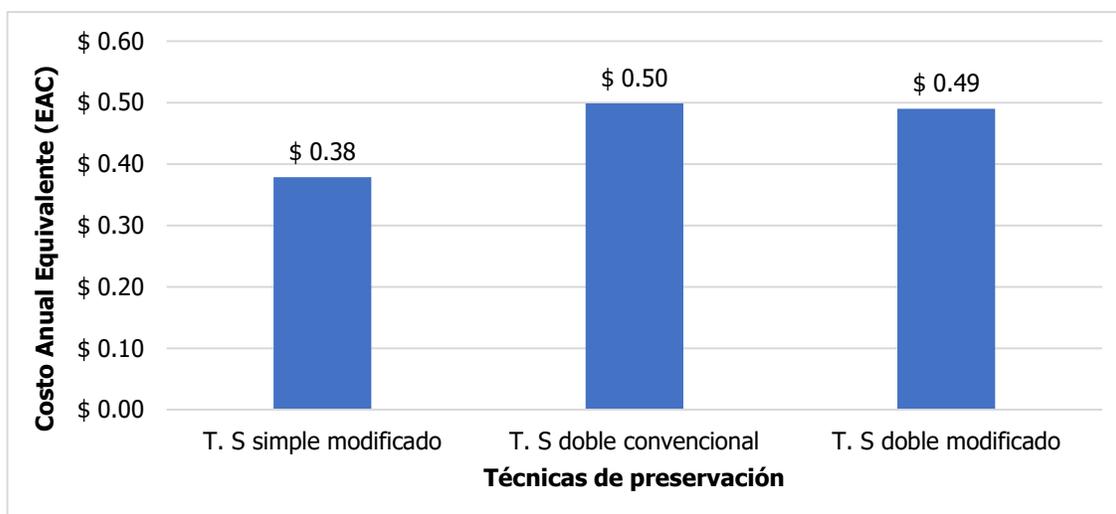


Figura 59. Costo anual equivalente de las técnicas de preservación finales (tramo 1F)

Selección de la técnica de preservación preferida

En esta etapa, se podría considerar que se tienen argumentos para seleccionar el tratamiento que cumpla con los requisitos de desempeño y se adapte a las limitaciones con el EAC más bajo. Sin embargo, se hará uso de la matriz de decisión de técnicas finales bajo el formato que se muestra en la Tabla 69 para realizar una selección más racional de la técnica final, donde se consideren no solo los factores económicos, sino que también se tomen en cuenta otros factores no económicos como los que se mencionan en la Tabla 68.

A partir del análisis mostrado en la Tabla 75 la alternativa con la calificación total más alta corresponde a la técnica de tratamiento superficial doble modificada, la cual se seleccionaría como la técnica más eficaz. Haciendo uso del conjunto de datos anteriores se generó un ranking de las técnicas finales donde las técnicas en orden ascendente serían el tratamiento superficial doble modificado, tratamiento superficial simple modificado y tratamiento superficial doble convencional.

Se debe hacer hincapié que cada Administración debe determinar el EAC, la efectividad de los tratamientos de mantenimiento, la vida esperada para cada tratamiento y la ponderación de los atributos y factores, dado que variarán según las condiciones locales.

Técnica de preservación final seleccionada: Tratamiento superficial doble modificado

Tabla 75. Análisis de decisión entre las técnicas de preservación finales en tramo 1F

| Factores considerados | Peso del factor ⁽¹⁾ (%) (1) | Puntuación de técnicas ⁽²⁾ (2) | | | Calificación total (1)x(2) | | |
|--|--|---|------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| | | T.S simple modificado | T.S doble convencional | T.S doble modificado | T.S simple modificado | T.S doble convencional | T.S doble modificado |
| Atributos de desempeño (35%) | | | | | | | |
| Vida esperada | 15% | 3 | 4 | 5 | 0.45 | 0.6 | 0.75 |
| Efectos estacionales | 10% | 4 | 4 | 5 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| Efecto de la estructura del pavimento | 5% | 5 | 5 | 5 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Efecto de la condición existente del pavimento | 5% | 2 | 3 | 4 | 0.1 | 0.15 | 0.2 |
| Atributos de constructibilidad (30%) | | | | | | | |
| Análisis de rentabilidad (EAC) | 10% | 5 | 3 | 4 | 0.5 | 0.3 | 0.4 |
| Disponibilidad de contratistas calificados | 5% | 5 | 5 | 5 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Disponibilidad de materiales de calidad | 10% | 3 | 4 | 3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 |
| Limitaciones climáticas | 5% | 4 | 3 | 4 | 0.2 | 0.15 | 0.2 |
| Atributos de satisfacción del usuario (35%) | | | | | | | |
| Interrupción del tráfico | 20% | 4 | 3 | 3 | 0.8 | 0.6 | 0.6 |
| Generación de ruido | 5% | 2 | 4 | 4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| Fricción superficial | 10% | 5 | 5 | 5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Total | 100% | Calificación total por técnica | | | 3.85 | 3.8 | 4.15 |
| Ranking según calificación obtenida | | | | | 2 | 3 | 1 |

Puntuaciones: 1= Calificación más baja (menor desempeño) y 5 la calificación más alta (mejor desempeño).

Notas:

- (1) El Peso del factor: Importancia de cada uno para el éxito de un tratamiento, los utilizados son correspondientes a un estudio de Caltrans (2008).
- (2) Puntuaciones brindadas a criterio del autor, depende cada caso específico y experiencia en el uso de las técnicas.

Consideraciones generales del tramo evaluado

- Con base en las buenas prácticas establecidas y siguiendo las recomendaciones establecidas en la sección 3.2.1 para optimizar el desempeño de las técnicas de preservación se recomienda llevar a cabo la reparación de las áreas deterioradas con cuero de lagarto de severidad media con las técnicas que correspondan antes de la aplicación de la técnica definitiva seleccionada.
- Llevar a cabo el estricto cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas para la ejecución de las actividades durante el proceso constructivo.

4.2.2. Tramo 2F. Calle Siles- San Pedro, Montes de Oca

Evaluación de las condiciones existentes

Visita de campo y descripción del tramo de estudio: Se llevó a cabo la visita de campo a los sitios contemplados para obtener información con respecto a su ubicación, geometría, entre otros y principalmente para conocer el entorno del sitio del proyecto en aras de facilitar el proceso de auscultación visual. El tramo vial consiste en la calle siles ubicada en el distrito de San Pedro y forma parte de la red vial del cantón de Montes de Oca. Esta vía tiene un ancho total de 7.50 m, cuenta con dos carriles de circulación (uno por sentido). Según el informe LM-PI-GM-08-2011 de la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR cuenta con un TPD de 12,719 con base en datos de conteos manuales realizados en el año 2011 (LanammeUCR,2011). A continuación, en la Figura 60 se presenta el mapa de ubicación del tramo evaluado.

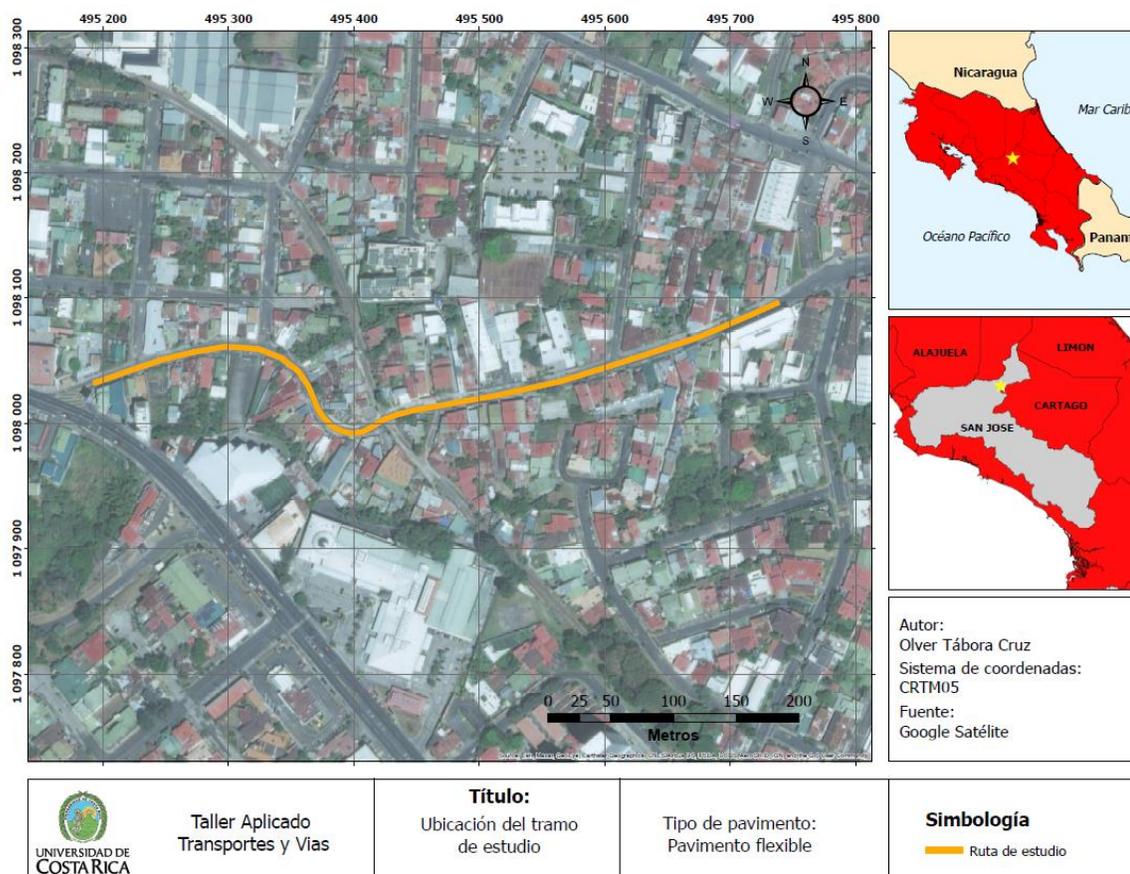


Figura 60. Mapa de localización y ubicación del pavimento 2F-Flexible

Auscultación visual: Tras la visita de campo realizada, se procedió a realizar el proceso de auscultación visual en el tramo, se detectó la presencia de los deterioros mostrados en la Tabla 76. La identificación, determinación del nivel de severidad y extensión se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en el MAV-2016.

Tabla 76. Deterioros detectados en el tramo 2F

| Deterioro No. ⁽¹⁾ | Deterioro |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Cuero de lagarto |
| 2 | Grieta longitudinal-transversal |
| 8 | Abultamientos y hundimientos |
| 15 | Desprendimiento de agregados |
| 18 | Baches |
| 19 | Huecos |
| 20 | Cruce de línea férrea |

⁽¹⁾ La numeración de los deterioros corresponde a la mostrada en el MAV-2016.

La distribución y cantidad presente por cada tipo de deterioro se muestra a continuación a través de la Figura 61. Cabe destacar que se observa que los deterioros más frecuentes son agrietamiento longitudinal y transversal, baches, cuero de lagarto y desprendimiento de agregados en diferentes niveles de severidad.

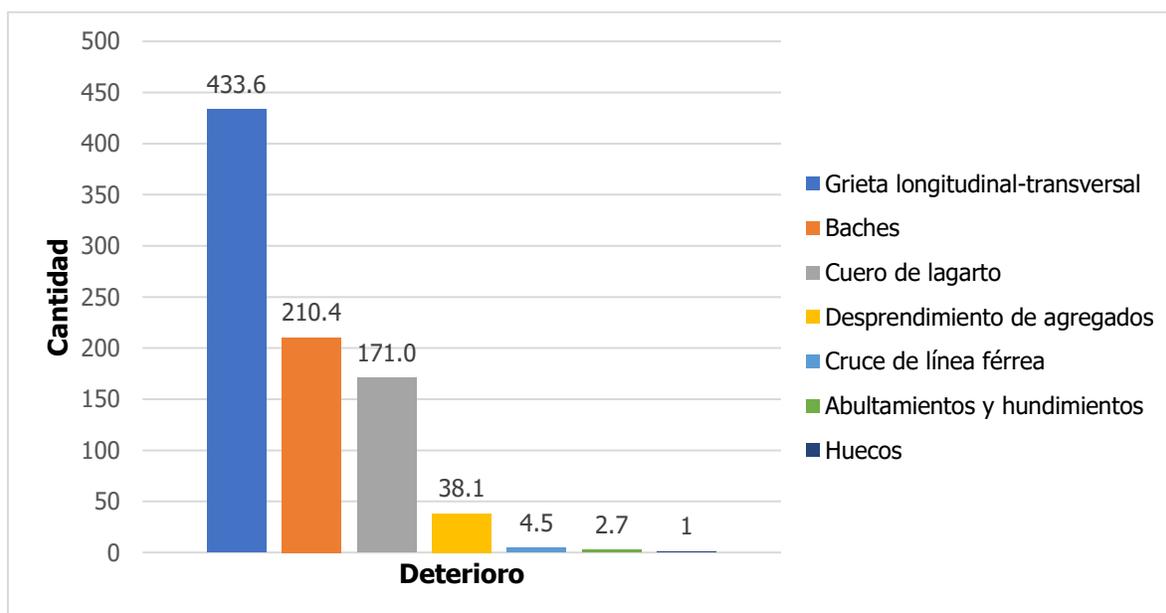


Figura 61. Cantidad de deterioros total en tramo 2F

A continuación, en la Figura 62 se muestran la cantidad de deterioros por cada nivel de severidad. Se destaca la presencia de deterioros en cantidades relevantes tales como el agrietamiento longitudinal y transversal de severidad baja y media, cuero de lagarto de severidad media y la alta presencia de baches de severidad baja.

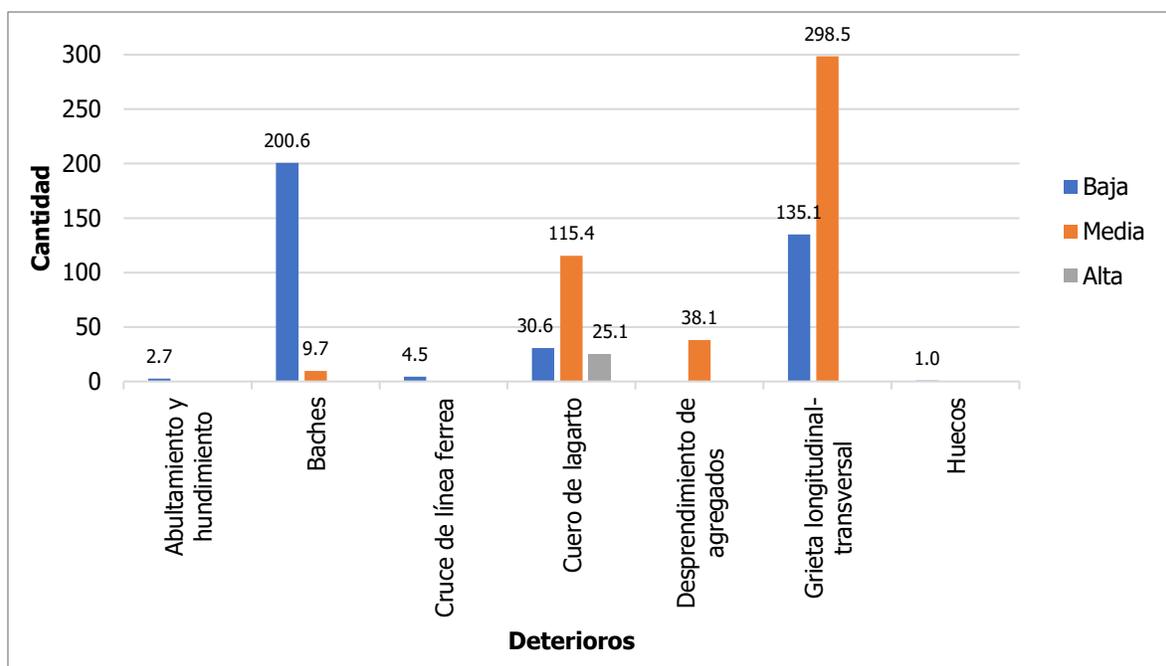


Figura 62. Cantidad de deterioros por nivel de severidad en tramo 2F

Cálculo del índice de condición de pavimento (PCI): A través del levantamiento de deterioros en la ruta, se procedió a realizar el cálculo de PCI para las diferentes unidades de muestreo. Para definir el número mínimo de unidades de muestreo a analizar para el tramo y para la evaluación se utilizó la metodología establecida en el MAV-2016. Los resultados del levantamiento de campo y cálculos de este indicador por cada una de las ocho unidades de muestra se pueden consultar en soportes mostrados en el Apéndice I. Los valores específicos de PCI y la respectiva calificación para cada tramo se muestran en la Tabla 77.

Tabla 77. Valores de PCI de las unidades de muestra del tramo 2F

| Unidad de Muestra (U.M) | Valor de PCI | Calificación PCI |
|-------------------------|--------------|------------------|
| 1 | 62 | Malo |
| 2 | 58 | Malo |
| 3 | 48 | Pobre |
| 4 | 47 | Pobre |
| 5 | 32 | Muy pobre |
| 6 | 44 | Pobre |
| 7 | 40 | Muy Pobre |
| 8 | 41 | Pobre |
| PCI Promedio | 47 | Pobre |

A partir de los deterioros encontrados y cálculo del PCI se obtiene una calificación promedio del tramo de 47, lo cual lo califica como una condición "pobre" para todo el tramo. Se elaboró el mapa por medio del sistema de información geográfica que representa la integridad estructural y superficial del tramo evaluado, según se aprecia en la Figura 63.

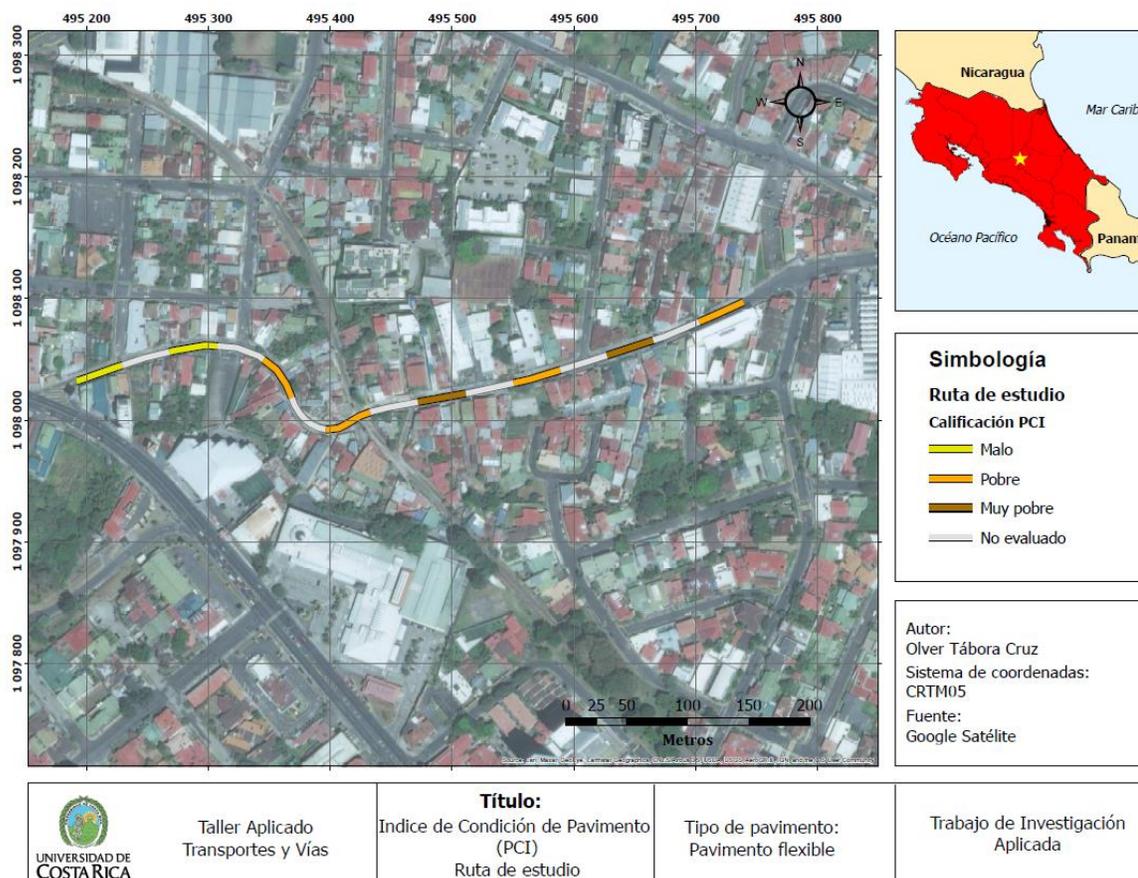


Figura 63. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 2F

Análisis de la información recopilada e indicadores

A continuación, se comenta con respecto a los resultados de la evaluación de la condición existente para determinar la aplicabilidad de la preservación de pavimentos.

Deterioros individuales existentes: con base en los resultados, se observa una alta frecuencia de deterioros relacionados las cargas repetidas de tránsito tal como el agrietamiento por fatiga en severidades bajas a altas. Además, según lo mostrado en la Figura 62 se tienen importantes cantidades de agrietamiento longitudinal y transversal de

severidad baja, media y una alta presencia de baches de severidad baja. La extensión y el tipo de deterioros presentes dada la corta longitud del tramo es un indicador importante de que este tramo no es abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos. Por tanto, requiere ser sometido a una estrategia de intervención más significativa tal como una rehabilitación. Sin embargo, para tener mayor certeza de la condición e integridad del tramo evaluado se procederá a comentar los resultados del índice de condición de pavimento (PCI) para calificar el estado del pavimento.

Índice de condición de pavimento (PCI): los resultados de este indicador determinan la condición general del pavimento evaluado. El resultado obtenido consistió en un PCI promedio de 47, lo cual representa que el tramo evaluado es calificado como una condición pobre y, por tanto, que el pavimento se encuentra en una condición crítica.

A partir del valor de PCI se establece que el tramo evaluado no es abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos ya que dicho valor no está dentro del rango establecido como ventana de oportunidad en la matriz de decisión para cada una de las técnicas de preservación incluidas en el presente informe. Según el resultado de PCI obtenido y las prácticas de gestión encontradas en la literatura haciendo uso de este indicador, el tramo en cuestión requiere de intervenciones de mayor peso tal como una intervención mayor.

En términos generales y con base en los análisis de deterioros individuales y condición general del pavimento del tramo evaluado, **se establece que no es un candidato para la preservación de pavimentos.**

4.2.3. Tramo 3R. Ruta Nacional 1, sección 50020. Guanacaste

Evaluación de las condiciones existentes

Visita de campo y descripción del sitio de estudio: para este caso en específico no se llevó a cabo la visita de campo al sitio de estudio. La información con respecto a su ubicación, geometría, entre otros fue facilitada por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR. El tramo vial a evaluar consiste en un subtramo de la Ruta Nacional 1, el sentido de Cañas-Liberia entre la Est. 168+876 a la Est. 172+684 aproximadamente, es decir, el tramo evaluado tiene una longitud de 3.8 km.

El tramo evaluado se ubica específicamente en la sección de control 50020 definida entre Cañas (intercepción R142) y Corobibi (Rio Tenorio) ubicada en el Cantón de Cañas en la provincia de Guanacaste y forma parte de la Red Vial Nacional del país bajo la jerarquía de vía primaria.

Esta vía cuenta con cuatro carriles de circulación (dos por sentido) en toda su longitud. La superficie de rodadura está compuesta por losas de concreto hidráulico con dimensiones horizontales promedio de 4.60 x 3.60 m y un espesor de losa de 25 cm. (LanammeUCR,2020).

Según datos del Anuario Información de Tránsito del MOPT 2019 esta vía tiene un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 8933 con base en registros del año 2015 (Estación 503), destacando un % de camiones pesados cercano al 30%. La ruta fue construida en el año 2016, por tanto, se considera una carretera que corta edad ya que tiene alrededor de 5 años en funcionamiento. A continuación, en la Figura 64 se presenta el mapa de ubicación del tramo de estudio.

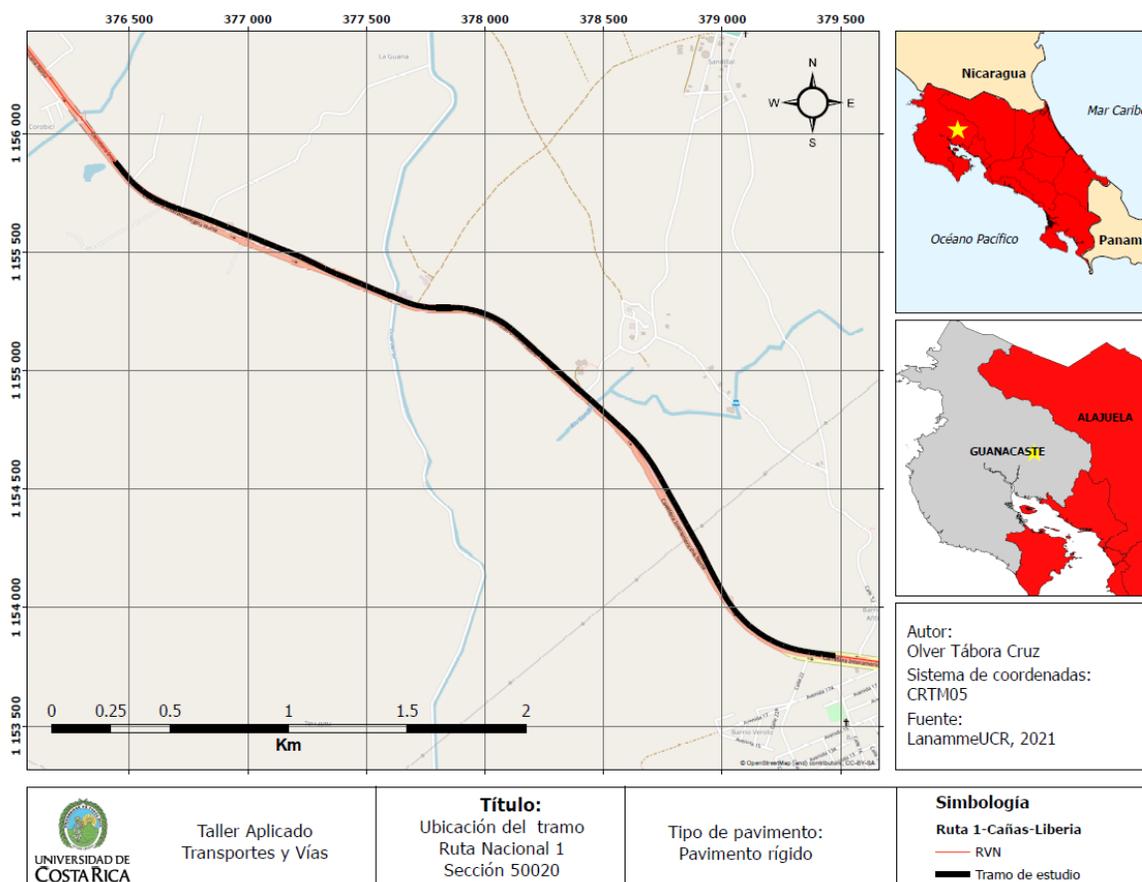


Figura 64. Mapa de localización y ubicación del pavimento 3R-Rígido

Auscultación visual: el levantamiento de los deterioros del tramo mencionado se realizó en el mes de febrero del año 2021 y cabe destacar que fue facilitado por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR. El levantamiento de la información se realizó de manera semiautomatizada a través del equipo de auscultación Geo 3D y trabajo de gabinete para la caracterización de los deterioros.

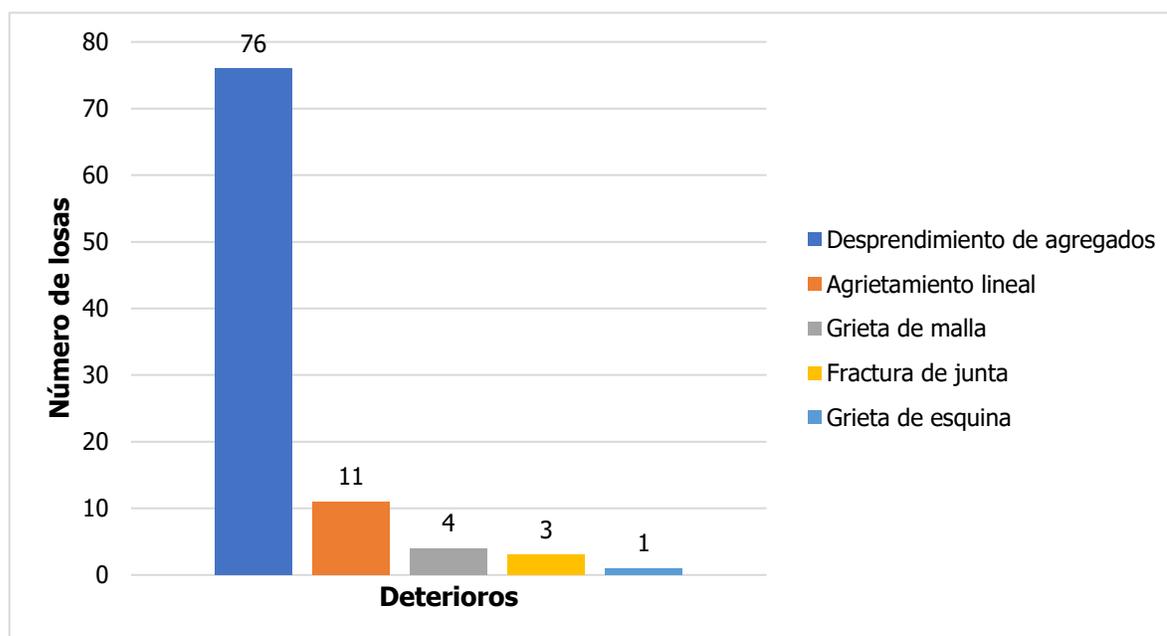
En este tramo se analizaron 19 unidades de muestreo cada una con 24 losas de 4.60 m de longitud. Se detectó la presencia de los deterioros mostrados en la Tabla 78. La identificación, determinación del nivel de severidad y extensión se realizó de acuerdo a los procedimientos del MAV-2016.

Tabla 78. Deterioros detectados en el tramo 3R

| Deterioro No. ⁽¹⁾ | Deterioro |
|------------------------------|------------------------------|
| 1 | Agrietamiento lineal |
| 2 | Grieta de esquina |
| 4 | Grieta de malla |
| 8 | Fractura de junta |
| 10 | Desprendimiento de agregados |

⁽²⁾ La numeración de los deterioros corresponde a la mostrada en el MAV-2016.

La distribución y cantidad total presente por tipo de deterioro se muestra a continuación a través de la Figura 65. Cabe destacar que se observa que los deterioros más frecuentes en el tramo son el desprendimiento de agregados y agrietamiento lineal. Los deterioros tales como grietas de malla, fractura de junta y grietas de esquina se encontraron con menor frecuencia. En términos generales, la frecuencia de deterioros en el tramo es baja, únicamente se encontró un total de 95 deterioros en las 456 losas evaluadas a partir de 19 unidades de muestreo definidas.

**Figura 65.** Cantidad de deterioros total en tramo 3R

A continuación, en la Figura 66 se muestran la cantidad de deterioros por cada nivel de severidad. Se destaca que en toda la longitud evaluada se encuentra una mayor frecuencia de deterioros de severidad baja y media del tipo agrietamientos y un único deterioro de severidad media relacionado con potenciales problemas de transferencia de carga entre

juntas tal como la fractura de juntas. Cabe mencionar que el deterioro que presenta la mayor frecuencia en el tramo es el desprendimiento de agregados, sin embargo, no cuenta con criterios de nivel de severidad.

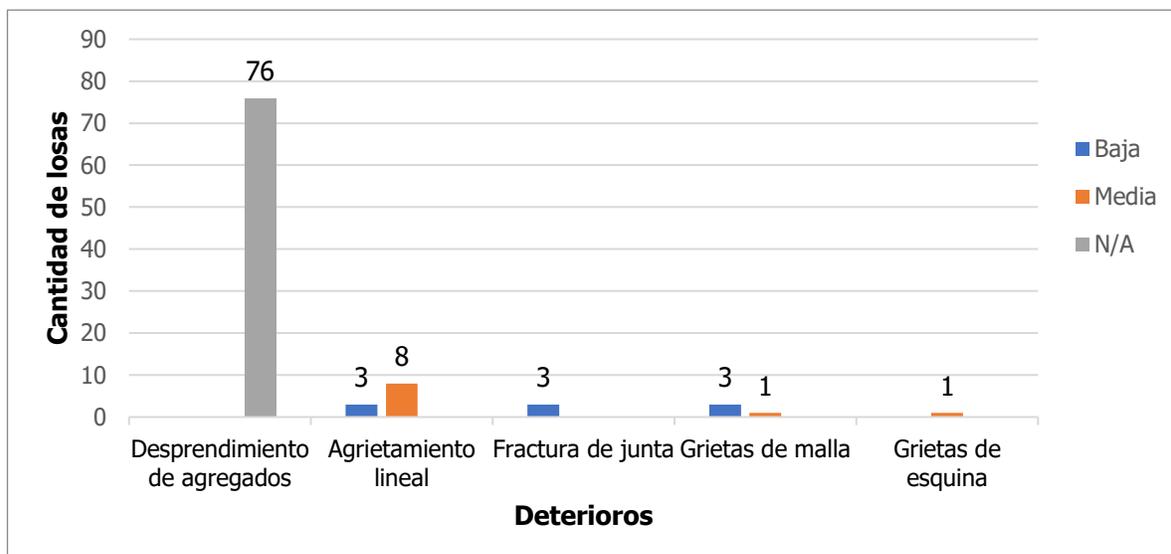


Figura 66. Cantidad de deterioros por nivel de severidad en tramo 3R

Cálculo del índice de condición de pavimento (PCI): A través del levantamiento de deterioros de la ruta, se procedió a realizar el cálculo de PCI para las diferentes unidades de muestreo (U.M). Para definir el número mínimo de U.M a analizar para el tramo y para la evaluación se utilizó la metodología establecida en el MAV-2016. Los resultados del levantamiento de campo y cálculos de este indicador por cada una de las 19 U.M se pueden consultar en soportes mostrados en el Apéndice I. Los valores específicos de PCI y la respectiva calificación para cada U.M del tramo se muestran en la Tabla 79.

Tabla 79. Valores de PCI de las unidades de muestreo del tramo 3R

| Unidad de Muestra (U.M) | Valor de PCI | Calificación PCI |
|-------------------------|--------------|------------------|
| 1 | 93.00 | Bueno |
| 2 | 98.00 | Bueno |
| 3 | 93.00 | Bueno |
| 4 | 97.00 | Bueno |
| 5 | 98.00 | Bueno |
| 6 | 93.00 | Bueno |
| 7 | 92.00 | Bueno |
| 8 | 97.00 | Bueno |

| Unidad de Muestra (U.M) | Valor de PCI | Calificación PCI |
|-------------------------|--------------|------------------|
| 9 | 91.00 | Bueno |
| 10 | 94.00 | Bueno |
| 11 | 100.00 | Bueno |
| 12 | 91.00 | Bueno |
| 13 | 92.00 | Bueno |
| 14 | 95.00 | Bueno |
| 15 | 89.00 | Bueno |
| 16 | 95.00 | Bueno |
| 17 | 89.00 | Bueno |
| 18 | 97.00 | Bueno |
| 19 | 98.00 | Bueno |
| PCI Promedio | 94 | Bueno |

A partir de los deterioros encontrados y cálculo del PCI de cada unidad de muestreo se obtiene un valor promedio de PCI del tramo de 94. Por lo tanto, el estado del pavimento es Bueno. Los resultados anteriores muestran que el 100% de las U.M evaluadas están clasificadas bajo una condición buena. Los resultados obtenidos se reflejan en la Figura 67.

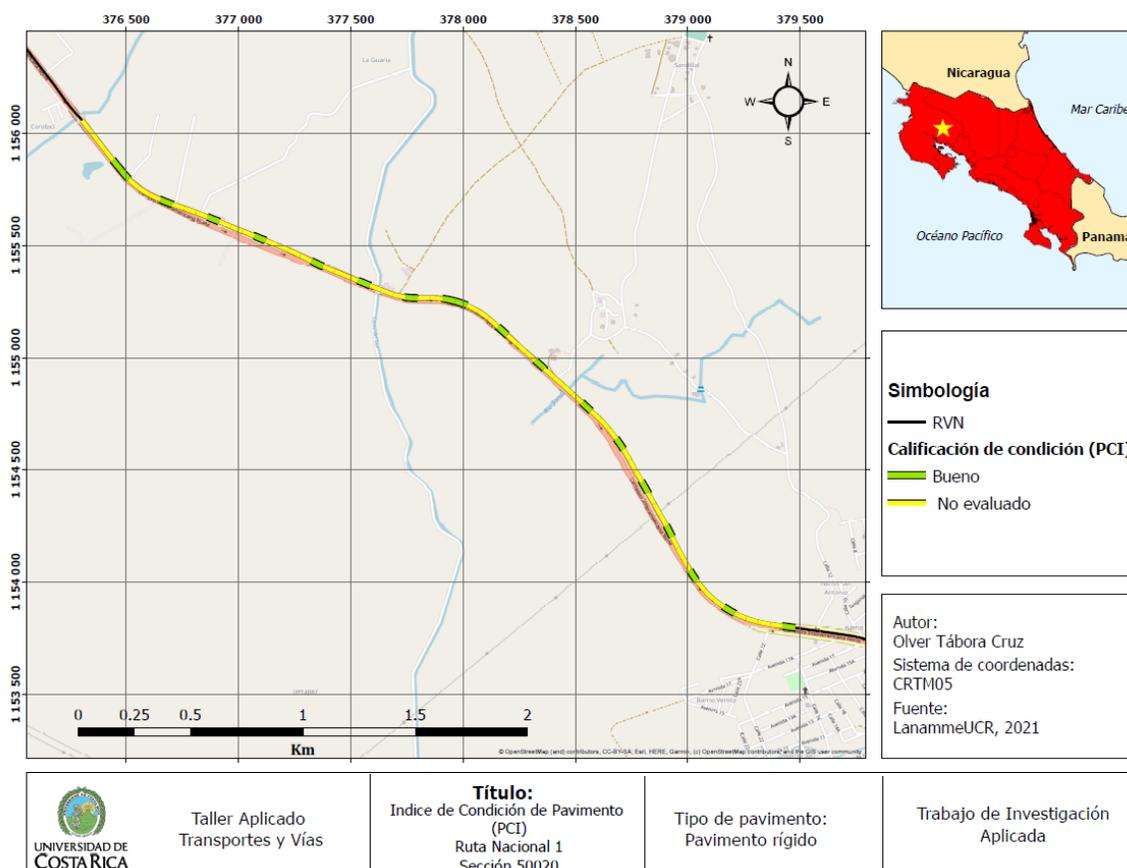


Figura 67. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 3R

Condición funcional, estructural y seguridad del tramo: la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR en el año 2020 llevó a cabo un estudio de evaluación de la capacidad funcional y estructural y de seguridad de la Ruta Nacional 1 a través de la medición de un conjunto de indicadores. Considerando el informe mencionado, el tramo de 3.8 km evaluado en esta investigación corresponde al tramo homogéneo No. 2 del estudio del LanammeUCR. Por tanto, se comentan los resultados obtenidos con respecto a estos indicadores específicamente en el subtramo de estudio:

Capacidad estructural: la capacidad estructural se evaluó a través de ensayos de medición del escalonamiento de las juntas transversales (FLT en mm) y la transferencia de carga entre losas (LTE en %). Los resultados del escalonamiento de juntas mostraron que el tramo presenta valores en el rango de bajo (FLT promedio de 4.4 mm). Los resultados de transferencia de carga medidas a través del deflectómetro de impacto también mostraron que el tramo cuenta con una transferencia de carga buena a regular (LTE promedio de 85.4%). En términos generales, el informe concluye que el tramo cuenta con una adecuada capacidad estructural.

Capacidad funcional: se evaluó a través de ensayos de medición regularidad superficial a través de las pruebas de IRI. Los resultados mostraron que el tramo presenta resultados en el rango de regular, es decir, el tramo presentó un valor promedio de IRI (MRI) de 2.9 m/km medidos en tramos de 100 metros de longitud. Con respecto a lo anterior, el informe concluye que el tramo cuenta con una capacidad funcional regular.

Seguridad: se evaluó a través de ensayos de medición resistencia al deslizamiento a través de la prueba de agarre haciendo uso del equipo Griptester. Los resultados mostraron que el tramo presenta valores de agarre o $GN < 0.48$. En términos generales, el tramo de niveles de agarre muy bajos (rango de muy deslizante), lo cual es crítico para la seguridad vial de los usuarios.

El informe califica el tramo con una nota de calidad QR2 y concluye que todos los tramos de la ruta se deben intervenir con actividades de mantenimiento periódico, con énfasis en la rehabilitación del componente funcional de la superficie.

Análisis de la información recopilada e indicadores

A continuación, se comenta con respecto a los resultados de la evaluación de la condición existente para determinar la aplicabilidad de la preservación de pavimentos.

Deterioros individuales existentes: con base en los resultados, se observa una frecuencia de deterioros baja dada la longitud y número de losas evaluados en el tramo de estudio. De igual manera, los niveles de severidad presentes son bajos según se evidencio anteriormente. Ademas, cabe mencionar que no se presentan deterioros relacionados con una carencia de capacidad estructural del tramo evaluado. El tipo de deterioros presentes, es decir, relacionados con la capacidad funcional y los niveles de severidad presentes en la mayoría del tramo es un indicador de que este tramo puede ser abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos.

Indice de condición de pavimento (PCI): el resultado obtenido consistió en un PCI promedio de 94, lo cual representa que el tramo evaluado es calificado bajo una buena condición. A partir del valor de PCI se establece que el tramo evaluado es abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos ya que dicho valor, incluso es superior a los rangos establecidos como ventana de oportunidad en la matriz de decisión para la mayoría de las técnicas de preservación incluidas en el presente informe. Según el resultado de PCI obtenido y las prácticas de gestión encontradas en la literatura haciendo uso de este indicador, el tramo en cuestión requiere estrategias de preservación de pavimentos tal como las técnicas de mantenimiento rutinario.

Capacidad funcional, estructural y de seguridad: con base en los resultados anteriores, el tramo cuenta con adecuada capacidad estructural, regular condición funcional y una condición crítica en términos de agarre superficial o resistencia al deslizamiento y requiere ser intervenido. Con base en estos indicadores, el tramo es un candidato a ser sometido a la preservación de pavimentos.

En términos generales, con base en la información recopilada, se establece que el tramo **es un candidato para la preservación de pavimentos.**

Determinar las opciones de técnicas factibles

Una vez que se ha cuantificado la condición del pavimento se procederá a identificar la lista de las técnicas factibles basados en los deterioros y su nivel de severidad. Es decir, se determinará qué técnicas podrían funcionar para la condición del pavimento a través de las herramientas de decisión tales como las matrices de decisión de la Tabla 63 y los flujogramas de decisión que se muestran entre la Figura 42 a la Figura 52. A continuación, en la Tabla 80, se muestran los deterioros identificados y las posibles técnicas de preservación capaces de tratarlos. Con base en la matriz de decisión se determina que los siguientes tratamientos tienen un desempeño aceptable (bueno regular) para tratar los deterioros identificados:

Tabla 80. Identificación de técnicas de preservación factibles en tramo 3R

| Deterioro | | Técnicas de preservación | |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | Desempeño | |
| Tipo | Severidad | Bueno | Regular |
| Agrietamiento lineal | Baja | Sello de grietas | |
| | Media | Reparación de losas en espesor total | Sello de grietas Reparación de losas en espesor parcial |
| Grietas de malla | Baja | Reparación de losas en espesor parcial | Cepillado superficial |
| | Media | Reparación de losas en espesor parcial | Cepillado superficial |
| Fractura de juntas | Baja | Reparación de losas en espesor parcial | |
| Grietas de esquina | Medio | Reparación de losas en espesor total | Sello de grietas Reparación de losas en espesor parcial |
| Desprendimiento* de agregados | | Reparación de losas en espesor Parcial Reparación de losas en espesor total | |
| Baja Fricción | Según lo estipule la Administración | Cepillado superficial | |
| IRI regular | 2.5-3.5 m/km | Cepillado superficial | |

*Nota: La aplicación de una u otra técnica dependerá específicamente de las condiciones del sitio y presencia de otros deterioros en las losas.

Analizar las opciones de técnicas factibles

Para esta etapa se considerarán una serie de supuestos relacionados con las expectativas de la administración con respecto a la técnica a seleccionar y que servirían como argumentos para el análisis de los tratamientos o técnicas factibles.

- La Administración tiene planificado realizar alguna forma de preservación en el año 2022 y espera realizar una rehabilitación más significativa en el marco de tiempo comprendido entre el año 2026- 2027.
- El financiamiento para las actividades de preservación está disponible en gran medida, sin embargo, se requiere de alternativas funcionales, no altamente destructivas y rentables. Si la preservación se considera apropiada, el objetivo de la Administración es que la técnica funcione adecuadamente durante al menos 5 años.
- La administración no percibe restricciones con respecto a la disponibilidad de contratistas, sin embargo, se conoce que los contratistas locales no tienen experiencia ni equipos disponibles para algunas técnicas disponibles en el mercado.

Una vez definidos los supuestos anteriores se procederá a evaluar las técnicas factibles de preservación identificadas en el paso anterior para seleccionar las técnicas que mejor se adapten a las necesidades de desempeño de la administración.

Con respecto a las técnicas identificadas en la Tabla 80, se destaca que, en el caso de los pavimentos rígidos, cada técnica tiene un uso específico dependiendo de la condición particular de severidad a abordar, a diferencia de los pavimentos flexibles donde un tratamiento puede abordar múltiples deterioros en diferentes niveles de severidad.

En este caso según se observa en la Tabla 80, hay técnicas que son funcionales para múltiples deterioros, esto sin controlar las condiciones características intrínsecas de cada deterioro, por ejemplo, el espesor deteriorado, el cual limitaría el uso de algunas técnicas consideradas apropiadas. Considerando lo anterior, el criterio se basará en la selección de todas las técnicas de la matriz que se adapten a los niveles de severidad bajo un desempeño catalogado como bueno, por tanto, se incluyen las siguientes técnicas:

- Sello de grietas
- Reparación de losas en espesor parcial (PDR)
- Reparación de losas en espesor total (FDR)
- Cepillado superficial

Las técnicas de preservación candidatas también se evaluarán para determinar su capacidad para satisfacer cualquier limitación específica. Las limitaciones potenciales incluyen el desempeño esperado en términos de vida útil esperada, capacidad de abordar múltiples deterioros, fondos disponibles para el proyecto, la disponibilidad de contratistas experimentados, materiales de calidad y niveles de tráfico. Estas variables se analizarán a través de la Tabla 81, donde se determinará su nivel de cumplimiento con los requerimientos establecidos. En este caso, no se hará un proceso de selección como tal, simplemente se verificará el cumplimiento de las técnicas con las limitaciones propias del proyecto. Un insumo fundamental para llevar a cabo este análisis es el catálogo de técnicas de preservación de la sección 3.2, donde se establecen los criterios de aplicabilidad de cada una de las técnicas de preservación rígidos.

Tabla 81. Análisis de técnicas de preservación factibles en tramo 3R

| Técnica de preservación | Variables consideradas | | | | | |
|--|------------------------|-----------|---------|----------------------|------------|--------------|
| | Desempeño esperado | Vida útil | Tráfico | Múltiples deterioros | Materiales | Contratistas |
| Sello de grietas | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| Reparación de losas en espesor parcial | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Reparación de losas en espesor total | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cepillado superficial | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ---- | x |

*Nota: ✓ Cumple | X No cumple | --- N/A

En el caso del sello de grietas, aunque no cumpla con el abordaje de múltiples deterioros se seleccionará porque cumple con su propósito específico de tratar los agrietamientos lineales de severidad baja y con el resto de las limitaciones establecidas.

A partir de los resultados de este análisis, se destaca que las técnicas de preservación candidatas cumplen con los requerimientos del proyecto y las necesidades de la administración y que, por tanto, todas serán consideradas como las técnicas finales.

Comparación de técnicas de preservación finales

Una vez definidas las técnicas finales se procederá a realizar un análisis de costo-efectividad para mostrar el retorno de beneficio de cada una. Este análisis se realizará a través del método de costo anual equivalente (EAC). Los valores para cada técnica se muestran en la Tabla 66. A partir de dicha tabla se muestra a continuación los resultados gráficamente en la Figura 68. Según se observa en la Figura mencionada las técnicas de sello de grietas y cepillado superficial tiene un EAC bajo, lo cual indica que son costo-efectivas.

Con respecto a los dos tipos de reparación (parcial y total) según los costos típicos de referencias estadounidenses, las reparaciones parciales son altamente costosas dado el proceso constructivo que conlleva, lo cual se puede ver reflejado en el alto valor de EAC. En cambio, se observa que la reparación total tiene un EAC más bajo, es decir tendería a ser más costo-efectiva. Se debe destacar nuevamente que los costos dependerán de múltiples factores entre ellos los rendimientos y cantidad de losas a tratar, por tanto, debido a la alta variabilidad es una variable que debería ser evaluada bajo las condiciones de costos locales.

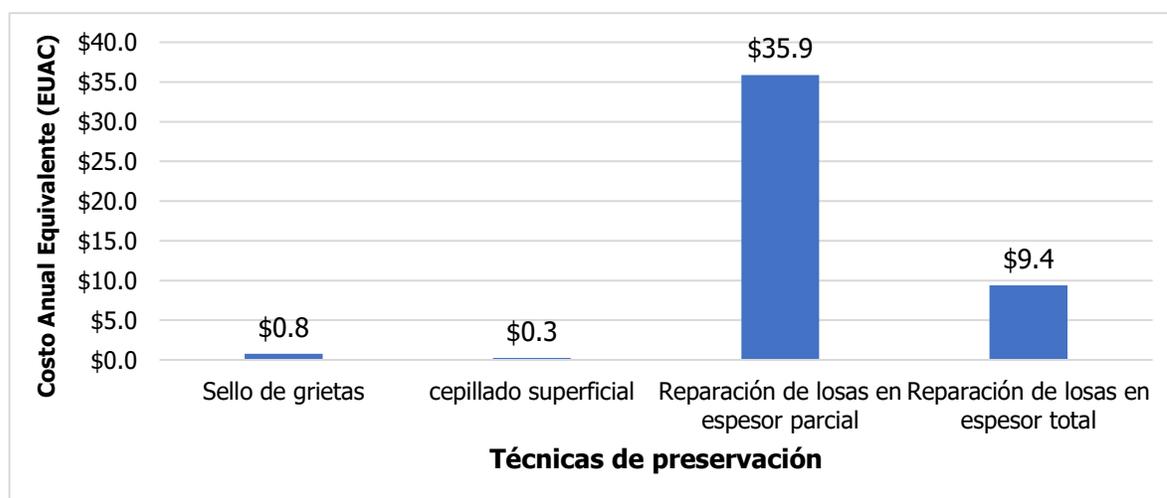


Figura 68. Costo anual equivalente de las técnicas de preservación finales (tramo 3R)

Selección de las técnicas de preservación preferidas

En esta etapa, se destaca que cada una de las técnicas consideradas aplicables tienen un determinado propósito para el abordaje de cada condición de deterioro. Se establece que, para este caso en específico, se debería realizar una combinación de técnicas de preservación donde las cuatro técnicas son aplicables siguiendo las recomendaciones de la Tabla 80.

Para la toma de decisión con respecto a la reparación parcial y total, si se parte únicamente de los costos de ambas técnicas, se podría seleccionar la técnica de reparación de espesor total sobre la de espesor parcial. Sin embargo, se puede argumentar que dada la baja extensión del deterioro (áreas localizadas) en una losa, por ejemplo, la presencia de una fractura de junta se priorizaran las actividades funcionales menos destructivas para los deterioros localizados. Por tanto, para este caso se considera viable la implementación de las técnicas de reparación de espesor parcial. En términos generales, se considera que para la selección entre estas dos alternativas se deben priorizar las políticas de la administración con respecto al desarrollo de las obras y gestión de pavimentos.

Técnicas finales seleccionadas:

Partiendo de lo comentado anteriormente, se hace hincapié en que se seleccionarán las cuatro técnicas factibles. Para este caso no es posible aplicar la matriz de decisión entre las técnicas finales dado que cada una tiene un propósito bajo el cual su efectividad es alta. Las técnicas finales seleccionadas se enumeran a continuación:

- Sello de grietas
- Reparación de losas en espesor parcial (PDR)
- Reparación de losas en espesor total (FDR)
- Cepillado superficial

A continuación, se sintetiza las intervenciones propuestas acorde con las condiciones existentes y algunas consideraciones generales.

- Se deberá localizar la totalidad de losas que presentan daños en forma de agrietamientos lineales, grietas en malla y fracturas de juntas para la aplicación de las técnicas finales como el sellado de la grieta y las técnicas de reparación de losas de espesor parcial. Cabe mencionar que los deterioros abordados a través de la técnica de reparación parcial deberán estar confinados en el tercio superior de la losa, en caso contrario se deberán reparar haciendo uso de la técnica de reparación de losas en espesor total.
- Se deberá ubicar la única losa que presenta daños en forma de agrietamientos de esquina para la aplicación de la técnica final correspondiente a la reparación de losas en espesor total.
- Las actividades de sellado de grietas deben realizarse de manera frecuente con el propósito de mantener la condición funcional adecuada de la superficie de ruedo y la vez evitar problemas mayores de deterioro a mediano y largo plazo.
- Dadas las condiciones generalizadas de baja resistencia al deslizamiento (muy deslizante) y regularidad superficial catalogada como regular, se establece necesario el uso del cepillado superficial en el tramo evaluado dada las bondades de esta técnica con respecto a la mejora de fricción superficial y a la vez permitiría mejorar el nivel del perfil longitudinal, disminuyendo los valores de IRI.
- En caso de adoptar todas las medidas propuestas y siguiendo las buenas prácticas recomendadas para la técnica de fresado superficial, la ejecución de las actividades de intervención debería seguir una secuencia lógica. Por consiguiente, se considera relevante establecer que se en primera instancia se deberían realizar las actividades de reparaciones localizadas tales como el sello de grietas, reparación de losas en espesor parcial y reparaciones de espesor total, seguido de la aplicación del cepillado superficial, lo anterior con el propósito de optimizar el desempeño de las técnicas recomendadas.

4.2.4. Tramo 4R. Calle cantonal- Curridabat, Curridabat

Evaluación de las condiciones existentes

Visita de campo y descripción del sitio de estudio: Se llevó a cabo la visita de campo al sitio contemplado para obtener información con respecto a su ubicación, geometría y principalmente para conocer el entorno del sitio del proyecto. El tramo vial consiste en la calle identificada como A018, la cual es una calle local de concreto hidráulico ubicada en el distrito de Curridabat y forma parte de la red vial del cantón de Curridabat. Esta vía tiene una longitud aproximada de 600 m, un ancho total de 8 m. cuenta con dos carriles de circulación (uno por sentido). El pavimento evaluado es del tipo JPCP y consiste en losas de concreto de 6 m. de longitud y 4 m. de ancho. Cabe mencionar que se desconoce información de tráfico promedio diario (TPD) de la calle, sin embargo, durante la visita de campo se identificó que presenta flujos de tránsito moderados. A continuación, en la Figura 69 se presenta el mapa de ubicación.

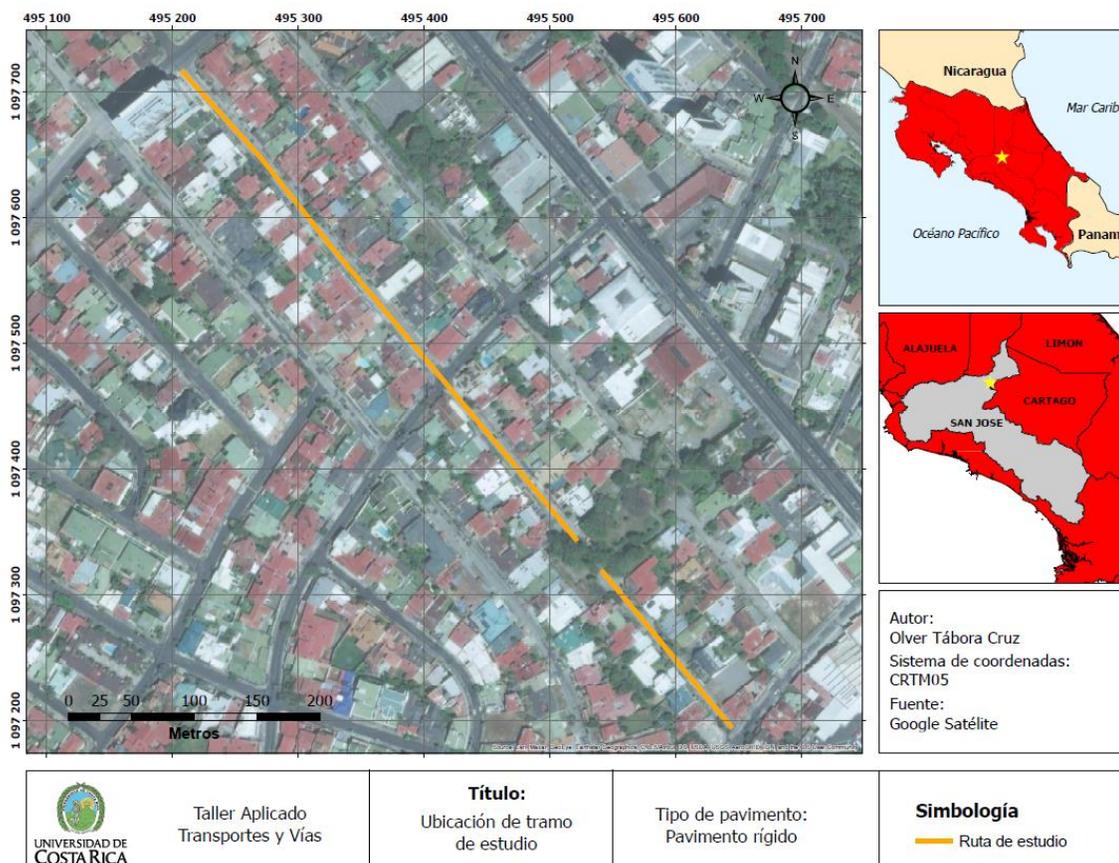


Figura 69. Mapa de localización y ubicación del pavimento 4R-Rígido

Auscultación visual: Tras la visita de campo realizada, se procedió a realizar el proceso de auscultación visual en el tramo. Se detectó la presencia de los deterioros mostrados en la Tabla 82. La identificación, determinación del nivel de severidad y extensión se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en el MAV-2016. En este proyecto se analizaron ocho unidades de muestreo cada una con 20 losas de 6 m de longitud.

Tabla 82. Deterioros detectados en el tramo 4R

| Deterioro No. ⁽¹⁾ | Deterioro |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Agrietamiento lineal |
| 4 | Grietas de malla |
| 5 | Losa dividida |
| 6 | Daño en el sello de junta |
| 7 | Grietas de esquina |
| 8 | Fractura de junta |
| 15 | Punzonamiento (Punchout) |
| 16 | Baches mayores a 0.5 m ² |
| 17 | Baches menores a 0.5 m ² |

⁽¹⁾ La numeración de los deterioros corresponde a la mostrada en el MAV-2016.

La distribución y cantidad presente por cada tipo de deterioro se muestra a continuación a través de la Figura 70. Cabe destacar que se observa que los deterioros más frecuentes son agrietamiento lineal, baches mayores y menores, grietas de esquina y en malla y el daño en el sello de juntas de manera generalizada en todo el tramo en diferentes niveles de severidad.

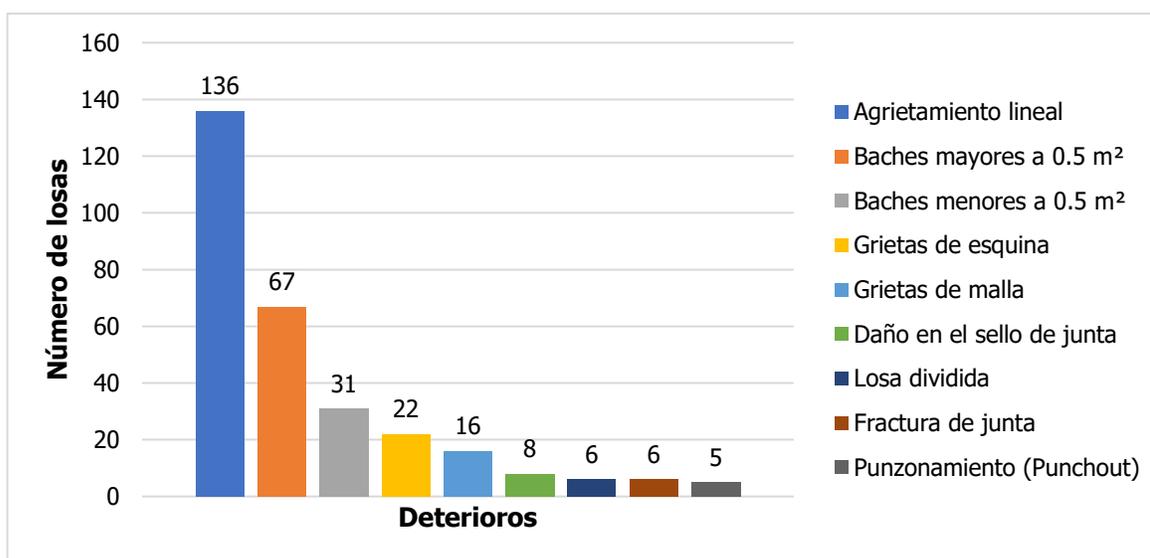


Figura 70. Cantidad de deterioros total en tramo 4R

A continuación, en la Figura 71 se muestra la cantidad de deterioros por cada nivel de severidad. Se destaca una frecuencia considerable de deterioros de severidad baja y media tales como el agrietamiento lineal y baches mayores. Entre otros deterioros con menor frecuencia y severidad baja se destacan los baches menores y grietas de esquina, grietas en malla de severidad alta y el daño en el sello de juntas de manera generalizada.

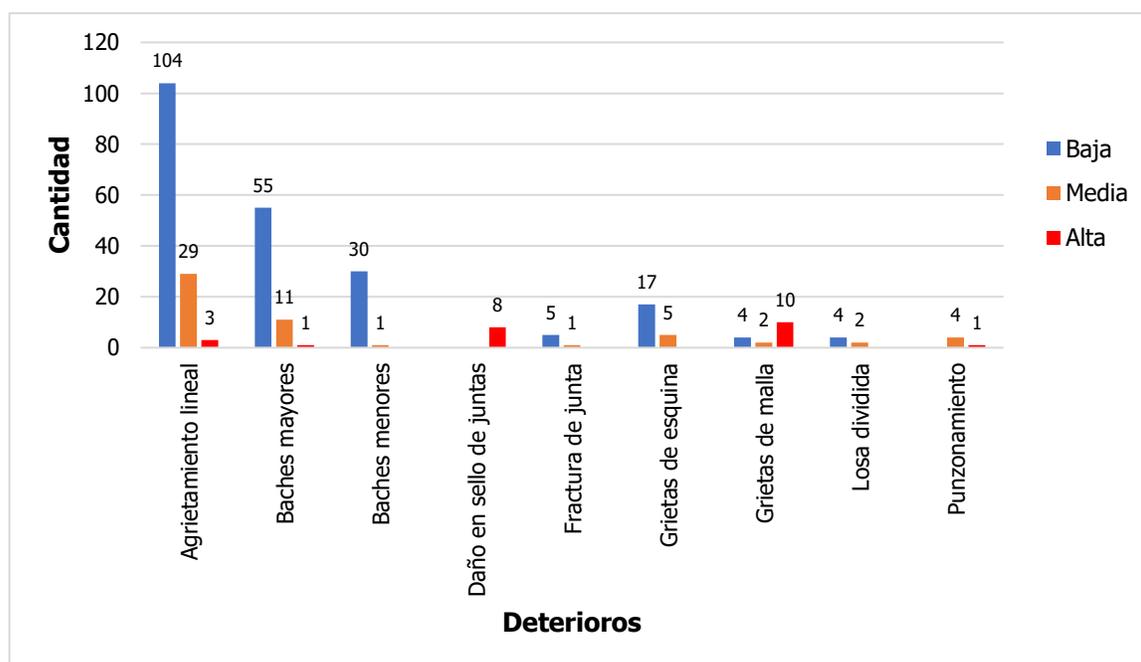


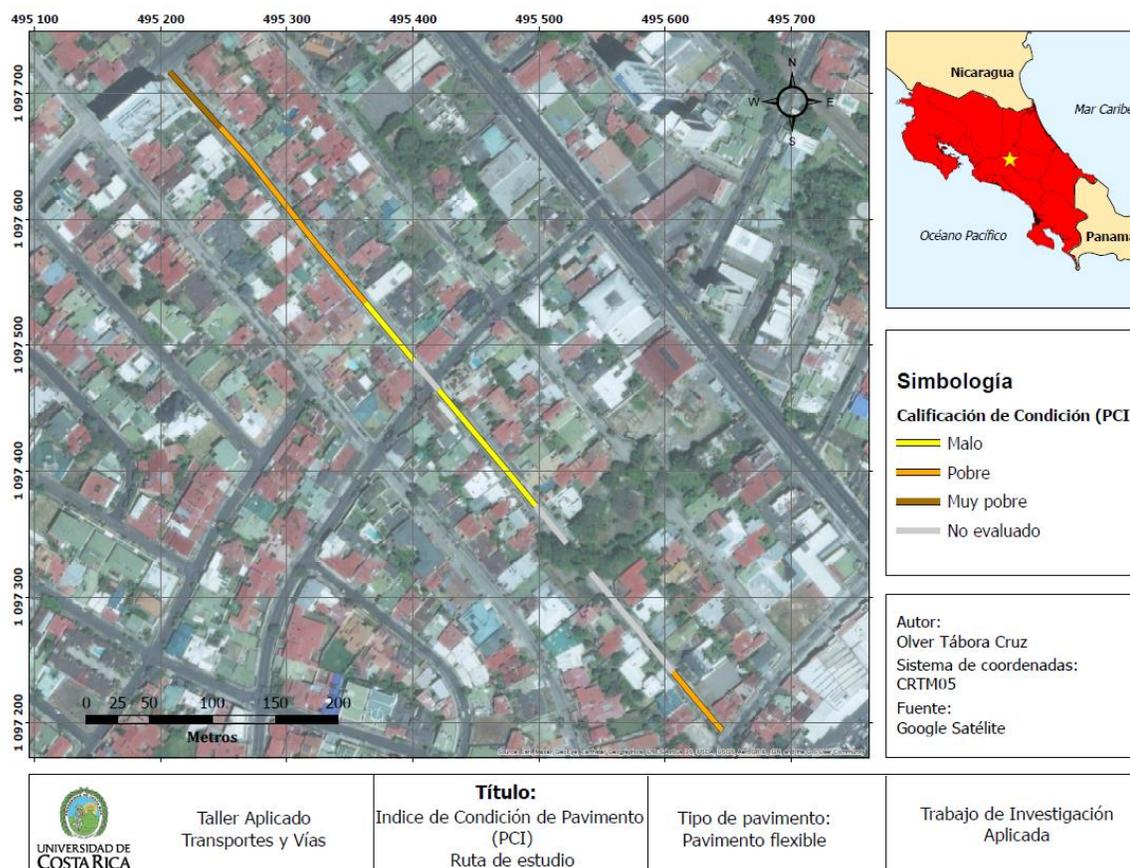
Figura 71. Cantidad de losas afectadas por nivel de severidad en tramo 4R

Cálculo del índice de condición de pavimento (PCI): A través del levantamiento de deterioros en la ruta, se procedió a realizar el cálculo de PCI para las diferentes unidades de muestreo. Para definir el número mínimo de unidades de muestreo a analizar para el tramo y para la evaluación se utilizó la metodología establecida en el MAV-2016. Los resultados del levantamiento de campo y cálculos de este indicador por cada una de las ocho U.M se pueden consultar en soportes mostrados en el Apéndice I. Los valores específicos de PCI y la respectiva calificación para cada tramo se muestran en la Tabla 83.

Tabla 83. Valores de PCI de las unidades de muestreo del tramo 4R

| Unidad de Muestra (U.M) | Valor de PCI | Calificación PCI |
|-------------------------|--------------|------------------|
| 1 | 32 | Muy pobre |
| 2 | 46 | Pobre |
| 3 | 52 | Pobre |
| 4 | 46 | Pobre |
| 5 | 62 | Malo |
| 6 | 67 | Malo |
| 7 | 58 | Malo |
| 8 | 55 | Pobre |
| PCI Promedio | 52 | Pobre |

A partir de los deterioros encontrados y cálculo del PCI se obtiene una calificación promedio del tramo de 52, lo cual lo califica como una condición pobre para todo el tramo. Se elaboró el mapa por medio del sistema de información geográfica que representa la integridad estructural y superficial de las U.M del tramo evaluado, según se aprecia en la Figura 72. Calificación de las unidades de muestreo del tramo 4R.

**Figura 72.** Calificación de las unidades de muestreo del tramo 4R

Análisis de la información recopilada e indicadores

A continuación, se comenta con respecto a los resultados de la evaluación de la condición existente para determinar la aplicabilidad de la preservación de pavimentos.

Deterioros individuales existentes: con base en los resultados, se observa una alta frecuencia de deterioros relacionados las cargas repetidas de tránsito tal como el agrietamiento lineal en severidades bajas a altas y fatiga del concreto tal como losa dividida y punzonamiento. Además, según lo mostrado en la Figura 71 Se encuentra una frecuencia importante de deterioros como baches mayores en severidades bajas y medias y en cantidades menores la presencia de baches menores, sin dejar de lado el deterioro alto del sello de juntas de manera generalizada. La extensión y el tipo de deterioros presentes en el tramo dada su corta longitud es un indicador importante de que este tramo no es abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos y, por tanto, requiere ser sometido a una estrategia de intervención más significativa tal como una intervención mayor.

Índice de condición de pavimento (PCI): los resultados de este indicador determinan la condición general del pavimento evaluado. El resultado obtenido consistió en un PCI promedio de 52, lo cual representa que el tramo evaluado es calificado como una condición pobre y, por ende, refleja que el pavimento se encuentra en una condición crítica.

A partir del valor de PCI se establece que el tramo evaluado no es abordado adecuadamente por la preservación de pavimentos ya que dicho valor no está dentro del rango establecido como ventana de oportunidad en la matriz de decisión para cada una de las técnicas de preservación incluidas en el presente informe. Según el resultado de PCI obtenido y las prácticas de gestión encontradas en la literatura haciendo uso de este indicador, el tramo en cuestión requiere de intervenciones de mayor peso tal como una rehabilitación mayor.

En términos generales y con base en los análisis de deterioros individuales y condición general del pavimento del tramo evaluado, **se establece que no es un candidato para la preservación de pavimentos.**

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La gestión de pavimentos juega un papel fundamental para lograr mantener una condición óptima de uso de la red vial al menor costo posible. La condición de los pavimentos puede ser abordada en etapas tempranas de su vida útil a través del concepto de preservación de pavimentos. Sin embargo, la toma de decisiones con respecto a la técnica de preservación oportuna según la condición y deterioros presentes tiende a limitar la efectividad de dichas técnicas. Por tanto, es fundamental realizar una selección de estrategias con criterios de desempeño y objetividad a través del uso de herramientas de decisión para realizar un proceso de identificación y selección eficiente.

5.1.1. Abordaje de la preservación de pavimentos

Los estudios de evaluación de deterioros presentes del pavimento son el primer paso en el proceso general de evaluación del pavimento y sirven como base para evaluar la idoneidad del pavimento para recibir diversas estrategias de intervención según la condición, entre ellas la preservación de pavimentos.

Se determinó que la preservación típicamente aborda adecuadamente los deterioros en etapas iniciales, es decir, de severidad baja en la mayoría de los casos con alta efectividad y severidad media con una menor efectividad. En términos generales, la preservación será aplicable si no existen un deterioro excesivo con grandes cantidades en los tramos evaluados y niveles severos de deterioro.

Se definieron los deterioros no abordados por la preservación de pavimentos, los cuales corresponden a aquellos relacionados con la carencia de capacidad estructural o problemas relacionados con materiales sub superficiales tales como depresiones, hinchamientos, abultamientos y hundimientos.

5.1.2. Aplicabilidad de las técnicas de preservación

Se definieron los criterios de aplicabilidad de diferentes técnicas de preservación de pavimentos flexibles y rígidos a través de la generación de un Catálogo de Técnicas de Preservación producto de la revisión bibliográfica y buenas prácticas de múltiples Agencias de Transporte de los Estados Unidos. A partir de lo anterior se comenta lo siguiente:

Se evidenció que las técnicas de preservación tradicionales especificadas en Costa Rica son de uso común a nivel de las diferentes Agencias de Transporte de Estados Unidos para fines de preservación de pavimentos, lo cual indica que la efectividad de estas técnicas ha sido documentada internacionalmente a través de los años.

Como parte de los criterios de aplicabilidad se definieron aquellos factores considerados en la literatura como fundamentales para la toma de decisión con respecto a la selección de las diferentes técnicas de preservación ya que determinan su factibilidad de uso, entre ellos la condición existente del pavimento, tráfico, clima y costos, bondades y limitaciones de cada técnica de preservación.

5.1.3. Establecimiento de proceso de decisión de técnicas de preservación

Se definieron los pasos de un proceso de decisión de técnicas de preservación, el cual incluye la evaluación de las condiciones de deterioro existentes, la determinación de las técnicas factibles según las herramientas de decisión, un análisis de cumplimiento de las limitaciones establecidas propias de cada proyecto que sirve para determinar las técnicas finales y la selección de la técnica final con base en una matriz que considera factores económicos, de desempeño, constructivos y satisfacción del usuario de las técnicas finales.

El uso de las herramientas de decisión tales como las matrices y flujogramas de decisión para la selección de las técnicas de preservación según la condición de pavimentos demostraron ser factibles y prácticas durante el proceso de decisión.

El análisis económico mostrado en el presente trabajo es un análisis simple que no contempla múltiples variables que influyen en el costo de una técnica de preservación y, por ende, se presentan únicamente de referencia.

Se evidenció que es factible completar todos los pasos de proceso de decisión bajo la estructura vigente principalmente en los pavimentos flexibles donde se tienen técnicas de preservación con una capacidad de abordaje de deterioros mayor, es decir, donde un deterioro puede tener múltiples técnicas aplicables.

5.1.4. Aplicación de la guía de gestión en proyectos viales

Se encontró de gran utilidad la utilización de un indicador de la condición general de los pavimentos tal como el PCI como complemento de la auscultación visual para determinar la aplicabilidad de la preservación de pavimentos.

La guía de gestión propuesta permitió evaluar cuatro tramos de pavimento, dos flexibles y dos rígidos, logrando determinar con base en el proceso de decisión la aplicabilidad de la preservación de pavimentos en dos tramos correspondientes a rutas nacionales. A través de la guía se recomendaron las alternativas óptimas según la condición existente del pavimento; comprobando así la factibilidad del uso de la guía de gestión propuesta.

A través de la aplicación de la guía en las rutas de la Red Vial Nacional del país, las cuales son evaluadas periódicamente por el LanammeUCR, se identificó que contar con información relacionada con la capacidad funcional, estructural y de seguridad de los tramos brinda un escenario más completo del estado general del pavimento, y, por tanto, permite proponer alternativas de intervención a nivel de proyectos más sólidas y estructuradas.

En términos generales, a partir de los aspectos expuestos en este apartado, con el presente trabajo, se logró definir y sustentar la aplicabilidad y selección de las técnicas de preservación según la condición de los pavimentos flexibles y rígidos en servicio de la Red Vial Nacional de pavimentos de Costa Rica.

5.2. Recomendaciones

Según el último informe de evaluación de la Red Vial Nacional del año 2018 más del 60% de la red vial requiere ser sometida a estrategias de preservación de pavimentos. Por tanto, se recomienda a la Administración establecer la implementación de un programa de preservación como un objetivo a corto plazo

La preservación de pavimentos es una estrategia de intervención viable para las condiciones nacionales que debe ser promovida en mayor medida por la Administración o entes encargados. Se recomienda a la Administración o entes encargados afines la generación y oficialización de un manual preservación para lograr la estandarización de criterios técnicos en el rubro de la conservación vial del país mediante técnicas de preservación.

El costo de las técnicas de preservación juega un papel fundamental en la toma de la decisión final. Por tanto, para fines de tener un mayor alcance en el análisis de los escenarios propuestos, se recomienda el uso de análisis económicos más completos, los cuales incluyan la actualización de valores de costos unitarios acordes con las condiciones locales de Costa Rica.

Las técnicas de preservación han demostrado ser exitosas a través de los años a nivel internacional y su desempeño ha sido respaldado mediante la investigación. Sin embargo, para futuros trabajos de investigación se recomienda el estudio de los indicadores de desempeño de las técnicas de preservación bajo las condiciones nacionales (tráfico, clima, estado del pavimento), ya que representaría un avance importante para reducir la incertidumbre con respecto a la aplicación de estas técnicas en Costa Rica.

Se recomienda brindar continuidad a la presente investigación a través de la generación de estudios relacionados con herramientas de decisión aplicables a otras estrategias de intervención tal como la de rehabilitación mayor.

Referencias bibliográficas

1. AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washintong D.C. USA.
2. Abdelaty, A., Jeong, H., Smadi, O., & Gransberg, D. (2015). *Iowa Pavement Asset Management Decision-Making Framework. Report No.IHRB Project TR-651. Iowa State University*. Recuperado de:https://lib.dr.iastate.edu/intrans_reports/143/.
3. ACPA. (2006). *Concrete Pavement Field Reference—Preservation and Repair. Report EB239P. American Concrete Pavement Association (ACPA)*. Recuperado de:<https://www.longerlifepavement.com/wp-content/uploads/2017/06/EB239P-Concrete-Pavement-Field-Reference-Preservation- Repair.pdf>.
4. Alfaro, M. E. (2018). *Guía de diseño de capas de refuerzo con hormigón adheridas, como alternativa para la rehabilitación de pavimentos asfálticos (Tesis de posgrado). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.*
5. Arrieta, F. E. (2010). *Costa Rica necesita más alternativas de mantenimiento para carreteras. Boletín semanal PITRA-LanammeUCR. Vol. 1. Nº 3, 2010*. Recuperado de:<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/377>.
6. ASTM. (2011). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (ASTM D6433)*. Washintong, DC, USA.
7. Austroads. (2019). *Guide to Pavement Technology Part 4K: Selection and Design of Sprayed Seals. Report. No.AGPT04K-18*. Recuperado de:<https://austroads.com.au/publications/pavement/agpt04k>.
8. Caltrans. (2008). *Maintenance Technical Adivisory Guide Volume II - Rigid Pavement Preservation. State of California Department of Transportation*. Recuperado de:<https://dot.ca.gov/programs/maintenance/pavement/mtag/mtag-rigid>.
9. CEPAL. (1994). *Caminos: un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. Recuperado de:<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/30314?locale-attribute=es>.
10. Consejo con la coordinación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. (2002). *Catálogo de Deterioros de Pavimentos. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica*.
11. Correa, A. L. (2001). *Concrete Pavement Rehabilitation—Guide for Diamond Grinding. FHWA-SRC-1/10-01(5M). Federal Highway Administration (FHWA)*. Recuperado de:<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/diamond.pdf>.

12. Cruz, E. y. (2013). *La importancia de cumplir los niveles de servicio de la infraestructura carretera en México (Tesis para optar por el el grado y título de Ingeniero Civil)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
13. Cuelho, E., Mokwa, R., & Akin, M. (2006). *Preventive Maintenance Treatments of Flexible Pavements: A Synthesis of Highway Practice*. FHWA/MT-06-009/8117-26, State of Montana Department of Transportation Research Programs. Montana, USA.
14. DelDOT. (2013). *Pavement Condition Surveys –Overview of Current Practices*. Delaware Department of Transportation (DelDOT). Report. No DCT 245. Recuperado de: <https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/sites.udel.edu/dist/1/1139/files/2013/10/Rpt-245-Pavement-Condition-Okine-DCTR422232-1pzk0uz.pdf>.
15. DOTD. (2010). *Guidelines on the application of preventive maintenance and rehabilitation practices for pavement preservation*. Louisiana Department of Transportation y Development. Recuperado de: <http://wwwsp.dotd.la.gov/Insid>.
16. DTMR. (2020). *Pavement Rehabilitation Manual*. Department of Transport and Main Roads. Recuperado de: <https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Pavement-Rehabilitation-Manual.aspx>.
17. FHWA. (12 de septiembre de 2005). *U.S. Department of Transportation and the Federal Highway Administration (FHWA)*. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/preservation/091205.cfm>.
18. FHWA. (2003). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. Report. N° FHWA-RD-03-031. FHWA. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/ports/03031/03031.pdf>.
19. FHWA. (2013). *Practical Guide for Quality Management of Pavement Condition Data Collection*. The Federal Highway Administration (FHWA). Recuperado de: https://www.fhwa.dot.gov/pavement/management/qm/data_qm_guide.pdf.
20. FHWA. (2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. Report. N° FHWA-HRT-13-092. . Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/13092/13092.pdf>.
21. FHWA. (2015). *Towards Sustainable Pavement Systems: A Reference Document*. Report No. FHWA-HIF-15-002. Retrieved from Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/hif15002/hif15002.pdf>
22. FHWA. (2019). *Strategies for Concrete Pavement Preservation*. Report No. FHWA-HIF-18-025. Federal Highway Administration (FHWA). Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif18025.pdf>.

23. Hicks, R. G. (2000). *Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements. FHWA.Report No. FHWA-I F-00-027*. Washington, D.C. U.S.A. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/013551.pdf>.
24. IDOT. (2010). *Pavement Preservation and Rehabilitation Strategies.Chapter fifty-two.Bureau of Design and Environment Manual. Illinois Department of Transportation (IDOT)*. Recuperado de: <http://www.idot.illinois.gov/assets/uploads/fil>.
25. IDOT. (2020). *Pavement Preservation and Rehabilitation Strategies.Chapter fifty-three.Bureau of Design and Environment Manual. Illinois Department of Transportation (IDOT)*. Recuperado de: <http://www.idot.illinois.gov/assets/uploads/fil>.
26. IMT. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos.Publicación Técnica No. 197. Instituto Mexicano del Transporte (IMT)*. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt197.pdf>.
27. INVIAS. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles.-Ministerio de Transporte- Instituto Nacional de Vías*. Bogotá D.C, Colombia. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>.
28. INVIAS. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos.-Ministerio de Transporte- Instituto Nacional de Vías*. Bogotá D.C, Colombia. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos/file>.
29. INVIAS. (2008). *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Segunda edición. Instituto Nacional de Vías (INVIAS)*. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas>.
30. ISSA. (2010). *Recommended Performance Guideline for Micro Surfacing, ISSA A143 (revised Feb. 2010). International Slurry Surfacing Association (ISSA)*.
31. Johnson, A. (2000). *Best Practices Handbook on Asphalt Pavement Maintenance, MnDOT Report MN/RC 2000-04, Minnesota Department of Transportation (MnDOT)*. St. Paul, Minnesota, USA. Recuperado de: <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/199769>.
32. Kelly, G., Delaney, D., Chai, G., & Mohamed, S. (2016). Optimising Local Council's return on investment from annual pavement rehabilitation budgets through targeting of the average pavement condition index. *Traffic Transp. Eng.*, 3(5) 465-474. DOI:10.1016/j.jtte.2016.09.008.

33. LanammeUCR. (2011). *Evaluación de la Red Vial Cantonal de Montes de Oca: Tramos homogéneos. Unidad de Gestión Municipal. Informe No. LM-PI-GM-08-2011.*
34. LanammeUCR. (2019). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica años 2018-2019. Informe LM-PI-UGERVN-004-19. PITRA-LanammeUCR.* Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1750>.
35. LanammeUCR. (2020). *Evaluación de la Ruta Nacional 1 Carretera Interamericana Norte, tramo Cañas - Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Informe: LM – PI – UGERVN – 8 – 2020.* Recuperado de: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1930>.
36. Lee, J., & Shields, T. (2010). *Treatment Guidelines for Pavement Preservation. Publication FHWA/IN/JTRP-2010/01. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University (InDOT).* West Lafayette, Indiana, USA. DOI.10.5703/1288284314270.
37. Leiva, P. (2012). *Utilización de geosintéticos en pavimentos como estrategia contra el reflejo de grietas (Propuesta de Estudio de Tesis de posgrado). Universidad de Costa Rica. San, José, Costa Rica:.*
38. Maher, M., Marshall, C., Harrison, F., & Baumgaertner, K. (2005). *Context sensitive roadway surfacing selection guide. Report. No. FHWA-CFL/TD-05-004. Federal Highway Administration. Central Federal Lands Highway Division.* Recuperado de: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/42940>.
39. MDOT. (2013). *Cost effectiveness of the MDOT preventive maintenance program (No. RC-1579). Michigan Department of Transportation (MDOT).* Recuperado de: https://www.michigan.gov/documents/mdot/RC-1579_-_Cost_Effectiveness_of_Preventive_Maintenance_421799_7.pdf.
40. MnDOT. (2006). *State Aid Concrete Pavement Rehabilitation Best Practices Manual 2006. Manual Number 2006-31. Minnesota Department of Transportation (MnDOT).* Recuperado de: <https://www.lrrb.org/pdf/200631.pdf>.
41. MnDOT. (2020). *Pavement Preservation Manual. Minnesota Department of Transportation (MnDOT).* Recuperado de: <http://www.dot.state.mn.us/materials/pavementpreservation/manualsandguides/documents/PP%20signed%20Manual%20Revised%20Feb2020.pdf>.
42. MOPT. (2015). *Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).* San José, Costa Rica.

43. MOPT. (2016). *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica (MAV 2016)*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). San José, Costa Rica.
44. MTI. (2019). *Manual for Chip Seals*. Mineta Transportation Institute (MTI) San José State University (SJSU). Recuperado de: <https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/1845A-Chip-Seal-Manual.pdf>.
45. Murillo, M. R. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con RAP (Tesis de pregrado)* Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. .
46. NCHRP. (2010). *Microsurfacing. A Synthesis of Highway Practice. Synthesis 411*. Recuperado de: <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/164562.aspx>.
47. NCHRP. (2011). *Manual for Emulsion-Based Chip Seals for Pavement Preservation. NCHRP Report 680*. Recuperado de: <https://www.nap.edu/download/14421>.
48. NCHRP. (2015). *Appendices to NCHRP Report 810: Consideration of Preservation in Pavement Design and Analysis Procedures*. Recuperado de: <https://www.nap.edu/read/22108/chapter/10>.
49. NDOT. (2018). *State-of-the-Practice in Chip Seal, Slurry Seal, Micro Surfacing, and Thin Lift Asphalt Overlay Construction Quality Assurance. Report No. 715-15-050*. Nevada Department of Transportation (NDOT). Recuperado de: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/36853>.
50. Ocampo, I. A. (2008). *Conservación de Carreteras Federales libres de peajes*. Academia de Ingeniería Mexico. Recuperado de: http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/6/Conservacion_de_carreteras_federale_s_libres_de_peaje.pdf.
51. PCA. (2012). *The New Paving Realities: The Impact of Asphalt Cost Escalator Clauses on State Finances*. Portland Cement Association (PCA). Illinois, U.S.A. Recuperado de: http://www2.cement.org/econ/pdf/escalator_report_2-27-12.pdf.
52. Peshkin, D., Smith, K., Wolters, A., & Krstulovich, J. (2011). *Guidelines for the Preservation of High-Traffic-Volume Roadways. SHRP 2 Report S2-R26-RR-2*. Washintong, D.C, USA. Recuperado de: <https://www.nap.edu/download/14487>.
53. Peshkin, D.; Hoerner, T.; Zimmerman, K. (2004). *Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Measures, NCHRP Report 523, Transportation Research Board*. Washington, DC, USA. Recuperado de: <https://www.nap.edu/read/13772/chapter/2>.
54. PIARC. (2014). *Importancia de la conservación de carreteras. Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC). Reporte No. 2014R02ES*. Recuperado

de:<https://www.piarc.org/es/pedido-de-publicacion/22252-es-Importancia%20de%20la%20conservaci%C3%B3n%20de%20carreteras>.

55. Plati, C. (2019). Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. . *Construction and Building Materials*, 211(2019), 539–555. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242.
56. Rico, A., Téllez, R., & Garnica, P. (1998). *Pavimentos Flexibles. Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias. Instituto Mexicano del Transporte*. Sanfandila, Qro. México. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt104.pdf>.
57. Rodriguez, J. (2012). *Plan de inversión a nivel estratégico en pavimentos flexibles de la Red Vial Nacional (Tesis de pregrado) Universidad de Costa Rica, Costa Rica*. Recuperado de:<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/3349>.
58. Ruiz, R. E. (2008). *Propuesta para la implementación de un sistema de admistración de pavimentos para la red vial de la ciudad de Mazatlán (Tesis para optar por el grado Maestro en Ingeniería) Universidad Nacional Autónoma de México*. México, D.F.
59. SDDOT. (2010). *Pavement Preservation Manual. South Dakota Department of Transportation (SDDOT)*. Recuperado de:<https://dot.sd.gov/media/documents/PavementPreservationGuidelines1112011.pdf>.
60. Secretaria de Comunicaciones y Trasportes (SCT). (2014). *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México 2014*. México D.F. Recuperado de:<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/guia-carreteras.pdf>.
61. SHRP. (2011). *Preservation Approaches for High-Traffic-Volume Roadways—second Strategic Highway Research Program (SHRP2). Report S2–R26-RR-1*. Recuperado de:https://www.nap.edu/login.php?record_id=14508.
62. Smith, K., Harrington, D., Pierce, L., & Preshant Ram, a. K. (2014). *Concrete Pavement Preservation Guide, Second Edition*. FHWA Publication No. FHWA-HIF-14-014. Washington, D.C. USA. Recuperado de:<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38556>.
63. Solminihaç, H. d. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial. Santiago, Chile: Textos Universitarios*.
64. Transportation Association of Canada. (1997). *Pavement Management and Design Guide. Ottawa*.
65. Wei, C., & Tighe, S. (2004). *Development of Preventive Maintenance Decision Trees Based on Cost-Effectiveness Analysis: An Ontario Case Study. Transportation Research*

- Record: Journal of the Transportation Research Board* . 1866, 9–19. Doi:10.3141/1866-02.
66. WisDOT. (2007). *Evaluation of the uretek method of pavement lifting*. Report No. WI-02-07. Wisconsin Department of Transportation (WisDOT). Recuperado de: <https://wisconsindot.gov/documents2/research/wi-02->
67. Wood, T., Olson, R., Lukanem, E., Wendel, M., & Watson., M. (2009). *Preventive Maintenance Best Management Practices of Hot Mix Asphalt Pavements, MnDOT Report MN/RC 2009-18, Minnesota Department of Transportation (MnDOT)*. Minnesota, USA. Recuperado de: <https://www.lrrb.org/media/reports/200918.pdf>.
68. Zaniewski, J., & Mamlouk, M. (1996). *Preventive Maintenance Effectiveness -Preventive Maintenance Treatments.FHWA, Report. No. FHWA-SA-96-027*. Washintong D.C. U.S.A. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/013565.pdf>.
69. Zhou, G., & Wang, L. (2012). Co-location decision tree for enhancing decision-making of pavement maintenance and rehabilitation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* , 21(1), 287–305. doi:10.1016/j.trc.2011.10.007.
70. Zimmerman, K., & Peshkin, D. (2003). *Integrating Preventive Maintenance and Pavement Management Practices*. Champaign, IL, USA. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/229015462_Integrating_Preventive_Maintenance_and_Pavement_Management_Practices.

Apéndices

Apéndice I. Levantamientos de deterioros y Cálculos de PCI tramos 2F,3R y 4R

Tabla 84. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M1 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|---|-------|--------------|---------------------|--------------------|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | M | 4.34 | | | 4.34 | 1.55 | 25.00 | 25 |
| 2 | B | 8.3 | | | 8.3 | 2.96 | 2.00 | 25 |
| 2 | M | 50.1 | | | 50.1 | 17.89 | 25.00 | 10 |
| 18 | B | 16.18 | | | 16.18 | 5.78 | 10.00 | 2 |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | |
| No. Máximo de valores deducidos= | | 7.89 | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | q | VDT | VDC | |
| | (1) 1M | (2) 2 M | (3) 18 B | | | | | |
| 1 | 25 | 25 | 10 | | 3 | 60 | 38 | |
| 2 | 25 | 25 | 2 | | 2 | 52 | 37 | |
| 3 | 25 | 2 | 2 | | 1 | 29 | 30 | |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | 38 | |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | 62 | |
| Calificación | | | | | | | Malo | |

Tabla 85. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 2 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|---------|---------|--------------|---------------------|--------------------|-----|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | | |
| 1 | B | 1.16 | | | 1.16 | 0.41 | 4.00 | 30 | |
| 1 | M | 6.65 | | | 6.65 | 2.38 | 30.00 | 19 | |
| 2 | B | 18.1 | | | 18.1 | 6.46 | 4.00 | 8 | |
| 2 | M | 29 | | | 29 | 10.36 | 19.00 | 4 | |
| 8 | B | 2.7 | | | 2.7 | 0.96 | 2.00 | 4 | |
| 18 | B | 9.99 | | | 9.99 | 3.57 | 8.00 | 4 | |
| 18 | M | 0.7 | | | 0.7 | 0.25 | 4.00 | 2 | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | | 7.43 | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1M | (2) 2 M | (3) 18 B | (4) 1 B | (5) 2 B | (6) 18 M | | | |
| 1 | 30 | 19 | 8 | 4 | 4 | 4 | 6 | 69 | 30 |
| 2 | 30 | 19 | 8 | 4 | 4 | 2 | 5 | 67 | 34 |
| 3 | 30 | 19 | 8 | 4 | 2 | 2 | 4 | 65 | 36 |
| 4 | 30 | 19 | 8 | 2 | 2 | 2 | 3 | 63 | 40 |
| 4 | 30 | 19 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 57 | 42 |
| 6 | 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 40 | 40 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | 42 | |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | | 58 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | Malo | |

Tabla 86. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 3 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | |
|---|--|---------|--------|--------|--------|--------------|---------------------|--------------------|--------------|-----|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| 1 | B | 5.2 | | | 5.2 | 1.86 | 16.00 | 43 | | |
| 1 | M | 25.88 | | | 25.88 | 9.24 | 43.00 | 16 | | |
| 2 | B | 17.6 | | | 17.6 | 6.29 | 5.00 | 8 | | |
| 2 | M | 2 | | | 2 | 0.71 | 5.50 | 8 | | |
| 18 | B | 9.56 | | | 9.56 | 3.41 | 8.00 | 8 | | |
| 18 | M | 1.96 | | | 1.96 | 0.70 | 8.00 | 5.5 | | |
| 19 | B | 1 | | | 1 | 0.36 | 8.00 | 5 | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 6.23 | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1M | (2) 1 B | (3) 18 | (4) 18 | (5) 19 | (6) 2 M | (0.23*7) 2 | | | |
| 1 | 43 | 16 | 8 | 8 | 8 | 5.5 | 1.17 | 6 | 89.67 | 42 |
| 2 | 43 | 16 | 8 | 8 | 8 | 2 | 1.17 | 5 | 86.17 | 44 |
| 3 | 43 | 16 | 8 | 8 | 2 | 2 | 1.17 | 4 | 80.17 | 44 |
| 4 | 43 | 16 | 8 | 2 | 2 | 2 | 1.17 | 3 | 74.17 | 48 |
| 5 | 43 | 16 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.17 | 2 | 68.17 | 48 |
| 6 | 43 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.17 | 1 | 54.17 | 52 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | 52 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | | 48 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | | Pobre | |

Tabla 87. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 4 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | |
|---|--|----------|----------|---------|-------|--------------|---------------------|--------------------|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | A | 11 | | | 11 | 3.93 | 49.00 | 49 |
| 2 | B | 6.5 | | | 6.5 | 2.32 | 0.00 | 19 |
| 2 | M | 5.5 | | | 5.5 | 1.96 | 5.00 | 8 |
| 15 | M | 38.1 | | | 38.1 | 13.60 | 19.00 | 5 |
| 18 | B | 8.44 | | | 8.44 | 3.01 | 8.00 | 2 |
| 20 | B | 4.48 | | | 4.48 | 1.60 | 2.00 | 0 |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | | 5.68 | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | q | VDT | VDC | |
| | (1) 1 A | (2) 15 M | (3) 18 B | (4) 2 M | | | | |
| 1 | 49 | 19 | 8 | 5 | 4 | 81 | 50 | |
| 2 | 49 | 19 | 8 | 2 | 3 | 78 | 48 | |
| 3 | 49 | 19 | 2 | 2 | 2 | 72 | 51 | |
| 4 | 49 | 2 | 2 | 2 | 1 | 55 | 53 | |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | 53 | |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | 47 | |
| Calificación de condición | | | | | | | Pobre | |

Tabla 88. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 5 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|---------|-------|--------------|---------------------|--------------------|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | M | 14.3 | | | 14.3 | 5.11 | 39.00 | 50 |
| 1 | A | 12.8 | | | 12.8 | 4.57 | 50.00 | 39 |
| 2 | B | 51.7 | | | 51.7 | 18.46 | 11.00 | 21 |
| 2 | M | 3.7 | | | 3.7 | 1.32 | 2.00 | 11 |
| 18 | B | 60.4 | | | 60.4 | 21.56 | 21.00 | 2 |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | | 5.59 | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | q | VDT | VDC | |
| | (1) 1 A | (2) 1 M | (3) 18 B | (4) 2 B | | | | |
| 1 | 50 | 39 | 21 | 11 | 4 | 121 | 66 | |
| 2 | 50 | 39 | 21 | 2 | 3 | 112 | 68 | |
| 3 | 50 | 39 | 2 | 2 | 2 | 93 | 64 | |
| 4 | 50 | 2 | 2 | 2 | 1 | 56 | 53 | |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | 68 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | 32 | |
| Calificación de condición | | | | | | | Muy Pobre | |

Tabla 89. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 6 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|---------|---------|--------------|---------------------|--------------------|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | B | 24.2 | | | 24.2 | 8.64 | 30.00 | 30 |
| 1 | M | 1.7 | | | 1.70 | 0.60 | 18.00 | 28 |
| 2 | B | 14.5 | | | 14.5 | 5.18 | 3.00 | 21 |
| 2 | M | 65.6 | | | 65.6 | 23.43 | 28.00 | 18 |
| 18 | B | 17.81 | | | 17.81 | 6.36 | 21.00 | 3 |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | | 7.43 | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 B | (2) 2 M | (3) 18 B | (4) 1 M | (5) 2 B | | | |
| 1 | 30 | 28 | 21 | 18 | 3 | 5 | 100 | 50 |
| 2 | 30 | 28 | 21 | 18 | 2 | 4 | 99 | 56 |
| 3 | 30 | 28 | 21 | 2 | 2 | 3 | 83 | 52 |
| 4 | 30 | 28 | 2 | 2 | 2 | 2 | 64 | 45 |
| 5 | 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 38 | 38 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | 56 |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | 44 |
| Calificación de condición | | | | | | | | Pobre |

Tabla 90. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 7 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|---------|-------|--------------|---------------------|--------------------|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | M | 15.7 | | | 15.7 | 5.61 | 38.00 | 38 |
| 1 | A | 1.3 | | | 1.3 | 0.46 | 20.00 | 30 |
| 2 | B | 8.1 | | | 8.1 | 2.89 | 1.00 | 21 |
| 2 | M | 83.8 | | | 83.8 | 29.93 | 30.00 | 20 |
| 18 | B | 48.3 | | | 48.3 | 17.25 | 21.00 | 1 |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | |
| No. Máximo de valores deducidos= | | 6.69 | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | q | VDT | VDC | |
| | (1) 1 M | (2) 2 M | (3) 18 B | (4) 1 A | | | | |
| 1 | 38 | 30 | 21 | 20 | 4 | 109 | 60 | |
| 2 | 38 | 30 | 21 | 2 | 3 | 91 | 57 | |
| 3 | 38 | 30 | 2 | 2 | 2 | 72 | 51 | |
| 4 | 38 | 2 | 2 | 2 | 1 | 44 | 44 | |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | 60 | |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | 40 | |
| Calificación de condición | | | | | | | Muy pobre | |

Tabla 91. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 8 tramo 2F

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|----------|-------|--------------|---------------------|--------------------|
| Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | | | Total | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) |
| | | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | M | 46.81 | | | 46.81 | 16.72 | 50.00 | 50 |
| 2 | B | 10.3 | | | 10.3 | 3.68 | 1.00 | 26 |
| 2 | M | 58.8 | | | 58.8 | 21.00 | 26.00 | 16 |
| 18 | B | 30 | | | 30 | 10.71 | 16.00 | 5 |
| 18 | M | 7.08 | | | 7.08 | 2.53 | 5.00 | 1 |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | | 5.59 | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 M | (2) 2 M | (3) 18 B | (4) 18 M | | | | |
| 1 | 50 | 26 | 16 | 5 | | 4 | 97 | 55 |
| 2 | 50 | 26 | 16 | 2 | | 3 | 94 | 59 |
| 3 | 50 | 26 | 2 | 2 | | 2 | 80 | 56 |
| 4 | 50 | 2 | 2 | 2 | | 1 | 56 | 55 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | 59 |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | | 41 |
| Calificación de condición | | | | | | | | Pobre |

Tabla 92. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI en tramo 3R (UGERVN)

| UM | # losas | Deterioro (No.)* | Severidad | Cantidad de losas | Densid (%) | Valor deducido (VD) | VD (orden) a | m | VD Total | q2 | | q2 | | PCI | Calificación |
|----|------------|---------------------|-----------|----------------------|---------------|---------------------------|--------------------|------|-------------|-------------|-----|-------------|----|-----|--------------|
| | | | | | | | | | | Suma VDC | VDC | Suma VDC | q1 | | |
| 1 | 24 | 2 | M | 1 | 4.2% | 4 | 4 | | 7 | | | | | 93 | Buena |
| 1 | | 4 | B | 1 | 4.2% | 1 | 2 | | | | | | | | |
| 1 | | 8 | B | 1 | 4.2% | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 2 | 24 | 10 | N/A | 2 | 8.3% | 2 | 2 | | 2 | | | | | 98 | Buena |
| 3 | 24 | 1 | B | 1 | 4.2% | 2 | 5 | | 7 | | | | | 93 | Buena |
| 3 | | 1 | M | 1 | 4.2% | 5 | 2 | | | | | | | | |
| 3 | | 10 | N/A | 1 | 4.2% | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 4 | 24 | 10 | N/A | 4 | 16.7% | 3 | 3 | | 3 | | | | | 97 | Buena |
| 5 | 24 | 10 | N/A | 2 | 8.3% | 2 | 2 | | 2 | | | | | 98 | Buena |
| 6 | 24 | 1 | M | 1 | 4.2% | 5 | 5 | | 7 | | | | | 93 | Buena |
| 6 | | 10 | N/A | 2 | 8.3% | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 7 | 24 | 1 | B | 2 | 8.3% | 4 | 5 | 9.36 | 9 | 9 | 5 | 7 | 8 | 92 | Buena |
| 7 | | 1 | M | 1 | 4.2% | 5 | 4 | | | | | | | | |
| 8 | 24 | 4 | B | 1 | 4.2% | 1 | 2 | | 3 | | | | | 97 | Buena |
| 8 | | 8 | B | 1 | 4.2% | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 9 | 24 | 10 | N/A | 11 | 45.8% | 9 | 9 | | 9 | | | | | 91 | Buena |
| 10 | 24 | 1 | M | 1 | 4.2% | 2 | 2 | | 6 | | | | | 94 | Buena |
| 10 | | 10 | N/A | 3 | 12.5% | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 10 | | 8 | B | 1 | 4.2% | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 11 | 24 | 10 | N/A | 1 | 4.2% | 0 | 0 | | 0 | | | | | 100 | Buena |
| 12 | 24 | 1 | M | 2 | 8.3% | 7 | 7 | | 9 | | | | | 91 | Buena |
| 12 | | 10 | N/A | 2 | 8.3% | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 13 | 24 | 1 | M | 1 | 4.2% | 5 | 5 | 9.36 | 9 | 9 | 5 | 7 | 8 | 92 | Buena |
| 13 | | 10 | N/A | 6 | 25.0% | 4 | 4 | | | | | | | | |
| 14 | 24 | 4 | B | 1 | 4.2% | 1 | 4 | | 5 | | | | | 95 | Buena |
| 14 | | 10 | N/A | 6 | 25.0% | 4 | 1 | | | | | | | | |

| UM | # losas | Deterioro (No.)* | Severidad | Cantidad de losas | Densid (%) | Valor deducido (VD) | VD (orden) a | m | VD Total | q2 | | q2 | | PCI | Calificación |
|----|------------|---------------------|-----------|----------------------|---------------|---------------------------|--------------------|------|-------------|-------------|-----|-------------|----|-----|--------------|
| | | | | | | | | | | Suma VDC | VDC | Suma VDC | q1 | | |
| 15 | 24 | 10 | N/A | 14 | 58.3% | 11 | 11 | | 11 | | | | | 89 | Buena |
| 16 | 24 | 4 | M | 1 | 4.2% | 1 | 4 | | 5 | | | | | 95 | Buena |
| 16 | | 10 | N/A | 5 | 20.8% | 4 | 1 | | | | | | | | |
| 17 | 24 | 1 | M | 1 | 4.2% | 5 | 9 | 8.90 | 14 | 14 | 11 | 11 | 11 | 89 | Buena |
| 17 | | 10 | N/A | 11 | 45.8% | 9 | 5 | | | | | | | | |
| 18 | 24 | 10 | N/A | 4 | 16.7% | 3 | 3 | | 3 | | | | | 97 | Buena |
| 19 | 24 | 10 | N/A | 2 | 8.3% | 2 | 2 | | 2 | | | | | 98 | Buena |

*Nota: La numeración de los deterioros corresponde a la mostrada en el MAV-2016.

Tabla 93. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 1 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|---------|--------------|---------------------|--------------------|----------|------|--------|------------------|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | | | |
| 1 | 20 | 1 | B | 10 | 50.00 | 19.00 | 25 | | | | |
| | | 1 | M | 5 | 25.00 | 19.00 | 22 | | | | |
| | | 1 | A | 3 | 15.00 | 25.00 | 20 | | | | |
| | | 4 | A | 2 | 10.00 | 19.50 | 19.5 | | | | |
| | | 6 | A | --- | --- | 8.00 | 19 | | | | |
| | | 15 | M | 1 | 5.00 | 16.00 | 19 | | | | |
| | | 15 | A | 1 | 5.00 | 20.00 | 16 | | | | |
| | | 16 | B | 14 | 70.00 | 22.00 | 8 | | | | |
| | | 17 | B | 2 | 10.00 | 0.00 | 0 | | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 7.89 | | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 A | (2) 16 B | (3) 15 A | (4) 4 A | (5) 1 B | (6) 1 | (7) 15 | (8*0.89) | | | |
| 1 | 25 | 22 | 20 | 19.5 | 19 | 19 | 16 | 7.10 | 7.89 | 147.60 | 68 |
| 2 | 25 | 22 | 20 | 19.5 | 19 | 19 | 16 | 2 | 7 | 142.50 | 66 |
| 3 | 25 | 22 | 20 | 19.5 | 19 | 19 | 2 | 2 | 6 | 128.50 | 64 |
| 4 | 25 | 22 | 20 | 19.5 | 19 | 2 | 2 | 2 | 5 | 111.50 | 60 |
| 5 | 25 | 22 | 20 | 19.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 94.50 | 58 |
| 6 | 25 | 22 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 77.00 | 48 |
| 7 | 25 | 22 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 59.00 | 44 |
| 8 | 25.0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 39.00 | 38 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | | | 68 |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | | | | | 32 |
| Calificación de condición | | | | | | | | | | | Muy pobre |

Tabla 94. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 2 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|---------|--------------|---------------------|--------------------|-------|---|--------------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | | | |
| 2 | 20 | 1 | B | 14 | 70.00 | 21.00 | 21 | | | | |
| | | 1 | M | 6 | 30.00 | 20.00 | 20 | | | | |
| | | 2 | B | 4 | 20.00 | 18.00 | 18 | | | | |
| | | 4 | B | 1 | 5.00 | 0.00 | 18 | | | | |
| | | 4 | A | 2.0 | 10.0 | 18.00 | 18 | | | | |
| | | 6 | A | | 0.00 | 8.00 | 8 | | | | |
| | | 8 | B | 2 | 10.00 | 2.00 | 4 | | | | |
| | | 8 | M | 1 | 5.00 | 3.00 | 3 | | | | |
| | | 16 | B | 9 | 45.00 | 18.00 | 2 | | | | |
| | | 16 | M | 1 | 5.00 | 4.00 | 2 | | | | |
| | | 17 | B | 6 | 30.00 | 2.00 | 0 | | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 8.26 | | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 B | (2) 1 M | (3) 2 B | (4) 4 A | (5) 16 B | (6) 6 | (7) 16 | (8) 8 | | | |
| 1 | 21 | 20 | 18 | 18 | 18 | 8 | 4 | 3 | 8 | 110.00 | 51 |
| 2 | 21 | 20 | 18 | 18 | 18 | 8 | 4 | 2 | 7 | 109.00 | 52 |
| 3 | 21 | 20 | 18 | 18 | 18 | 8 | 2 | 2 | 6 | 107.00 | 54 |
| 4 | 21 | 20 | 18 | 18 | 18 | 2 | 2 | 2 | 5 | 101.00 | 54 |
| 5 | 21 | 20 | 18 | 18 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 85.00 | 48 |
| 6 | 21 | 20 | 18 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 69.00 | 43 |
| 7 | 21 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 53.00 | 40 |
| 8 | 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 35.00 | 36 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | | 54 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | | | 46 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | | | pobre | |

Tabla 95. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 3 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|---------|--------------|---------------------|--------------------|---|--------------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | | |
| 3 | 20 | 1 | B | 11 | 55.00 | 21.00 | 25 | | | |
| | | 1 | M | 8 | 40.00 | 25.00 | 21 | | | |
| | | 2 | B | 3 | 15.00 | 12.00 | 20 | | | |
| | | 2 | M | 1 | 5.00 | 9.00 | 12 | | | |
| | | 4 | B | 3.0 | 15.0 | 2.00 | 9 | | | |
| | | 6 | A | | | 8.00 | 8 | | | |
| | | 16 | B | 12 | 60.00 | 20.00 | 4 | | | |
| | | 17 | B | 8 | 40.00 | 4.00 | 2 | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 7.89 | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 M | (2) 1 B | (3) 16 B | (4) 2 B | (5) 2 M | (6) 6 | (7) 17 | | | |
| 1 | 25 | 21 | 20 | 12 | 9 | 8 | 4 | 7 | 99.00 | 46 |
| 2 | 25 | 21 | 20 | 12 | 9 | 8 | 2 | 6 | 97.00 | 48 |
| 3 | 25 | 21 | 20 | 12 | 9 | 2 | 2 | 5 | 91.00 | 48 |
| 4 | 25 | 21 | 20 | 12 | 2 | 2 | 2 | 4 | 84.00 | 48 |
| 5 | 25 | 21 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 74.00 | 46 |
| 6 | 25 | 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 56.00 | 42 |
| 7 | 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 37.00 | 38 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | 48 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | | 52 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | | Pobre | |

Tabla 96. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 4 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|-------------|---------|--------------|----------------|--------------------|-------|------------|------|--------------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad * | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido | VD (Mayor a menor) | | | | | |
| 4 | 20 | 1 | B | 10 | 50.00 | 19.50 | 20 | | | | | |
| | | 1 | M | 4 | 20.00 | 14.00 | 20 | | | | | |
| | | 2 | M | 1 | 5.00 | 9.00 | 19 | | | | | |
| | | 4 | A | 1 | 5.00 | 10.00 | 14 | | | | | |
| | | 5 | B | 2.0 | 10.00 | 10.00 | 14 | | | | | |
| | | 5 | M | 2 | 10.00 | 20.00 | 10 | | | | | |
| | | 6 | A | -- | -- | 8.00 | 10 | | | | | |
| | | 8 | B | 2 | 10.00 | 1.00 | 9 | | | | | |
| | | 15 | M | 2 | 10.00 | 14.00 | 8 | | | | | |
| | | 16 | B | 10 | 50.00 | 19.00 | 3 | | | | | |
| | | 16 | M | 1 | 5.00 | 3.00 | 2 | | | | | |
| | | 17 | B | 6 | 30.00 | 2.00 | 1 | | | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 8.35 | | | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 5 M | (2) 1 B | (3) 16 B | (4) 1 M | (5) 15 | (6) 4 | (7) 5 | (8) 2 | (9*0.35) 6 | | | |
| 1 | 20 | 19.5 | 19 | 14 | 14 | 10 | 10 | 9 | 2.78 | 8.35 | 118.28 | 54 |
| 2 | 20 | 19.5 | 19 | 14 | 14 | 10 | 10 | 9 | 2 | 8 | 117.50 | 54 |
| 3 | 20 | 19.5 | 19 | 14 | 14 | 10 | 10 | 2 | 2 | 7 | 110.50 | 54 |
| 4 | 20 | 19.5 | 19 | 14 | 14 | 10 | 2 | 2 | 2 | 6 | 102.50 | 52 |
| 5 | 20 | 19.5 | 19 | 14 | 14 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 94.50 | 50 |
| 6 | 20 | 19.5 | 19 | 14 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 82.50 | 47 |
| 7 | 20 | 19.5 | 19 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 70.50 | 44 |
| 8 | 20.0 | 19.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 53.50 | 42 |
| 9 | 20.0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 36.00 | 36 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | | | 54 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | | | | 46 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | | | | Pobre | |

Tabla 97. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 5 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|----------|--------------|---------------------|--------------------|----------|---|-------------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | | | |
| 5 | 20 | 1 | B | 14 | 70.00 | 21.00 | 21 | | | | |
| | | 1 | M | 3 | 15.00 | 12.00 | 13 | | | | |
| | | 2 | B | 2 | 10.00 | 8.00 | 12 | | | | |
| | | 5 | B | 1 | 5.00 | 6.00 | 9 | | | | |
| | | 6 | A | | | 8.00 | 8 | | | | |
| | | 15 | M | 1.0 | 5.00 | 13.00 | 8 | | | | |
| | | 16 | B | 5 | 25.00 | 9.00 | 6 | | | | |
| | | 16 | M | 1 | 5.00 | 3.00 | 3 | | | | |
| | | 17 | B | 4 | 20.00 | 1.00 | 1 | | | | |
| | | 17 | M | 1 | 5.00 | 1.00 | 1 | | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 8.26 | | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 B | (2) 15 M | (3) 1 M | (4) 16 B | (5) 2 B | (6) 6 A | (7) 5 B | (8) 16 M | | | |
| 1 | 21 | 13 | 12 | 9 | 8 | 8 | 6 | 3 | 8 | 80.00 | 36 |
| 2 | 21 | 13 | 12 | 9 | 8 | 8 | 6 | 2 | 7 | 79.00 | 38 |
| 3 | 21 | 13 | 12 | 9 | 8 | 8 | 2 | 2 | 6 | 75.00 | 37 |
| 4 | 21 | 13 | 12 | 9 | 8 | 2 | 2 | 2 | 5 | 69.00 | 37 |
| 5 | 21 | 13 | 12 | 9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 63.00 | 36 |
| 6 | 21 | 13 | 12 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 56.00 | 36 |
| 7 | 21 | 13 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 46.00 | 36 |
| 8 | 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 35.00 | 36 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | | 38 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | | | 62 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | | | Malo | |

Tabla 98. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 6 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|---------|--------------|---------------------|--------------------|-------------|-------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | | |
| 6 | 20 | 1 | B | 15 | 75.00 | 21.00 | 21 | | | |
| | | 1 | M | 1 | 5.00 | 5.00 | 11 | | | |
| | | 2 | B | 3 | 15.00 | 11.00 | 9 | | | |
| | | 2 | M | 1 | 5.00 | 8.00 | 8 | | | |
| | | 5 | B | 1.0 | 5.00 | 6.00 | 8 | | | |
| | | 6 | A | | 0.00 | 8.00 | 6 | | | |
| | | 8 | B | 1 | 5.00 | 1.00 | 5 | | | |
| | | 16 | M | 3 | 15.00 | 9.00 | 1 | | | |
| | | 17 | B | 2 | 10.00 | 0.00 | 0 | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 8.26 | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 B | (2) 2 B | (3) 16 M | (4) 2 M | (5) 6 A | (6) 5 B | (7) 1 M | | | |
| 1 | 21 | 11 | 9 | 8 | 8 | 6 | 5 | 7 | 68.00 | 32 |
| 2 | 21 | 11 | 9 | 8 | 8 | 6 | 2 | 6 | 65.00 | 32 |
| 3 | 21 | 11 | 9 | 8 | 8 | 2 | 2 | 5 | 61.00 | 32 |
| 4 | 21 | 11 | 9 | 8 | 2 | 2 | 2 | 4 | 55.00 | 31 |
| 5 | 21 | 11 | 9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 49.00 | 32 |
| 6 | 21 | 11 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 42.00 | 33 |
| 7 | 21 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 33.00 | 32 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | 33 | | |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | | 67 | | |
| Calificación de condición | | | | | | | | Malo | | |

Tabla 99. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 7 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|----------|--------------|---------------------|--------------------|-------------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | |
| 7 | 20 | 1 | B | 18 | 90.00 | 23.00 | 23 | | |
| | | 1 | M | 1 | 5.00 | 5.00 | 20 | | |
| | | 2 | B | 5 | 25.00 | 20.00 | 15 | | |
| | | 2 | M | 2 | 10.00 | 15.00 | 10 | | |
| | | 6 | A | | 0.00 | 8.00 | 8 | | |
| | | 16 | B | 1 | 5.00 | 1.00 | 5 | | |
| | | 16 | M | 1 | 5.00 | 2.00 | 2 | | |
| | | 16 | A | 1 | 5.00 | 10.00 | 1 | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 8.07 | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 1 B | (2) 2 B | (3) 2 M | (4) 16 A | (5) 6 A | (6) 1 M | | | |
| 1 | 23 | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | 6 | 81.00 | 40 |
| 2 | 23 | 20 | 15 | 10 | 8 | 2 | 5 | 78.00 | 42 |
| 3 | 23 | 20 | 15 | 10 | 2 | 2 | 4 | 72.00 | 41 |
| 4 | 23 | 20 | 15 | 2 | 2 | 2 | 3 | 64.00 | 41 |
| 5 | 23 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 51.00 | 40 |
| 6 | 23 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 33.00 | 33 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | 42 | |
| Índice de condición de pavimento | | | | | | | | 58 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | Malo | |

Tabla 100. Levantamiento de deterioros y cálculo de PCI para U.M 8 tramo 4R

| Cálculo de valores deducidos | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|------------|---------|--------------|---------------------|--------------------|---|--------------|-----|
| U.M | # de losas | Deterioro (No.) | Severidad* | Medidas | Densidad (%) | Valor deducido (VD) | VD (Mayor a menor) | | | |
| 8 | 20 | 1 | B | 12 | 60.00 | 20.00 | 30 | | | |
| | | 1 | M | 1 | 5.00 | 5.00 | 20 | | | |
| | | 4 | M | 2 | 10.00 | 8.00 | 11 | | | |
| | | 4 | A | 5 | 25.00 | 30.00 | 8 | | | |
| | | 6 | A | | 0.00 | 8.00 | 8 | | | |
| | | 16 | B | 4 | 20.00 | 7.00 | 7 | | | |
| | | 16 | M | 4 | 20.00 | 11.00 | 5 | | | |
| | | 17 | B | 2 | 10.00 | 0.00 | 0 | | | |
| *Nota: B M A= Severidad Baja Media Alta | | | | | | | | | | |
| No. Máximo de VD (m)= | 7.43 | | | | | | | | | |
| Proceso iterativo para obtener el MVDC | | | | | | | | | | |
| Orden | Valores deducidos (deterioros auscultados) | | | | | | | q | VDT | VDC |
| | (1) 4 A | (2) 1 B | (3) 16 M | (4) 4 M | (5) 6 A | (6) 16 B | (7) 1 M | | | |
| 1 | 30 | 20 | 11 | 8 | 8 | 7 | 5 | 7 | 89.00 | 42 |
| 2 | 30 | 20 | 11 | 8 | 8 | 7 | 2 | 6 | 86.00 | 44 |
| 3 | 30 | 20 | 11 | 8 | 8 | 2 | 2 | 5 | 81.00 | 43 |
| 4 | 30 | 20 | 11 | 8 | 2 | 2 | 2 | 4 | 75.00 | 44 |
| 5 | 30 | 20 | 11 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 69.00 | 44 |
| 6 | 30 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 60.00 | 45 |
| 7 | 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 42.00 | 42 |
| Máximo valor deducido corregido (MVDC) | | | | | | | | | 45 | |
| Indice de condición de pavimento | | | | | | | | | 55 | |
| Calificación de condición | | | | | | | | | Pobre | |

| UM | Deter. (No)* | Sev | Área | Medida | Densi. | VD | Orden | m | VDC | q4 | | q3 | | q2 | | q1 | | PCI | Condición |
|----|-----------------|-----|------|--------|--------|------|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | | | | | | | | | | sum | CVD | sum | CVD | sum | CVD | sum | CVD | | |
| 11 | 2 | B | 315 | 76.02 | 24.13 | 14.0 | 29.1 | 7.5 | 29.1 | | | | | 43 | 32 | 31 | 31 | 68 | Malo |
| | 1 | B | 315 | 21.55 | 6.84 | 29.1 | 14.0 | | 14.0 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | 315 | 0 | 0.00 | | | | | | | | | | | | 0 | 100 | Bueno |
| 13 | 2 | B | 315 | 8.1 | 2.57 | 1.0 | 4.3 | 9.8 | 4.3 | | | | | 9 | 4 | 6 | 6 | 94 | Bueno |
| | 5 | B | 315 | 11.09 | 3.52 | 3.3 | 3.3 | | 3.3 | | | | | | | | | | |
| | 1 | B | 315 | 0.71 | 0.23 | 4.3 | 1.0 | | 1.0 | | | | | | | | | | |
| 14 | 18 | M | 315 | 0.19 | 0.06 | 2.6 | 3.9 | 9.8 | 3.9 | | | | | 7 | 3 | 6 | 6 | 94 | Bueno |
| | 1 | B | 315 | 17.35 | 5.51 | 3.9 | 2.6 | | 2.6 | | | | | | | | | | |
| 15 | 2 | B | 315 | 15.85 | 5.03 | 3.4 | 18.6 | 8.5 | 18.6 | | | | | | | | | | |
| | 5 | B | 315 | 32.73 | 10.39 | 5.5 | 5.5 | | 5.5 | | | 28 | 15 | 26 | 19 | 23 | 22 | 78 | Satisfactorio |
| | 1 | B | 315 | 7.6 | 2.41 | 18.6 | 3.4 | | 3.4 | | | | | | | | | | |
| 16 | 2 | B | 315 | 45.91 | 14.57 | 10.3 | 28.1 | 7.6 | 28.1 | | | | | | | | | | |
| | 5 | B | 315 | 24.76 | 7.86 | 4.8 | 10.3 | | 10.3 | | | 43 | 27 | 40 | 30 | 32 | 32 | 68 | Malo |
| | 1 | B | 315 | 19.6 | 6.22 | 28.1 | 4.8 | | 4.8 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | 315 | 0 | 0.00 | | | | | | | | | | | | 0 | 100 | Bueno |
| 18 | 15 | M | 315 | 4.9 | 1.56 | 9.4 | 9.4 | | 9.4 | | | | | | | | 9 | 91 | Bueno |
| 19 | 5 | B | 315 | 29.56 | 9.38 | 5.2 | 32.6 | 7.2 | 32.6 | | | | | 38 | 28 | 35 | 35 | 65 | Malo |
| | 1 | B | 315 | 29.98 | 9.52 | 32.6 | 5.2 | | 5.2 | | | | | | | | | | |
| 20 | 2 | B | 315 | 29.48 | 9.36 | 7.2 | 9.6 | 9.3 | 9.6 | | | | | 17 | 11 | 12 | 12 | 88 | Bueno |
| | 5 | M | 315 | 14.18 | 4.50 | 9.6 | 7.2 | | 7.2 | | | | | | | | | | |
| 21 | 1 | B | 315 | 2.99 | 0.95 | 10.3 | 10.3 | | 10.3 | | | | | | | | 10 | 90 | Bueno |
| 22 | 2 | B | 315 | 24.88 | 7.90 | 6.0 | 25.4 | 7.9 | 25.4 | | | | | | | | | | |
| | 5 | B | 315 | 79.8 | 25.33 | 9.7 | 9.7 | | 9.7 | | | 41 | 25 | 37 | 27 | 29 | 29 | 71 | Satisfactorio |
| | 1 | B | 315 | 14.97 | 4.75 | 25.4 | 6.0 | | 6.0 | | | | | | | | | | |
| 23 | 2 | B | 315 | 30.83 | 9.79 | 7.5 | 30.9 | 7.3 | 30.9 | | | | | 38 | 28 | 33 | 33 | 67 | Malo |
| | 1 | B | 315 | 25.5 | 8.10 | 30.9 | 7.5 | | 7.5 | | | | | | | | | | |

*Nota: La numeración de los deterioros corresponde a la mostrada en el MAV-2016