



ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA DE LA INVESTIGACIÓN:

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE PLANES DE INTERVENCIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS VÍAS DE ACCESO A LA COMUNIDAD DE LA ISLA DE MORAVIA, MEDIANTE EL USO DE LA METODOLOGÍA PCI Y METODOLOGÍA DE TOMA DE DECISIONES MULTIVARIABLE.

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE:

JOSE RAMÓN ARTETA CRUZ

TUTOR:

ING. JOSÉ FRANCISCO MADRIGAL RODRÍGUEZ

SEDE CENTRAL, ARANJUEZ, SAN JOSÉ, COSTA RICA

I CUATRIMESTRE, FEBRERO, 2021

Contenido

Capítulo I:.....	9
Planteamiento del Problema.	9
Pregunta de Investigación.....	10
Antecedentes.....	10
Antecedentes Nacionales.....	10
Antecedentes Internacionales	14
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Justificación.	19
Proyecciones.....	20
Alcances	20
Limitantes	20
Capítulo 2: Marco Teórico.....	22
2.1 Definición de Pavimento	22
2.2 Deterioros en Pavimentos Flexibles y su clasificación.....	23
2.3 Metodología del Paviment Condition Index (PCI)	34
2.4 Metodología de Toma de Decisiones Multivariable (TDMV).....	43
2.5 Ubicación del Proyecto	45
2.6 Plan de Mantenimiento para Pavimentos Flexibles	48
2.7 Priorización de Planes de Mantenimiento Vial mediante el Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles (MIVES).....	56
Capítulo 3: Marco Metodológico	60
3.1 Enfoque de la investigación	60
3.2 Tipo de investigación	60
3.3 Sujetos y Fuentes de Información	60
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	61
3.4.1 Metodología del PCI.....	61
3.4.2 Metodología del TDMV:	72
Capítulo 4: Análisis de Resultados	85
4.1 Estado del Pavimento Flexible de las Rutas de Acceso:	85
a. Ruta 1:.....	85

b. Ruta 2:.....	86
c. Ruta 3:	87
4.2 Planes de Mantenimiento Vial de las Rutas de Acceso:	87
a. Plan de Mantenimiento para la Ruta 1:.....	90
b. Plan de Mantenimiento para la Ruta 2:	93
c. Plan de Mantenimiento para la Ruta 3:.....	95
4.3 Criterio Ambiental y sus Indicadores para las Rutas de Acceso:	97
a. Emisiones de CO2 (kg/m):	97
b. Consumo Energético (MJ/m):	100
4.4 Criterio Social y sus Indicadores para las Rutas de Acceso:.....	103
a. Población (Persona):	103
b. Tiempo de Recorrido (min):	104
c. Capacidad de Centros Educativos (Estudiante):	105
d. Tránsito Promedio Diario (ESALS):	106
4.5 Evaluación en MIVES:.....	106
a. Requerimientos:.....	107
b. Criterios:	107
c. Indicadores:.....	107
d. Funciones de Valor:.....	108
e. Pesos:.....	112
4.6 Análisis de Sostenibilidad de las Rutas de Acceso:.....	113
a. Análisis Económico de las Alternativas:.....	114
b. Análisis Ambiental de las Alternativas:	115
c. Análisis Social de las Alternativas:	116
d. Análisis General de Sostenibilidad:	117
4.7 Propuesta Final de Priorización de los Planes de Mantenimiento para las Rutas de Acceso:	120
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones	122
Conclusiones.....	122
Recomendaciones.....	123
Capítulo 6: Referencias Bibliográficas	124

Lista de Tablas

Tabla 1. Deterioros sus principales características, Grupo 1: Grietas	24
Tabla 2. Deterioros y sus principales características, Grupo 2: Deformaciones	27
Tabla 3. Deterioros y sus principales características, Grupo 3: Textura Superficial	29
Tabla 4. Deterioros y sus principales características, Grupo 4: Misceláneos	32
Tabla 5. Longitud de Unidad de muestro según ancho de calzada.....	35
Tabla 6. Criterio de selección de UM a inspeccionar	36
Tabla 7. Tabla Resumen de las UM a Inspeccionar de la Ruta 1	65
Tabla 8. Tabla Resumen de Cálculo de PCI para la Ruta 1	72
Tabla 9. Calculo de PCI para Ruta 1.....	85
Tabla 10. Calculo de PCI para Ruta 2.....	86
Tabla 11. Calculo de PCI para Ruta 3.....	87
Tabla 12. Costos de Intervención Vial en dólares para Planes de Mantenimiento en 2021	89
Tabla 13. Resumen de Deterioros presentes en la Ruta 1.	90
Tabla 14. Propuesta de Plan de Mantenimiento para Ruta de Acceso 1.....	91
Tabla 15. Resumen de Deterioros presentes en la Ruta 2.	93
Tabla 16. Propuesta de Plan de Mantenimiento para Ruta de Acceso 2.....	93
Tabla 17. Resumen de Deterioros presentes en la Ruta 3.	95
Tabla 18. Propuesta de Plan de Mantenimiento para Ruta de Acceso 3.....	95
Tabla 19. Emisiones de CO2 por Tarea de Mantenimiento por Unidad de Medida a 12 años	97
Tabla 20. Emisiones de CO2 de la Ruta 1 por un plazo de 12 años	98
Tabla 21. Emisiones de CO2 de la Ruta 2 por un plazo de 12 años	99
Tabla 22. Emisiones de CO2 de la Ruta 3 por un plazo de 12 años	99
Tabla 23. Consumo Energético por Tarea de Mantenimiento por Unidad de Medida a 12 años.....	100
Tabla 24. Consumo Energético de la Ruta 1 por un plazo de 12 años.....	101
Tabla 25. Consumo Energético de la Ruta 2 por un plazo de 12 años.....	101
Tabla 26. Consumo Energético de la Ruta 3 por un plazo de 12 años.....	102
Tabla 27. Indicador Social de Población.....	103

Tabla 28. Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 1.....	104
Tabla 29. Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 2.....	104
Tabla 30. Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 3.....	105
Tabla 31. Capacidad de Centros Educativos alrededor de las Rutas de Acceso	105
Tabla 32. Transito Promedio Diario	106
Tabla 33. Pesos del Árbol de Requerimientos de la Investigación.....	113
Tabla 34. Análisis del Criterio Ambiental y sus Indicadores	116
Tabla 35. Análisis del Criterio Social y sus Indicadores	117
Tabla 36. Análisis General de Requerimientos	118
Tabla 37. Tabla Comparativa de todos los Indicadores	119
Tabla 38. Propuesta de Priorización de Intervención de Rutas de Acceso	121

Lista de Figuras

Figura 1. Comportamiento del Pavimento Flexible ante las cargas	23
Figura 2. Ecuación de N.....	35
Figura 3. Ecuación de n.....	36
Figura 4. Ecuación de í.....	37
Figura 5. Diagrama de Flujo de la Metodología PCI para Pavimentos Flexibles	38
Figura 6. Ecuación de Densidad.	41
Figura 7. Ecuación de m.....	41
Figura 8. Ecuación de PCI para una UM.	42
Figura 9. Ecuación de PCI para una toda la ruta completa.	42
Figura 10. Ecuación de PCI para una toda la ruta completa.	43
Figura 11. Los Pilares de la Sostenibilidad	44
Figura 12. Mapa de Vías de Acceso a la Comunidad de La Isla de Moravia.	46
Figura 13. Mapa de la Ruta 1	46
Figura 14. Mapa de la Ruta 2	47
Figura 15. Mapa de la Ruta 3	48
Figura 16. Estado del Pavimento Flexible a lo largo del tiempo.....	49

Figura 17. Fases de Deterioro del Pavimento a través del Tiempo	50
Figura 18. Gráfica de Condición del Pavimento en el Tiempo	51
Figura 19. Rango de Calificación del Índice de Serviciabilidad	52
Figura 20. Ciclo de Deterioro Rápido	52
Figura 21. Ciclo de Deterioro Lento	53
Figura 22. Ciclo de Deterioro Tipo Mantenimiento	53
Figura 23. Ciclo de Reconstrucción.....	54
Figura 24. MIVES Programador.....	58
Figura 25. MIVES Usuario.....	58
Figura 26. MIVES Usuario.....	59
Figura 27. MIVES Reporte.....	59
Figura 28. Selección de Longitud de UM	62
Figura 29. Calculo de N para la Ruta 1	62
Figura 30. Calculo de n	63
Figura 31. Selección de n bajo criterio técnico	63
Figura 32. Calculo de i	63
Figura 33. Unidades de Muestreo y su Selección Aleatoria.....	64
Figura 34. Hoja de Levantamiento de Deterioros.....	66
Figura 35. Hoja de Levantamiento de Deterioros de la UM 5 de la Ruta 1.....	67
Figura 36. Ejemplo de Cálculo de Densidad de Deterioro.....	68
Figura 37. Valor Deducido de la Gráfica de Cuero de Lagarto.....	68
Figura 38. Ejemplo de Cálculo de m.....	69
Figura 39. Ejemplo de Cálculo de VDC	69
Figura 40. Ejemplo de Aproximación de VDC	70
Figura 41. Calculo de VDC Máx	71
Figura 42. Calculo de PCI para UM 5	71
Figura 43. Calculo de PCI de Ruta 1	72
Figura 44. Estructura General de MIVES para toma de decisiones	74

Figura 45. Arbol de Decisión Generico del MIVES.....	74
Figura 46. Árbol de Decisión del Proyecto	75
Figura 47. Expresión Matemática General de la Función de Valor.....	78
Figura 48. Formas para Funciones de Valor de MIVES.....	79
Figura 49. Valores para Formas de Funciones de Valor Típicas.....	80
Figura 50. Escala de Comparación de Saaty	81
Figura 51. Matriz AHP de Decisión para MIVES	81
Figura 52. Matriz de Pesos del Nivel de Indicadores Sociales.....	82
Figura 53. Matriz de Decisión alterada por la Consistencia Perfecta	83
Figura 54. Costos Estimados para Tratamientos en Pavimentos MAC	88
Figura 55. Vida Útil de las Tareas de Mantenimiento Propuestas	90
Figura 56. Función de Valor de Costo de Plan de Mantenimiento.....	109
Figura 57. Función de Valor de Emisiones de CO2	110
Figura 58. Función de Valor de Emisiones de CO2	110
Figura 59. Función de Valor de Población.....	111
Figura 60. Función de Valor de Tiempo de Recorrido	111
Figura 61. Función de Valor de Servicios Públicos.....	112
Figura 62. Función de Valor de Tránsito Promedio Diario.....	112
Figura 63. Gráfico de Pastel para Análisis Total de las Rutas de Acceso	114
Figura 64. Gráfico de Barras para Costo de Planes de Mantenimiento	115
Figura 65. Gráfico de Barras para Análisis Ambiental de las Alternativas	115
Figura 66. Gráfico de Barras para Análisis Social de las Alternativas	116
Figura 67. Grafica de Barras para Análisis General de Sostenibilidad.....	118
Figura 68. Gráfico de Barras Comparativo de Todos los Indicadores.....	119

Resumen Ejecutivo

El proyecto de investigación presente muestra un análisis comparativo de tres rutas de acceso a la comunidad de la Isla de Moravia, San José; trazadas por el investigador. Para ello se han separado la tesis en dos grandes apartados: la metodología del PCI y la metodología de TDMV.

La metodología del PCI (Paviment Condition Index) consiste en realizar una inspección visual de la carretera, para recolectar y efectuar un levantamiento de los deterioros presentes en las rutas en cuestión. Para luego, a partir de esos datos calcular el PCI mediante la aplicación de la norma ASTM-D6433-11; y generar para cada ruta una propuesta de plan de mantenimiento para un plazo de 12 años con una periodicidad de 3 años para cada intervención.

Por otra parte, la metodología de TDMV simplifica análisis que evalúa varios parámetros de forma simultánea. Donde se busca una evaluación basada en los tres grandes pilares la sostenibilidad: económico, ambiental y social; con el fin de buscar soluciones que tomen en cuenta estas áreas. Con el objetivo de cuantificar los pilares de la sostenibilidad se seleccionaron siete indicadores: costo de plan de mantenimiento, emisiones de CO₂, consumo energético, población afectada, tiempo de recorrido, capacidad de centros educativos y tránsito promedio diario; todos con unidades de medida, magnitudes, funciones de valor y pesos diferentes.

Tomando en cuenta lo anterior, su análisis comparativo se hace complejo y para simplificar el trabajo se hace uso de la herramienta de MIVES (Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles) en el eje de Requerimientos y la utilización de los tres módulos que la conforma. Para finalizar, con los resultados obtenidos en MIVES se pretende proponer una programación para priorizar los planes de intervención vial propuestos mediante la metodología del PCI.

Dedicatoria y Agradecimientos

A las primeras personas que debo agradecer es a mis padres. Gracias Ma y Pa, por darme una de las mejores herencias mediante su esfuerzo y amor. Gracias por apoyarme y darme su ejemplo. Y trabajar tan duro para que yo hoy logre esto.

A mi esposa, mi Fran. Debo agradecerte por ser mi fuerza y energía en todo lo que emprendo, por ser esa ayuda idónea que Dios diseñó para mí. Por ser valiente, por orar por mí, por bendecirme. Por no dejar que me rinda y levantar mis manos, cuando ya no he podido más. ¡Gracias mi amor, mi cielo azul!

A mi profesor tutor, el Ingeniero José Madrigal Rodríguez por guiarme en este proceso, por cada consejo. Por tomar el reto de creer en mí, Costa Rica necesita de más profesionales como usted. También quiero agradecer al Director de Carrera, al Ingeniero Alejandro Cervantes Umaña, por abrir mi mente a otros panoramas y ser pionero en investigaciones multivariable.

Además, quiero agradecer al ser más importante para mí. Gracias Dios por ser soberano en mi vida, gracias por tu santa providencia. Gracias Dios, por darme sabiduría para tomar decisiones. Porque como dice la Biblia: “Todo lo hizo hermoso en su tiempo”. Gracias por hacer todo hermoso en cada tiempo de mi vida, y aunque no comprender tu obra de principio hasta el fin. Y gracias por dejar que me convierta en el Yo que tu desees.

Por último, quiero dedicar mi proyecto de graduación a ti, Luciana. Quiero dedicártelo a ti mi Luci. Este logro va desde la Tierra hasta el Cielo, porque sé que un día te conoceré y seremos muy felices. Pero por mientras, quiero darte mi ejemplo de superación, de cómo se logra salir adelante a partir de la adversidad. Esto es por ti mi pequeña pelirroja. Te amo con todo mi ser, esos cinco meses fue el más hermoso préstamo que Dios me ha hecho. Gracias Dios por mi hermosa hija. ¡Y gracias a todos los que han formado parte de este sueño!

Capítulo I:

Planteamiento del Problema.

Básicamente la comunidad de La Isla de Moravia con el centro del cantón posee tres vías o rutas de acceso, de las cuales dos están en uso y para circular, y la otra está siendo intervenida (específicamente en el puente que comunica dicha comunidad con San Rafael de Moravia). Debido a esta situación, a la duración en cuanto a respuesta de parte del gobierno local y al reclamo social por la necesidad de que funcione correctamente esta vía (la cual es la más próxima y anteriormente la de más uso por sus vecinos).

En segundo lugar, se presenta el mal estado de las vías en cuanto a servicio y calidad del pavimento. Es normal en nuestro país observar el mal estado de las vías y la mala planificación en cuanto a mantenimiento. Entonces, el proyecto evaluará la condición del pavimento y así proponer un plan de intervención vial para mejorar el tiempo de recorrido entre otras características.

Además, como parte de la problemática que ataca este tema es la toma de decisiones para ejecutar los planes de mejoramiento de las vías. Pues muchas veces se toman decisiones basadas solamente en el costo de la inversión o por razones políticas (como elecciones, etc) y no se toman en cuenta otras variables o se toman decisiones sin fundamento o criterio técnico. Por lo tanto, se busca analizar variables como: ambientales, tiempo de recorrido y costo de inversión, de forma óptima y efectiva.

Por lo que esta investigación busca mostrarle a la Municipalidad de Moravia, que existen este tipo de herramientas tecnológicas gratuitas como el Modelo Integrado de Valor para las Evaluaciones de Sostenibilidad (MIVES); que requieren un nivel de aprendizaje básico para los profesionales que pueden ponerla en marcha y de aplicación sencilla, en la búsqueda de

planes de gestión e intervención para el mejoramiento de las vías en estudio y por supuesto de proyectos a futuro en donde se deba intervenir su red vial.

Pregunta de Investigación.

¿Cómo generar la evaluación comparativa de planes de intervención para el mejoramiento de las vías de acceso a la Comunidad de la Isla de Moravia, mediante el uso de la metodología PCI y metodología de toma de decisiones multivariable?

Antecedentes.

Antecedentes Nacionales.

El primer trabajo corresponde a Vargas (2018), el cual se denomina: “Propuesta de un plan de mantenimiento para la Ruta Nacional N° 122 mediante la evaluación de los niveles de deterioros presentes en el pavimento utilizando el método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)”. El proyecto está basado en asignar una calificación al estado del pavimento bajo la metodología del PCI, y así proponer el plan de intervención o mantenimiento vial correcto.

Dentro de la investigación se estudió la norma ASTM D6433-11 que genera los requerimientos para la aplicación de la misma, con el fin de mostrar el procedimiento paso a paso de la metodología escogida. Así mismo; se realizó un trabajo de campo para poder extraer los datos de la ruta en cuestión, separando la vía por secciones más pequeñas (20 tramos de 38 metros de largo), tal cual lo solicita la normativa. Una vez extraídos dichos datos por medio del manual de auscultación visual del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), se calificó cada tramo para evidenciar el deterioro y buscar la adecuada solución al daño presente en el pavimento de la vía mediante un plan de mantenimiento periódico y su respectiva inversión.

Este trabajo nos ayuda con la investigación, dado que muestra la metodología del PCI aplicada en una ruta de Costa Rica, es decir ya se encuentra de cierta forma “tropicalizada” al medio nacional pues a pesar de ser muy común a nivel internacional, en nuestro país no posee gran relevancia. Además de entregar el procedimiento de aplicación de la norma bajo la cual está sustentada dicha metodología. Por lo tanto, nos muestra las pautas y el plan de trabajo a seguir dentro de esta investigación.

En el segundo trabajo corresponde a Araya et al. (2015), los cuales realizaron: Plan de Gestión de Pavimentos para la Ciudad de la Investigación de la Universidad de Costa Rica. Y consiste en evaluar el pavimento de la red vial al interior de dicha ciudad con el objetivo de un priorizar un plan de gestión y mantenimiento para intervenir las vías en estudio. Inicialmente se toman todas las vías y se dividen en secciones aplicando lo que la metodología del PCI indica y se pondera un promedio de las secciones y así obtener una calificación por calle.

Por otro lado, se analiza las diferentes posibilidades que existen según el nivel de deterioro de cada calle que conforma la red, para proponer como se debe gestionar cada vía: darle mantenimiento, rehabilitarla o inclusive reconstruirla, asignando tareas y actividades correspondientes a cada opción de gestión vial. Además, ofrece un análisis económico de los distintos escenarios que componen el plan de gestión, sus actividades y su respectivo costo.

Este trabajo nos beneficia pues es similar a la investigación a realizar, pues se van a evaluar varias vías de forma simultanea de una misma comunidad, en el caso nuestro a la comunidad de la Isla de Moravia y adicionalmente utiliza la metodología del PCI para valorar la condición en la que se encuentra el pavimento de cada sección de calle y cada calle como tal.

Como tercer antecedente se presenta el trabajo de Mata (2010) llamado “Índices de Condición de Pavimentos Flexibles”. Este trabajo trata de adecuar la metodología del PCI aplicada en países desarrollados a la realidad costarricense y las condiciones que en el país se presenta en cuanto a materia de pavimentos se refiere. Aunado a ello, define los diferentes retos y aristas que se deben considerar para aplicar la metodología combinándola con otras metodologías de índole vial como el SAI y PRI, que consideran el estado funcional y estructural de la vía.

No obstante; mantiene como base el PCI como el método de mayor importancia, sin dejar de lado otras variables correlacionadas (usando constantes que asignan cierto valor relativo a través de un análisis estadístico) y así cuantificar su grado de correlación con el PCI. Y, por último, produce un análisis de sensibilidad con la finalidad de establecer esos valores relativos que componen el Índice de Condición de Pavimentos que tanto se busca.

Entonces analizando, este trabajo nos permite visualizar la coalición entre la metodología del PCI y la metodología de toma de decisiones multivariable; pues si bien es cierto que la última no corresponde de forma directa a la evaluación del estado de pavimento, sí nos ofrece un abanico de posibilidades de análisis para la toma de decisiones en obras de infraestructura vial, en donde sus planes de intervención no dependen de un solo factor sino una gran variedad de componentes. Por lo tanto, este trabajo nos permite relacionar esa unión de metodologías de una manera adecuada sin interrumpir ni modificar, lo que cada una de ellas busca como objetivo final.

Ahora, como parte de los antecedentes nacionales Rodríguez (2006) realizó esta investigación: “Plan de mantenimiento vial a largo plazo en la zona urbana, caso: Municipalidad de Curridabat”. En donde propone una solución como respuesta a la

problemática del deterioro del pavimento de la infraestructura vial en el cantón de Curridabat y ofrece un análisis económico de la posible inversión que debería realizar el gobierno local de dicha comunidad para solventar el problema gradualmente, por medio de un plan de mantenimiento que funcione por un periodo de casi 20 años.

Como parte de la investigación, se asignaron presupuestos anuales para cada actividad de mantenimiento vial, en el cual la mayoría de sectores se solventan con bacheo como una solución económica y eficiente, sin embargo, en el caso donde el estado del pavimento se encuentra muy deteriorado se propone aplicar el recarpeteo de casi 3 kilómetros de carretera.

Es importante destacar que para esta investigación se realizó una inspección de los diferentes deterioros en la red vial de Curridabat y se determinó un nivel de servicio vial basado en el Índice de Viabilidad Técnico-Social (IVTS), el cual es otra metodología evaluación del estado del pavimento de vía que califica la ruta tomando en cuenta criterios técnicos, económicos y sociales como: cantidad de viviendas por kilómetro, nivel de acceso y desarrollo de los caminos y fuentes de materiales y proyectos de desarrollo social; para definir su condición de servicio. Para luego, proponer un plan de mantenimiento que se adapte a las necesidades viales sin olvidar los factores mencionados.

Por lo tanto, esta investigación nos contribuye en el sentido que muestra una metodología similar a la escogida en cuanto a que busca lo mismo, pero bajo otros factores de importancia y enseña cómo se debe proponer un plan de mantenimiento que se ajuste los recursos económicos con los que cuenta la municipalidad en cuestión. Entonces, modela cómo se debe priorizar un plan de intervención vial tomando en cuenta criterios técnicos, sociales y económicos como la investigación en curso plantea mediante la metodología de la toma de

decisiones multivariable apoyada en la metodología del PCI para evaluar el estado del pavimento, y así presentar el adecuado plan de gestión vial.

Antecedentes Internacionales

A nivel internacional se puede encontrar diversa información que aporte a esta investigación, Rabanal (2014) con su trabajo llamado “Análisis del Estado de Conservación del Pavimento Flexible de la Vía de Evitamiento Norte, utilizando el Método del Índice de Condición del Pavimento. Cajamarca-2014”. Este proyecto de investigación fue realizado en Perú, en donde se aplica la metodología del PCI a una carretera de dicho país con el fin de determinar el nivel de deterioro de la vía. La ruta tomada está en la ciudad de Cajamarca y se dividió en 64 secciones para su estudio, inspección y evaluación. Y en caso particular esa vía se encontró un PCI equivalente a 49, con lo cual entendemos que la condición de su pavimento es regular.

Unido a ello, presenta la adaptación de la metodología a un país latinoamericano en el cual es usual la utilización de la técnica para valorar la condición del pavimento. Expone el nivel de deterioro y señala los deterioros más comunes en dicha vía con el fin de clasificarlos, para finalmente evidenciar las más urgentes necesidades de intervención y mantenimiento de la ruta afectada en función del estado de su pavimento.

Por esta razón, es importante mencionar este trabajo como antecedente internacional, porque al igual que Perú nuestro país cuenta con poca o nula intervención vial con planes de gestión y mantenimiento adecuados a las necesidades en infraestructura vial, ocasionado por la falta de normativa e estímulo por parte de las autoridades pertinentes para realizar estos análisis que realmente responda con criterio técnico a la problemática que también presenta Costa Rica. Para tomar las mejores decisiones basadas en diversas variables de forma

simultánea, así evitar contemplar un solo factor que conlleve al error; que es lo que busca esta investigación en curso.

Otro antecedente internacional es el trabajo de Rodríguez (2009) nombrado: “Calculo de Índice de Condición del Pavimento en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla”. Esta investigación también en Perú, pero esta vez en una carretera en la ciudad de Piura, con la cual se busca evaluar la condición del pavimento de una vía que presenta un severo problema de deterioro. Para este trabajo se aplicó la metodología del PCI en la Avenida Luis Montero que tiene una longitud de dos kilómetros, similar a la distancia que presentan las rutas de acceso que se van a estudiar en la investigación.

Primero, esta tesis expone la situación del estado del pavimento de la comunidad como: el constante daño de los vehículos que circulan la carretera, deficiencias en el sistema de alcantarillado para la evacuación de las aguas y la inexistencia de un plan de intervención y gestión vial. Posteriormente, cataloga los distintos deterioros más típicos para aplicar la norma bajo la cual se sustenta la metodología del PCI y con ello determinar el nivel de deterioro de la vía. Explica el procedimiento de la norma paso a paso y puntualiza la forma en que se realizó la recolección de los datos de cada sección o tramo de calle, para obtener el valor de PCI promedio de la carretera en estudio.

A diferencia del trabajo anterior, este nos brinda la posibilidad entender que la investigación a realizar impactará una comunidad y todos aquellos que circulan por la misma, no solo funcional y estructuralmente hablando. Sino del aporte de índole social, económico e inclusive ambiental, dado que buscará disminuir los tiempos de recorrido, que los viajes sean más confortables, hacer uso eficiente de los recursos económicos con criterio técnicos y

planificación, disminuir las emisiones de gases, contribuir con la correcta evacuación de las aguas hacia el alcantarillado, entre otros escenarios.

Ahora, como parte del proyecto se ha contemplado la metodología del PCI y también la metodología de toma de decisiones multivariable basado en el Modelo Integrado de Valor para las Evaluaciones de Sostenibilidad (MIVES) implementada en Europa, principalmente en Catalunya, España. Por ese motivo hemos tomado el siguiente trabajo de Moreno (2018) denominado: “Estudio Comparativo de Sostenibilidad en Carreteras Mexicanas”. Este trabajo se basa en el MIVES para evaluar dos carreteras ubicadas en Veracruz, México (una hecha en pavimento rígido o concreto y la otra en pavimento flexible o asfalto) y para ambas posibilidades se escogió un kilómetro de carretera para analizar su sostenibilidad.

Para comenzar, detalla el modelo de sostenibilidad y su manejo para formar el árbol de requerimientos y la ponderación de variables, asignando pesos específicos para cada variable escogida. Para su análisis se aplicaron los criterios de sostenibilidad del Instituto Mexicano del Transporte de México, con el objetivo de hacer dicho estudio sustentado en la normativa del país beneficiado y construir los pesos específicos propios de México aplicables al MIVES. No obstante, toma en cuenta el Sistema de Indicadores de Sostenibilidad de España (sobre el cual ya se ha aplicado el modelo) para tener una plataforma que permite converge ambos sistemas.

Su aporte a este proyecto de investigación se sintetiza en dos perspectivas. La primera es emplear el MIVES sobre la infraestructura vial en ambos tipos de pavimento, lo que nos permite visualizar el método puesto en el campo de acción de nuestro interés, porque por lo general se aplica a otro tipo de proyectos. La segunda radica a que el investigador intenta llevar este modelo europeo y adaptarlo a la realidad latinoamericana, lo que implica todo un

reto; dado que la gran mayoría de países latinoamericanos no cuenta con estos recursos o desconoce completamente la existencia de modelos similares que evalúen factores sociales, económicos y ambientales simultáneamente.

Como último antecedente se presenta la tesis doctoral de Díaz (2017) que lleva por título “Desarrollo y Aplicación de un Nuevo Sistema de Rating para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Proyectos de Infraestructuras en Países Subdesarrollados (SIRSDEC)”. Con este trabajo elaborado en Santander, España; se pretendía crear una nueva base de indicadores o factores de importancia en donde el nivel más alto deben ser variables de índole ambiental dejando lo económico y social a un lado, pues regularmente son los más trascendentales. Pero efectuando un exhausto estudio se estableció que en países en vías de desarrollo las tres aristas (ambiental, económico y social) deben tener un peso específico análogo.

A diferencia de otros trabajos que tratan acerca de infraestructura vial, este generaliza los proyectos de infraestructura e inclusive fue puesto en marcha en una mina en Perú, para lograr validar el nuevo sistema. Además de eso; como parte de su metodología incluye principios de la Agenda 21 de la ONU, y usa para determinación y obtención de la ponderación de factores el método de toma de decisiones multivariable el AHP (Analytic Hierarchy Process), el GRG (Generalized Reduced Gradient) y el MIVES.

Entonces, este trabajo es relevante porque une otros métodos y procedimientos que al igual que esta investigación manejará datos de infraestructura y que asignará valores o indicadores para poder producir la tan esperada evaluación de sostenibilidad. Tomando en cuenta lo económico, social y ambiental de forma equitativa para alcanzar el balance ideal que demanda Costa Rica, como un país en vías de desarrollo.

Objetivos.

Objetivo General

Evaluar comparativamente los planes de intervención para el mejoramiento de las vías de acceso a la Comunidad de la Isla de Moravia, mediante el uso de la metodología PCI y metodología de toma de decisiones multivariable.

Objetivos Específicos

1. Detallar la metodología de PCI para análisis de estado del pavimento y la metodología de toma de decisiones multivariable.
2. Establecer el estado de los pavimentos de las diferentes de las rutas de acceso a la Comunidad de la Isla de Moravia, utilizando la metodología PCI.
3. Evaluar comparativamente del estado de los pavimentos las diferentes de las rutas de acceso a la Comunidad de la Isla de Moravia, utilizando la metodología PCI.
4. Determinar la propuesta de plan de mantenimiento para cada una de las diferentes de las rutas de acceso a la Comunidad de la Isla de Moravia, utilizando la metodología PCI.
5. Formular un plan de mantenimiento priorizado para las diferentes de las rutas de acceso a la Comunidad de la Isla de Moravia, mediante el resultado del análisis en el software MIVES para la aplicación de la metodología de toma de decisiones multivariable.

Justificación.

El sustento de esta investigación radica en ejecutar y aplicar diversos criterios técnicos de forma simultánea, para resolver uno o varios problemas en infraestructura vial, lo cual no se lleva a cabo en Costa Rica. Sin olvidar, la creación de propuestas de mantenimiento e intervención para el mejoramiento de las vías de acceso a una comunidad específica.

Como parte del atractivo de esta investigación, con el uso de la innovación tecnológica se va a generar un amplio análisis de datos de tres rutas de la red vial de Moravia con dos metodologías pocos comunes y usadas por las autoridades responsables de esta problemática. Por lo tanto, este proyecto puede funcionar como punto de partida, investigación pionera y gran fuente de información para solucionar dicha situación, tanto para el cantón en estudio como para todos aquellos que lo requieran.

Dentro del contexto que motivó este proyecto, es la urgencia y necesidad de la comunidad de la Isla de Moravia de tener de vías de acceso en buen estado y de poder disfrutar de su libre tránsito de manera satisfactoria. Adicionalmente, se verían beneficiados los vecinos de la zona afectada y todo aquel que transite y requiera de cualquiera de las tres rutas de acceso como camino de paso.

Y como aporte científico, a lo largo de la investigación se pretende usar la metodología del PCI para evaluar el estado del pavimento y así proponer el plan de mantenimiento adecuado para cada vía. En donde finalmente, con la ayuda del MIVES se van a seleccionar tres factores de tipo ambiental, económico y social para plantear el uso correcto de los recursos en un plan de mejoramiento priorizado en dichas rutas de acceso.

Proyecciones.

Alcances

- Para la evaluación de la condición del pavimento; se han establecido tres rutas de acceso de La Isla de Moravia a San Vicente, es decir el centro del cantón, las cuales están mayoritariamente construidas por: la ruta nacional 117, a ruta cantonal número 075 y la travesía nacional 102-117.
- Se empleará la metodología del PCI conforme a la norma ASTM D6433-11, para evaluar el estado del pavimento de las rutas antes mencionadas.
- Para la evaluación del estado del pavimento, solo aplicarán aquellas vías y sus secciones respectivas construidas en asfalto o pavimento flexible.
- Los planes de intervención y mantenimiento de las rutas de acceso, se hará una propuesta técnica acorde al análisis de la recolección de datos y el cálculo de ponderación del PCI.
- Para el análisis de los planes de intervención de mejoramiento vial con la metodología de toma de decisiones multivariable, se aprovechará únicamente la herramienta de MIVES.

Limitantes

- En la medición de la densidad vehicular de las rutas en cuestión, se usaron los datos del año 2019 de la Secretaría de Planificación Sectorial de MOPT y del Departamento de Ingeniería de la Municipalidad de Moravia, por lo cual se utilizarán datos teóricos y no reales.
- Como parte de la metodología del PCI se recomienda dividir las rutas por secciones para realizar su evaluación y no extraer los datos completos y precisos de la totalidad de las

vías en estudio, dado que recolectar datos de aproximadamente los cinco kilómetros de recorrido de las rutas tardaría mucho más tiempo, con el que no se cuenta.

- Para priorizar los planes de mejoramiento de las vías, se efectuará a través de un presupuesto teórico aproximado, comparado con los recursos reales con los que cuentan las autoridades responsables de resolver dicha problemática.
- Particularmente, para la ruta cantonal número 075 el puente de acceso hacia dicha comunidad se cuenta en construcción, por lo que dentro de su plan de intervención se no tomará en cuenta el costo final del proyecto de construcción del Puente de San Rafael-La Isla de Moravia. Dado que para ello se requiere un análisis por mantenimiento del puente, el cual es distinto al análisis que se quiere investigar. Sin olvidar que el puente esta fuera de funcionamiento debido a la Tormenta Tropical Nate, que provocó un colapso de la estructura y pasó a manos de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), y ya no de índole municipal.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Definición de Pavimento

El pavimento es una estructura diseñada para soportar las fuerzas que interactúan como repuesta a la acción del transporte de vehículos en un tiempo establecido por el diseñador. Este es un elemento estructural multicapa, pues está constituido por un conjunto de capas que tienen distintos propósitos, y dentro de sus elementos están:

- Subrasante: la última capa o la inferior y es donde descansa la estructura de las otras capas para formar el pavimento de una carretera.
- Sub-base granular: es la penúltima capa de la estructura del pavimento y se encarga principalmente de distribuir y transferir uniformemente las cargas que recibe dicha estructura. Además, de funcionar como drenaje que controla que agua suba y dañe las capas superiores.
- Base granular: se encuentra entre la sub-base y la carpeta final, y tiene como fin transmitir las cargas que recibe hacia las capas inferiores
- Carpeta: también conocida como superficie de ruedo, y su deber es formar una capa impermeable que proteja el resto de sus capas contra la acción del agua y reciba las cargas de forma directa como consecuencia del tránsito.

Por lo general, se cataloga según la composición de los materiales utilizados en su constitución, por lo que se clasifica en los siguientes tipos:

- Pavimento Rígido: se caracteriza principalmente por contar con una carpeta conformada por una losa de concreto y por usar de forma optativa la colocación de la sub-base granular.

- Pavimento Flexible: en contraste con su homóloga, este sí presenta todas sus capas y su carpeta está fabrica por mezcla asfáltica.

Para este trabajo, se basará a partir del Pavimento Flexible, debido a que las vías en cuestión están conformadas en mayor parte por este tipo de pavimento. Este tipo presenta características interesantes como: su comportamiento ante las cargas, admite deformaciones en las capas de más abajo y su inversión es más económica, pero debe tener mayor mantenimiento.

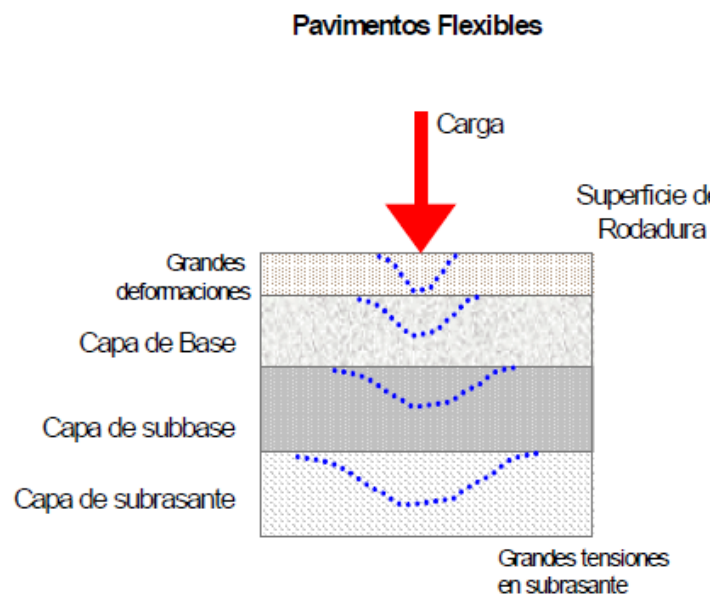


Figura 1. Comportamiento del Pavimento Flexible ante las cargas

Fuente: Coronado (2002) Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

2.2 Deterioros en Pavimentos Flexibles y su clasificación


Como parte del procedimiento de inspección visual que se debe realizar para dicha metodología, los deterioros son el principal indicador para el cálculo del PCI; por ello es conveniente mencionar su clasificación en cuatro grupos que a continuación se muestra, esto según el Catalogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016):

- Grupo 1 / Grietas: Cuero de Lagarto, Grieta Longitudinal-Transversal, Reflejo de Juntas, en Bloque, de Borde y en Arco.
- Grupo 2 / Deformaciones: Ahuellamiento, Abultamiento y Hundimiento, Corrugación, Depresión, Hinchamiento y Desplazamiento.
- Grupo 3 / Textura Superficial: Exudación, Pulimiento de Agregados, Desprendimiento de Agregados y Desgaste Superficial.
- Grupo 4 / Misceláneos: Escalonamiento Calzada-Espaldón, Bache, Huevo y Cruce de Línea Férrea.



Ahora, como parte de la evaluación visual del pavimento a continuación se presenta cada uno de los deterioros con sus características, agrupado debidamente y con tablas construidas a partir de dicho catalogo:

Tabla 1.

Deterioros sus principales características, Grupo 1: Grietas

Grupo 1: Grietas			
Nombre e Ilustración	Descripción del Deterioro	Criterios de Severidad	Posibles Medidas de Intervención según Severidad
1.1 Cuero de Lagarto 	<p>El Cuero de Lagarto 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.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Bajo: Grietas Paralelas en buen estado y sin grietas en bordes.</p> <p>Medio: Mallas entre 20x20 cm y 50x50 cm, inicia la interconexión.</p> <p>Alto: Mallas menores a 20x20 cm que simulan un cuero de lagarto.</p>	<p>Bajo y Medio: Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos.</p> <p>Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.</p>



<p>1.2 Grieta Longitudinal-Transversal</p> 	<p>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).</p> <p>Unidad de Medida: metro lineal (m)</p>	<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. 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>	<p>Bajo y Medio: Sellado de fisuras o grietas.</p> <p>Alto: Sellado de fisuras y grietas o Bacheo.</p>
<p>1.3 Reflejo de Juntas</p> 	<p>Este deterioro ocurre solamente en pavimentos asfálticos en que se haya colocado una carpeta asfáltica sobre una capa de concreto formada por losas.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Mismos criterios que la grieta longitudinal-transversal según su severidad.</p>	<p>Bajo y Medio: Sellado de fisuras o grietas.</p> <p>Alto: Sellado de fisuras y grietas o Bacheo.</p>
<p>1.4 Grietas en Bloque</p> 	<p>Las grietas en bloque son 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.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Bajo: Las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" de severidad baja.</p> <p>Medio: Las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" de severidad media.</p> <p>Alto: Las grietas del bloque son definidas por los criterios correspondientes al</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>




		deterioro de "Grieta longitudinal y transversal" de severidad alta.	
<p>1.5 Grietas de Borde</p> 	<p>Las grietas de borde son paralelas y usualmente separadas de 0,3 a 0,5m del borde externo del pavimento.</p> <p>Unidad de Medida: metro lineal (m)</p>	<p>Bajo: Agrietamiento bajo o medio 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>	<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 con un TS. Sellar las áreas comprometidas.</p>
<p>1.6 Grietas en Arco</p> 	<p>Este tipo de grieta posee una forma de arco o media luna y generalmente son transversales a la dirección del flujo vehicular.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Bajo: El ancho promedio de la grieta es menor a 10 mm.</p> <p>Medio: El ancho promedio de la grieta está entre 10 mm y 40 mm o el área alrededor de la grieta está ligeramente fracturada.</p> <p>Alto: El ancho promedio de la grieta es mayor a 40 mm o el área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos que se pueden mover.</p>	<p>Bajo y Medio: Bacheo.</p> <p>Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.</p>

Fuente: Catalogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016).

Tabla 2.

Deterioros y sus principales características, Grupo 2: Deformaciones

Grupo 2: Deformaciones			
Nombre e Ilustración	Descripción del Deterioro	Criterios de Severidad	Posibles Medidas de Intervención según Severidad
<p>2.1 Roderas / Ahuellamiento</p> 	<p>Una rodera es una depresión en las huellas del vehículo. Se puede dar un levantamiento en los bordes de las roderas. 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.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m²)</p>	<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>	<p>Bajo: Bacheo (para casos puntuales) o 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>
<p>2.2 Abultamientos y Hundimientos</p> 	<p>Los abultamientos son desplazamientos hacia arriba de la carpeta asfáltica que generalmente son pequeños y localizados. Los hundimientos por lo contrario son desplazamientos abruptos hacia abajo, que igual que los abultamientos generalmente son localizados.</p> <p>Unidad de Medida: metro lineal (m)</p>	<p>Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, con una deformación vertical aproximada de 3 mm a 50 mm.</p> <p>Medio: Calidad de ruedo de severidad media, con una deformación vertical aproximada de 50 mm a 100 mm.</p> <p>Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, con una deformación vertical aproximada de más de 100 mm.</p>	<p>Bajo: Bacheo.</p> <p>Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.</p>

<p>2.3 Corrugación</p> 	<p>La corrugación es una serie de crestas y valles que ocurren a intervalos regulares (usualmente menos de 3m) a través del pavimento y en dirección perpendicular a la de avance de los vehículos.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, levantamiento menor a 20 mm.</p> <p>Medio: Calidad de ruedo de severidad media, levantamiento entre 20 mm y 50 mm.</p> <p>Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, levantamiento mayor a 50 mm.</p>	<p>Bajo: Evaluar el área afectada para definir la intervención idónea (No hacer nada, Perfilado, entre otras).</p> <p>Medio y Alto: Sustitución de capa asfáltica.</p>
<p>2.4 Depresiones</p> 	<p>Las depresiones son áreas localizadas ligeramente más bajas que la superficie del pavimento circundante.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Bajo: De 13 mm a 25 mm de profundidad en el punto más hondo.</p> <p>Medio: De 25 mm a 50 mm de profundidad en el punto más hondo.</p> <p>Alto: Más de 50 mm de profundidad en el punto más hondo.</p>	<p>Bajo: Bacheo.</p> <p>Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.</p>
<p>2.5 Hinchamiento</p> 	<p>Los hinchamientos se caracterizan por un abultamiento de la superficie del pavimento creando una onda larga de más de 3 metros.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<p>Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, levantamiento se encuentra entre 13 mm y 25 mm en el punto más alto.</p> <p>Medio: Calidad de ruedo de severidad media, levantamiento entre 25 mm y 50 mm en el punto más alto.</p> <p>Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, levantamiento mayor a 50 mm en el punto más alto.</p>	<p>Bajo: Bacheo.</p> <p>Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o estabilización de la capa granular afectada y sustitución de capa asfáltica.</p>

2.6 Desplazamiento de la Mezcla



El corrimiento es un desplazamiento longitudinal permanente de un área localizada de la superficie del pavimento causado por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito presiona el pavimento produce una onda abrupta y corta sobre la superficie del mismo.

Unidad de Medida: metros cuadrados (m²)

Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, profundidad o elevación máxima de 10 mm, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad.

Medio: Calidad de ruedo de severidad media, profundidad o elevación máxima se encuentra entre 10 mm y 20 mm, el corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad.

Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, profundidad o elevación máxima es igual o mayor a 20 mm, el corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una reducción de la velocidad.

Bajo: Bacheo.

Medio y Alto: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica

Fuente: Catalogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016).

Tabla 3.

Deterioros y sus principales características, Grupo 3: Textura Superficial

Grupo 3: Textura Superficial

Grupo 3: Textura Superficial			
Nombre e Ilustración	Descripción del Deterioro	Criterios de Severidad	Posibles Medidas de Intervención según Severidad

3.1 Exudación



La exudación es una película delgada de ligante asfáltico en la superficie de la carpeta asfáltica que crea un pequeño reflejo y que generalmente es pegajosa.

Unidad de Medida: metros cuadrados (m²)

Bajo: La exudación ha ocurrido en pequeña medida y solo se nota durante algunos días del año, el asfalto no se pega a los zapatos o vehículos, se hace visible la coloración algo brillante de la superficie.

Medio: La exudación ha ocurrido de tal forma que el asfalto se adhiere a los zapatos o vehículos durante algunas semanas del año, con exceso de asfalto libre que forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito.

Alto: La exudación ha ocurrido de tal forma que el asfalto se adhiere a los zapatos o vehículos considerablemente durante muchas semanas del año, presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra.

Bajo y medio: Sello de arena o polvo de piedra.

Alto: Sustitución de capa asfáltica.

3.2 Pulimiento de Agregados





El pulimiento de agregado 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 son suficientemente ásperas para proporcionar buena resistencia al deslizamiento.

Unidad de Medida: metros cuadrados (m²)

No posee criterios de severidad.

Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos o recarpeteo con material no propenso al pulimiento.

<p>3.3 Desprendimiento de Agregados</p> 	<p>Se da por un desprendimiento de partículas de agregado grueso.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<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>	<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>
<p>3.4 Desgaste Superficial</p> 	<p>Es el desgaste de la matriz de agregado fino y ligante asfáltico.</p> <p>Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)</p>	<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 pueden estar expuestos hasta $\frac{1}{4}$ 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 $\frac{1}{4}$ de ancho (del lado más largo) del agregado grueso. Existe una considerable pérdida de la</p>	<p>Bajo: Evaluar el área afectada para definir la intervención idónea.</p> <p>Medio y Alto: Sellos asfálticos, tratamientos superficiales asfálticos</p>

		matriz de agregado fino que conduce a potencial o alguna pérdida de agregado grueso.	
--	--	--	--

Fuente: Catalogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016).

Tabla 4.

Deterioros y sus principales características, Grupo 4: Misceláneos

Grupo 4: Misceláneos			
Nombre e Ilustración	Descripción del Deterioro	Criterios de Severidad	Posibles Medidas de Intervención según Severidad
<p>4.1 Escalonamiento Calzada-Espaldón</p> 	<p>El escalonamiento es una diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el espaldón.</p> <p>Unidad de Medida: metro lineal (m)</p>	<p>Bajo: La diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 25 mm y menor a 50 mm.</p> <p>Medio: La diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 50 mm y menor a 100 mm.</p> <p>Alto: La diferencia en elevación entre la calzada y el espaldón es mayor a 100 mm.</p>	<p>Para todos los casos: Nivelación del espaldón cuando el escalonamiento es producto de problemas en la fundación o erosión.</p>
<p>4.2 Baches</p>	<p>Un bache es un área de pavimento que ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente, un</p>	<p>Bajo: El bache se encuentra en buena condición y la calidad de ruedo es de severidad baja o mejor.</p> <p>Medio: El bache está moderadamente deteriorado o la calidad de ruedo de severidad media o ambos.</p> <p>Alto: El bache se encuentra muy deteriorado o la calidad de ruedo es de severidad alta o ambos.</p>	<p>Bajo y Medio: Evaluar el área afectada para definir la intervención idónea.</p> <p>Alto: Sustitución del Bache (Bacheo,</p>



bache es considerado un defecto no importa su desempeño y estado.

Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)

para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica.

4.3 Huecos



Los huecos son depresiones en la superficie del pavimento que poseen forma de tazón, usualmente el diámetro es menor a 750mm. Generalmente poseen bordes afilados y paredes verticales cerca de la superficie del hueco.

Unidad de Medida: Unidad

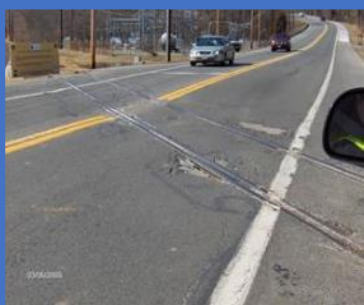
Si el hueco posee un diámetro mayor a 750 mm se debe dividir el área entre 0.5 m2 y encontrar el número equivalente de huecos, y si la profundidad es 25 mm o menos los huecos son considerados de severidad media, si la profundidad es más de 25 mm de severidad alta.

Según la siguiente tabla:

Profundidad máx.	Diámetro promedio		
	100 a 200mm	200 a 450mm	450 a 750mm
13 a <25mm	B	B	M
25 a 50mm	B	M	A
>50mm	M	M	A

Para todos los casos: Bacheo (para casos puntuales) o Sustitución de capa asfáltica

4.4 Cruce de Línea Férrea



Hundimientos o abultamientos del pavimento cerca de las líneas férreas.

Unidad de Medida: metros cuadrados (m2)

Bajo: Calidad de ruedo de severidad baja, con una deformación vertical aproximada de 3 mm a 50 mm.

Medio: Calidad de ruedo de severidad media, con una deformación vertical aproximada de 50 mm a 100 mm.

Alto: Calidad de ruedo de severidad alta, con una deformación vertical aproximada de más de 100 mm.

Para todos los casos: Corrección de los bordes utilizando bacheo con concreto asfáltico, respetando el derecho de vía de la línea férrea.

Fuente: Catalogo de Deterioros del Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016).

2.3 Metodología del Paviment Condition Index (PCI)

Esta metodología cumple con una norma de la American Society for Testing and Materials, que lleva por nombre “Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433)”. Y para efectos de nuestro país; se cuenta desde el año 2016 con el “Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica: Guía para Profesionales”, el cual nos permite llevar a cabo la metodología del PCI paso a paso como la norma lo indica.

Este procedimiento requiere de conocimiento técnico y teórico para su implementación, por lo cual se debe realizar por personal capacitado o guiado por un profesional para evitar errores en su aplicación, puesto a que es una norma establecida y cualquier variación o equivocación traerá como consecuencia datos errados que provocarán una mala aplicación del procedimiento.

Entendiendo lo anterior, se procede a explicar el procedimiento o protocolo de aplicación de la norma ASTM D6433:

1. Unidades de Muestreo (UM): este se define a partir del tipo de proyecto, tipo de pavimento e inclusive características de la sección de la carretera. Se mide la longitud de la vía, el ancho de su calzada y así definir cuantas posibles unidades de muestreo para la inspección visual y la recolección de datos. A partir de esto, se divide la carretera en tramos o secciones para su análisis.

2. Longitud de la Unidad de Muestreo: se debe buscar el ancho de la calzada a estudiar o su promedio en caso de variar, para determinar la longitud de UM se debe buscar el ancho de calzada en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Longitud de Unidad de muestro según ancho de calzada

Ancho de Calzada (m)	Longitud de UM (m)
3,5 – 6,5	47
4,0– 7,5	42
4,5 – 8,5	38
5,0– 9,0	35
5,5 - 10 máx.	31

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

Y como lo indica dicho manual: “queda a criterio del usuario seleccionar la longitud a utilizar”, pues se entiende como el ancho de calzada promedio el cual puede andar en medio de un rango de valores.

3. Número Total de UM (N):

La sumatoria de cada tramo de carretera o Unidad de Muestro recibe el nombre de N, el cual nos permite observar todas las UM posibles a evaluar. Se calcula con la siguiente formula:

$$N = \frac{\text{Long. Proyecto}}{\text{Long. UM}}$$

Figura 2. Ecuación de N

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

En donde, Long. Proyecto es la longitud total en estudio, y Long. UM es la longitud seleccionada por el usuario para usar como longitud de cada tramo.

4. Número Mínimo de UM a Inspeccionar (n):

Para efectos de tiempo, se toma sola una cierta cantidad de tramos que representa a toda la vía en cuestión. Generalmente, se seleccionan las unidades más representativas de la carretera,

evitando usar unidades con un menor nivel de deterioro con el fin de que el resultado obtenido sea el más preciso.

Para dicho cálculo se usan la siguiente ecuación:

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

Figura 3. Ecuación de n

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

En donde, N es número total de UM, e es el error admisible igual a 5% y σ es la desviación estándar del PCI en un pavimento flexible que equivale a 10. Como criterio técnico algunas administraciones usan esta tabla:

Tabla 6.

Criterio de selección de UM a inspeccionar

Unidades de muestra en la sección (N)	Número de unidades a inspeccionar (n)
1 – 5	1
6 – 10	2
11 – 15	3
16 – 40	4
Más de 40 pero menos de 200	10% (redondear hacia arriba a la próxima unidad de muestra)

Fuente: Curso de Vías de Comunicación II, Universidad Central

5. Escogencia de UM a Inspeccionar:

Se establece el principio de aleatoriedad sistemática para escoger el primer valor de n con el fin de que sea totalmente al azar y no se manipulen los datos recolectados y mucho menos los resultados. Luego, se recomienda seleccionar las otras unidades de manera equidistante a lo largo

de la carretera en estudio, así completando las UM a inspeccionar. Para ello se debe usar el intervalo de muestreo (i), que nos permite conocer el espaciamiento entre UM a inspeccionar y este se calcula de la siguiente manera:

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

Figura 4. Ecuación de i

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

Adicionalmente, debemos elegir al azar el primer valor de n , el cual se denomina s . Este valor debe encontrarse de 1 a 5, de esta forma las UM se muestran como: “ s ”, “ $s+i$ ”, “ $s+2i$ ” ... “ $s+ni$ ”, en ese mismo orden hasta completar las UM a inspeccionar. De esta manera, si realizáramos un diagrama de flujo de la metodología de PCI para pavimentos flexibles se vería de la siguiente forma:

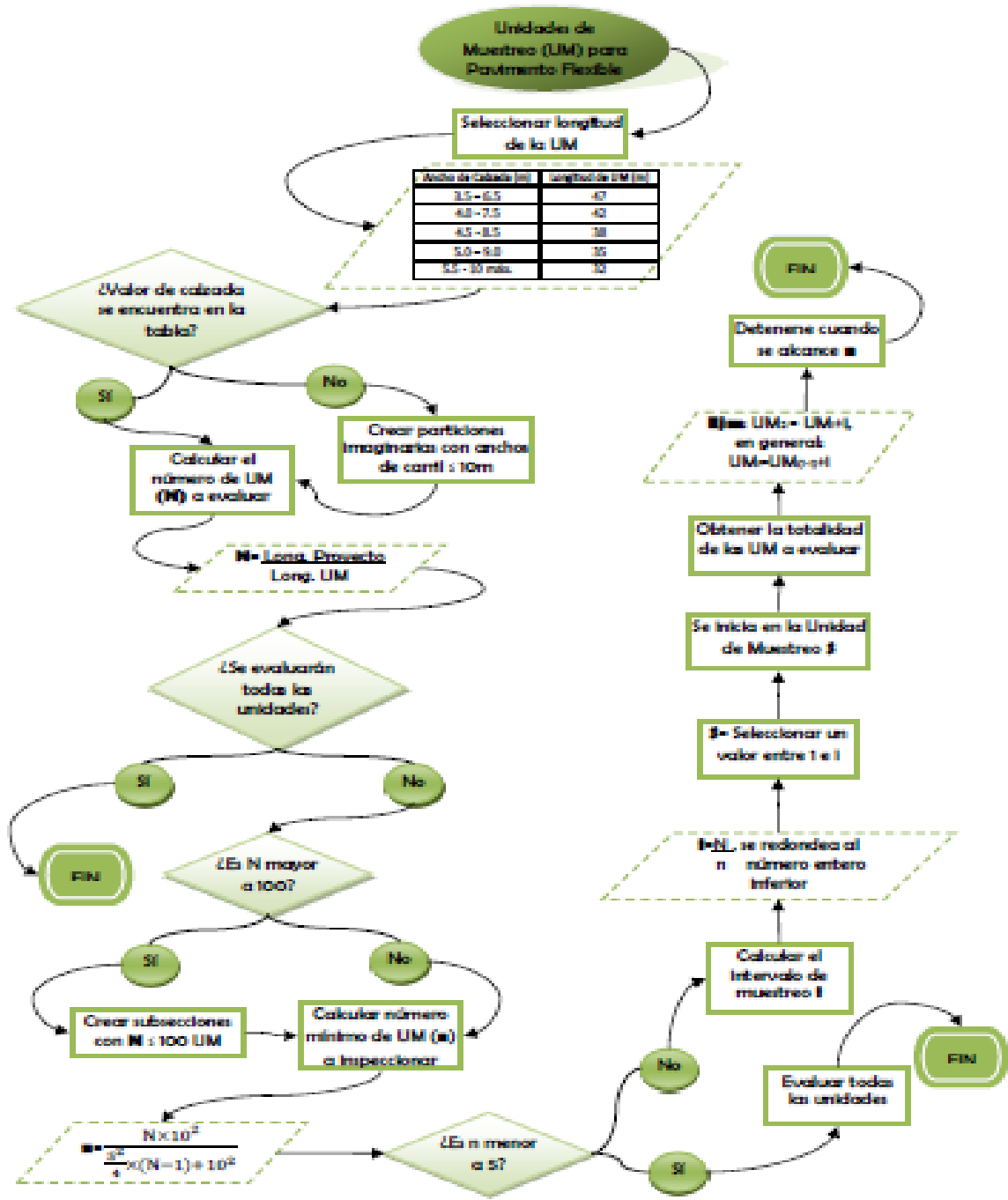


Figura 5. Diagrama de Flujo de la Metodología PCI para Pavimentos Flexibles

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

Aunado al trabajo numérico y teórico realizado, se debe tomar en cuenta las labores y el análisis de campo. Este último consiste en recolectar datos de las unidades de muestreo mediante la observación e registro de la información general de la carretera en cuestión, esto depende del

tipo de pavimento de vía en sí. Para este trabajo, pavimento flexible es el que predomina en la vía, de este se extrae cada deterioro o desperfecto que ella se encuentre. Para ello, es importante utilizar usar un manual para evaluar de forma correcta los deterioros presentes, y poder conseguir un cálculo de PCI adecuado.

Para ese trabajo de inspección visual, se seguirá el Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016), en donde se encuentra el Catalogo de Deterioro en el cual enlista y ejemplifica los tipos de deterioro según su clasificación de forma, aspecto y su nivel de severidad, para luego realizar los cálculos correspondientes. Este catálogo sugiere contar con el siguiente equipo:

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Un odómetro que permita medir distancias largas con buena precisión, ya que para proyectos grandes la distancia entre unidades puede llegar a ser significativa. Ej. Odómetro externo que se adhiere al automóvil.
- Regla de tres metros y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos (roderas) o depresiones.
- Regla pequeña para medir los anchos de grieta.
- Lápiz y borrador.
- Hojas de Deterioros con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.
- Chalecos y conos refractivos para garantizar la seguridad del personal que realiza la auscultación, entre otros implementos necesarios para garantizar la seguridad ocupacional en el proyecto.
- Cámara fotográfica para llevar un registro de las fallas más comunes.

- Manual de Deterioros, para despejar alguna duda en el campo.
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Pintura o tiza para marcar la carretera.

Además, el Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía para Profesionales (2016) recomienda seguir el Decreto Ejecutivo N°38799 "Reglamento de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la ejecución de Trabajos en las Vías" y sus reformas, como parte de las medidas de seguridad pertinentes para la recolección de datos de cada vía en estudio.

Una vez entendido lo anterior, se procede a extraer la información de las unidades de muestreo a inspeccionar para ello se necesita de hojas de levantamiento de deterioros propias de la metodología del PCI.

6. Nivel de Severidad y Extensión del Deterioro:

Por otro lado, no podemos olvidar que la metodología PCI se fundamenta en dos principios esenciales en cuanto a la medición de los deterioros que son el principal indicador para el cálculo del PCI: el nivel de severidad y la extensión del deterioro.

El nivel de severidad se requiere para fijar en qué estado se encuentra el deterioro según el criterio técnico y visual del inspector de esa unidad de muestreo, por lo general se establecen tres niveles: alto, medio y bajo. Pero en cuanto a la extensión del deterioro, esta se debe medir conforme su tipo, pues puede haber diferentes unidades de medida como: metros lineales, metros cuadrados o hasta por unidad. Entonces su extensión es particular de cada deterioro y requiere de alta concentración para no equivocarse la unidad de medida de dicho deterioro.

7. Densidad de Deterioro:

La densidad en la metodología del PCI se calcula de la siguiente manera:

$$Densidad = \frac{Extensión * 100}{Área UM}$$

Figura 6. Ecuación de Densidad.

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

8. Valor Deducido (VD):

Cada tipo de deterioro tiene una gráfica que contiene por lo general tres curvas que representan su nivel de severidad (A. alto, M: medio y B: bajo), el cual contiene dos ejes. En el eje horizontal (Eje Y) se encuentra el porcentaje de Densidad de Deterioro, y en el eje vertical (Eje X) el Valor Deducido según cada curva de severidad. El proceso es sencillo, se busca en el Eje Y el porcentaje de Densidad del Deterioro y se mueve hacia arriba en ese valor hasta tocar la curva de severidad adecuada, y se dibuja una línea perpendicular a dicha lectura, el cual corresponde al VD.

9. Numero de Deduciones Admisibles (*m*):

Este valor se calcula a partir de todos los valores deducidos de cada deterioro según su nivel de severidad, para ello se busca el máximo valor deducido (MaxVD) para aplicar la siguiente formula:

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

MaxVD= Mayor valor deducido individual para UM

Figura 7. Ecuación de m.

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

Para definir los VD a evaluar se hace en base al cálculo de m , en donde si hay menos VD que m se deben usar todos los VD, sin embargo, si hay más VD se ordenan de mayor a menor y se escogen solo la cantidad m de VD.

10. Máximo VD Corregido (*VDC Máx*):

Una vez definido m , se establece q que es el número de VD mayores que 2. Pero para definir *VDC Máx*, se deben sumar todos los VD y evaluarlo en la gráfica Valor Deducido Corregido (VDC), de la misma forma que en las gráficas de los deterioros. Y por último se debe reducir a 2 el menor VD que sea mayor que 2, y así sucesivamente hasta que q sea 1.

11. Calculo de PCI:

Este cálculo es sumamente sencillo, puesto que ya se tienen los demás valores. La ecuación es la siguiente:

$$PCI_{UM} = 100 - (VDC_{max})$$

Figura 8. Ecuación de PCI para una UM.

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

Y para finalizar se establece el valor de PCI de toda la ruta en estudio, con la siguiente ecuación:

$$PCI_s = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)}$$

Figura 9. Ecuación de PCI para una toda la ruta completa.

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

Donde básicamente, es la división de la sumatoria de la multiplicación de los valores de PCI por su área de UM, entre la sumatoria de todas las áreas de UM. Una vez establecido dicho valor se debe definir el estado del pavimento de la vía en estudio, de acuerdo al siguiente rango de calificaciones:

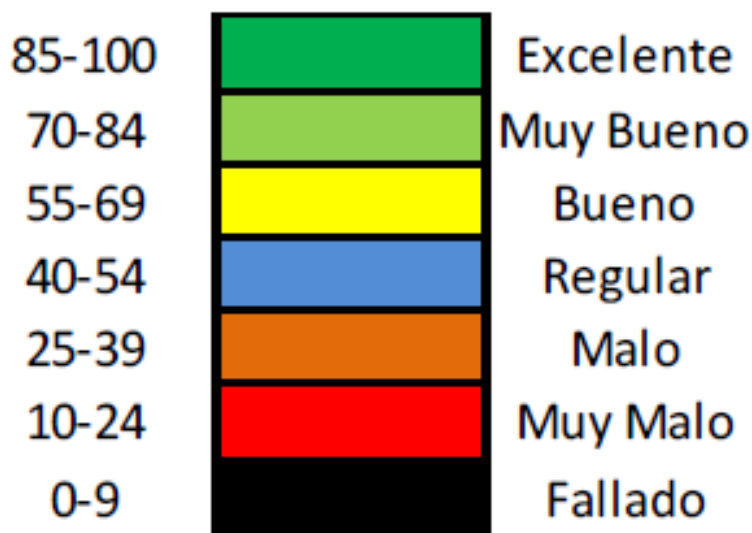


Figura 10. Ecuación de PCI para una toda la ruta completa.

Fuente: Vargas (2018)

Este rango nos permite definir en qué estado se encuentra la vía según el PCI y su metodología establecida de acuerdo a la norma ASTM D6433, dando una calificación del 0 al 100, y su respectiva condición según el valor calculado.

2.4 Metodología de Toma de Decisiones Multivariable (TDMV)

Normalmente en proyectos de infraestructura es sumamente complicado poder tomar decisiones correctas, más cuando dependen de diversas variables y variables tan diferentes entre sí y con tantos criterios. Es por ello que, para la evaluación de vías de comunicación, esta metodología nos permite tomar en cuenta todas esas variables y criterios para poder tomar la decisión más certera posible.

Básicamente, este trabajo es una evaluación de sostenibilidad, el cual debe analizar tres aspectos esenciales: sociales, económicos y ambientales. Si no tomáramos en cuenta alguno de los tres aspectos sería solo un proyecto equitativo, viable o habitable, pero no sostenible.



Figura 11. Los Pilares de la Sostenibilidad

Fuente: Evaluación de la sostenibilidad de carreteras

Si analizamos cada arista vemos lo importantes que son cada una y en conjunto. La parte social involucra todo aquello que la sociedad requiere o solicita como una necesidad, entonces debe considerar que necesidades son más prioritarias que otras y definir su grado de importancia. En cambio, la arista económica evalúa los costos que se realizan para efectuar un proyecto, tanto antes como después. Por lo que en carreteras podríamos tomar en cuenta variables como su costo inicial o hasta su inversión en un plan de mantenimiento vial. Por último, pero no menos importante; el medio ambiente es una columna en la sostenibilidad de una carretera, pues afecta el entorno mediante su construcción y cualquier mejoramiento que requiera o incluso los

productos de su uso como la huella de carbono, por lo tanto, se analiza con el fin de mitigar o reducir el impacto ambiental que esto produce.

Como el análisis que busca este trabajo es de tipo comparativo, el Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones de Sostenibilidad (MIVES) es la herramienta idónea para generar esta evaluación. Hasta el momento no existe antecedentes de aplicación de este tipo de herramientas y estudios por parte de las autoridades encargadas de estos proyectos en Costa Rica, que permitan generar respuestas a problemas relacionados a estos proyectos constructivos.

2.5 Ubicación del Proyecto

Este análisis se localiza en el cantón de Moravia de la Provincia de San José, Costa Rica. Como se trata de un análisis de tipo vial, entonces se estudiarán rutas que van de un punto A: San Vicente (Centro del cantón), a un punto B: la comunidad de la Isla. La Isla es una comunidad marginal que tiene diferentes problemas sociales, no obstante, su ubicación produce una gran relevancia no solo del Moravia, sino otros cantones cercanos como Tibás, Coronado y Santo Domingo, pues se convierte en una ruta alterna con respecto a la ruta 32, permite trasladar productos agrícolas de la zona e inclusive abastece de agua potable a las comunidades vecinas.

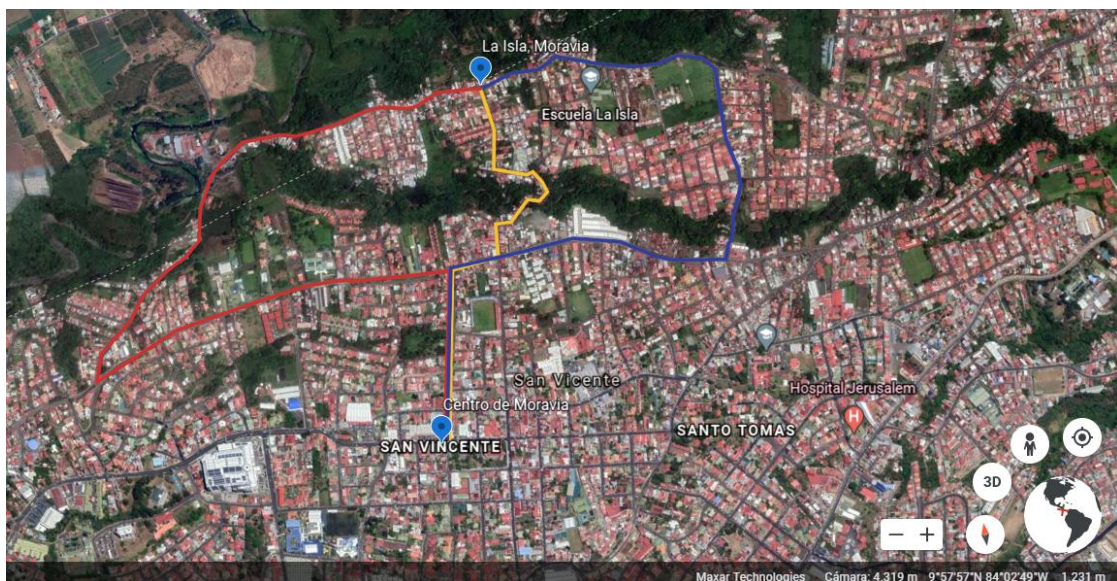


Figura 12. Mapa de Vías de Acceso a la Comunidad de La Isla de Moravia.

Fuente: Google Earth

Para el estudio comparativo se han escogido las tres rutas más usadas por sus vecinos y otros que beneficiarios que utilizan dichas vías, como se muestra en la figura 11. Y a continuación se describe cada una de las rutas usadas:

- Ruta 1: Inicia en la esquina noroeste del Parque Abraham Lincoln recorre aproximadamente 550 metros norte (Calle 63) hasta llegar al cruce con la Travesía 102-117 (Ruta 11401), para posteriormente trasladarse 1,2 km al oeste hasta llegar al cruce de Barrio Virginia y desviarse sobre la Ruta 102 aproximadamente 800 metros noreste hasta el puente Barrio Virginia-La Isla. Por último, se recorre aproximadamente 950 metros este, hasta terminar cerca de la Iglesia Católica de la Isla (Avenida 83).

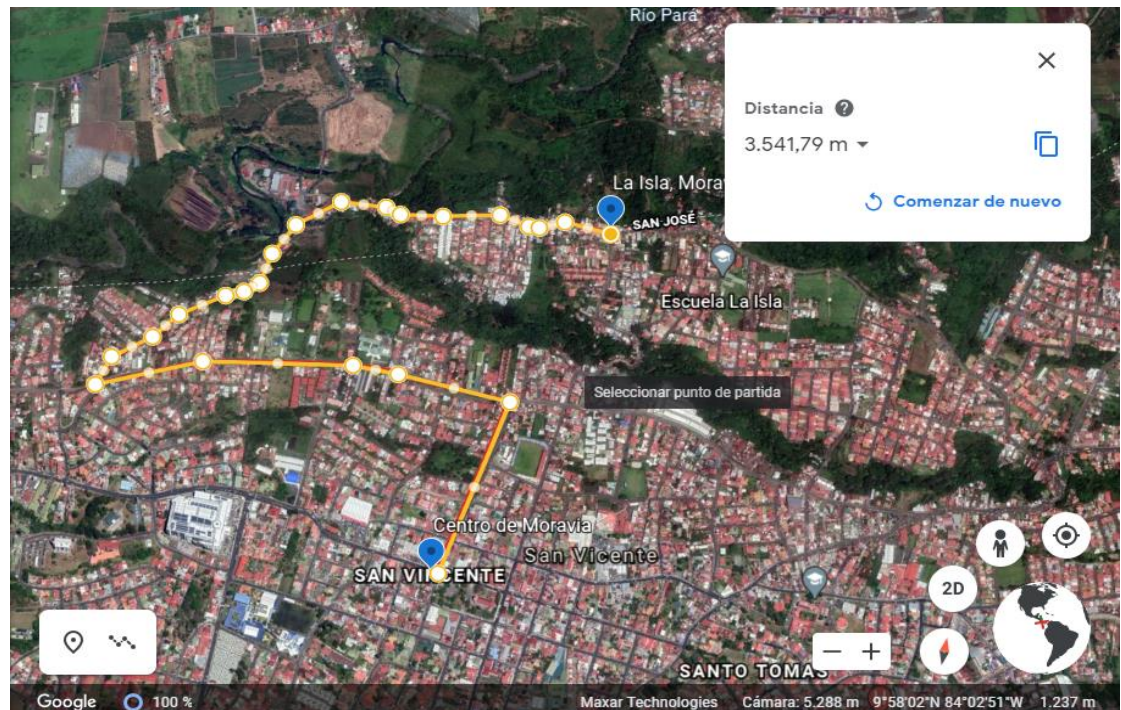


Figura 13. Mapa de la Ruta 1

Fuente: Google Earth

- Ruta 2: Inicia en la esquina noroeste del Parque Abraham Lincoln recorre aproximadamente 550 metros norte (Calle 63) hasta llegar al cruce con la Travesía 102-117 (Ruta 11401) donde recorre 900 metros este hasta llegar a la Veterinaria San Blas. Luego recorre aproximadamente 600 metros norte hasta el Camposanto La Piedad, para finalmente desplazarse aproximadamente 800 metros oeste, hasta terminar cerca de la Iglesia Católica de la Isla (Avenida 83).

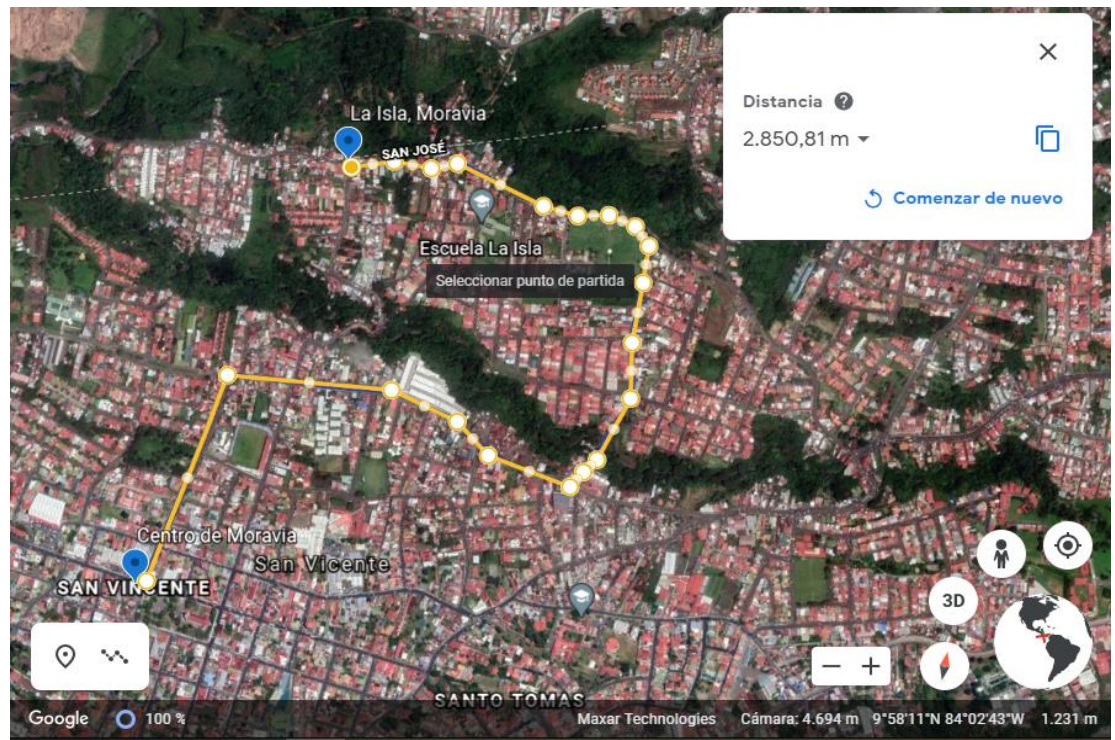


Figura 14. Mapa de la Ruta 2

Fuente: Google Earth

- Ruta 3: Inicia en la esquina noroeste del Parque Abraham Lincoln recorre aproximadamente 550 metros norte (Calle 63) hasta llegar al cruce con la Travesía 102-117 (Ruta 11401) donde recorre 150 metros este sobre dicha travesía. Para desviarse sobre la vía cantonal 71 (Calle 71) hacia el norte sobre Puente de San

Rafael-La Isla aproximadamente 800 metros norte, hasta terminar cerca de la Iglesia Católica de la Isla (Avenida 83).

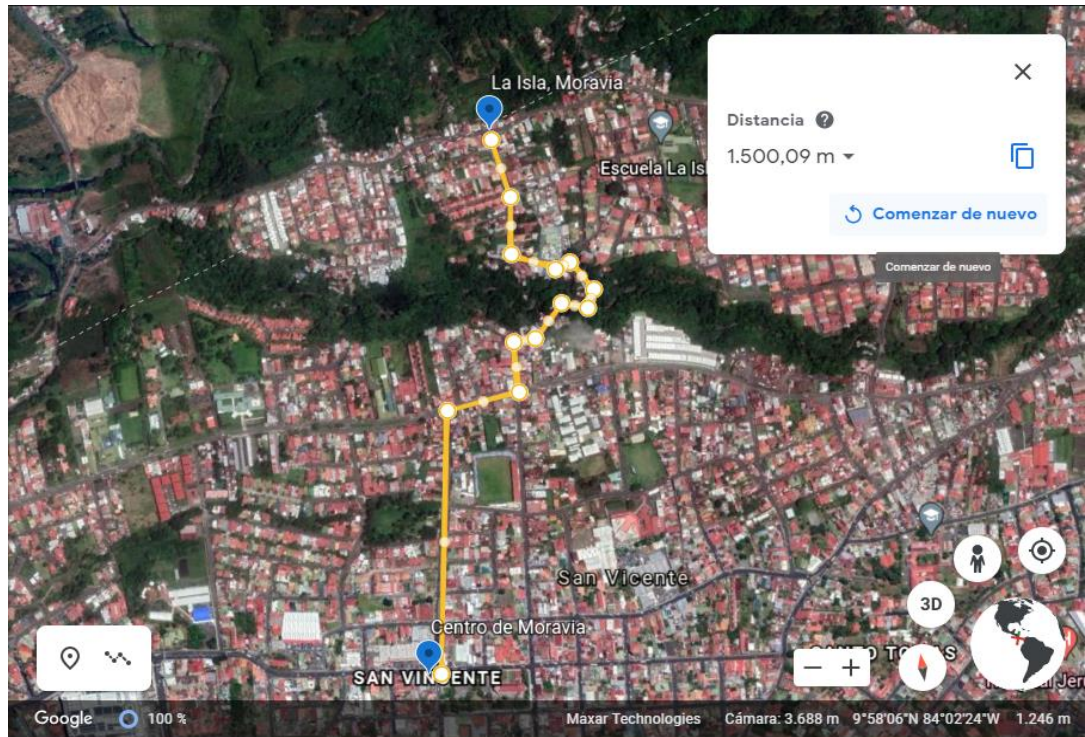


Figura 15. Mapa de la Ruta 3

Fuente: Google Earth

2.6 Plan de Mantenimiento para Pavimentos Flexibles

Según Coronado (2002) en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, el mantenimiento es el “conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra”. Por lo tanto, este trabajo busca como objetivo crear planes de mantenimiento que permite garantizar el buen uso de cada vía de acceso en sí.

Uno de los factores de mayor importancia es el tiempo, pues los pavimentos flexibles cuentan con una vida útil que se puede prolongar a través de un plan de intervención vial certero

en función de en qué momento debe aplicarse según el deterioro presente en la vía, para evitar efectuar inversiones costosas por no atender a tiempo la problemática.

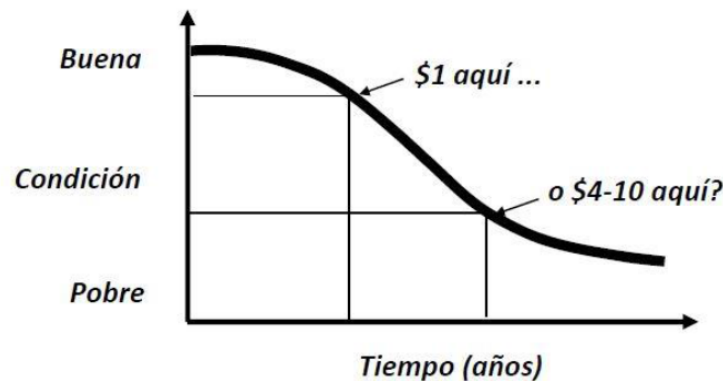


Figura 16. Estado del Pavimento Flexible a lo largo del tiempo

Fuente: Vargas (2018)

Unido a ello, se puede agregar que la edad del pavimento es inversamente proporcional al costo necesario para atender la vía, es decir, entre más nuevo es el pavimento menor es el costo de su mantenimiento. En contraste con los pavimentos más antiguos que requieren una mayor inversión para mejorar su condición, que incluso puede requerir de una reconstrucción parcial o total de la carretera.

Ahora, según Vargas (2018) el deterioro a lo largo del tiempo avanza a diferentes fases que se exponen a continuación:

- Fase A: Construcción.

En esta fase el pavimento se encuentra nuevo, en donde sus usuarios pueden aprovechar su estado para transitar sin ningún problema.

- Fase B: Deterioro Lento y Poco Visible.

Esta fase es alcanza por lo general en los primeros diez años de uso, en el cual estructuralmente hay poco daño, pero su carpeta o superficie de ruedo comienza a presentar daños poco visibles.

- Fase C: Deterioro Acelerado.

Esta se divide en dos subfases. La C1 es una etapa de transición con la B; sin embargo, la C2 se comienzan a percibir los daños aceleradamente tanto estructural como funcionalmente, es decir en su superficie de ruedo.

- Fase D: Deterioro Generalizado o Descomposición Total.

La fase anterior es la antesala de la descomposición total del pavimento, pues se observa el desprendimiento de agregados, huecos, depresiones, cuero de lagarto lo cual impide la circulación de los vehículos a la velocidad para la que fue diseñada, por lo que aumentan los accidentes.

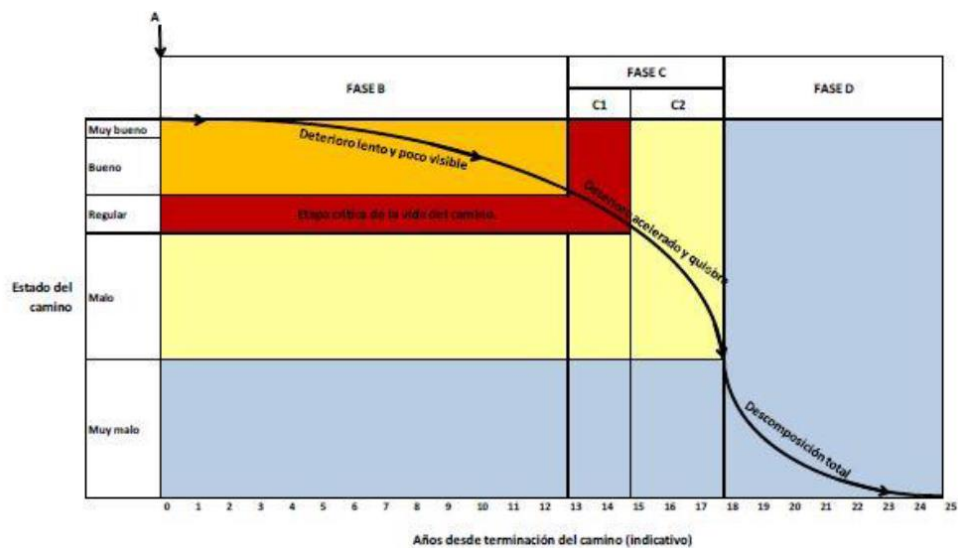


Figura 17. Fases de Deterioro del Pavimento a través del Tiempo

Fuente: Vargas (2018)

Si se toman las decisiones correctas en cuanto a mantenimiento de una carretera se refiere, se pueden abordar las fases de deterioro del pavimento en cualquier punto (con excepción a la última, la fase D: Descomposición Total), para generar una intervención oportuna en la estructura completa del pavimento. Pues cada vez que se realiza una actividad constructiva

para brindar el mantenimiento a la carretera su condición mejora y evita llegar a la serviciabilidad final, como se muestra en la figura a continuación:

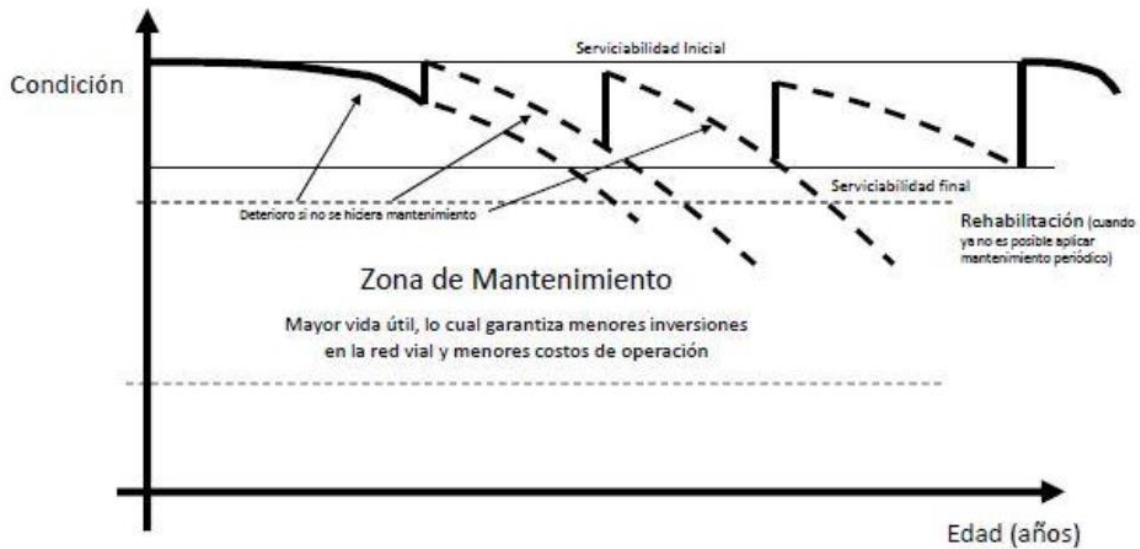


Figura 18. Gráfica de Condición del Pavimento en el Tiempo

Fuente: Vargas (2018)

La serviciabilidad es una característica funcional del pavimento, dado que es definida por medio de la apreciación de los usuarios. No obstante, no es un dato de tipo subjetivo, pues debe ser medido con información teórica con el uso de una encuesta. Por eso es que métodos como AASHTO lo requieren como parte de sus índices, en el cual se le asigna una nota del 0 al 5, donde cinco es el valor donde la serviciabilidad es alta, es decir se encuentra en condiciones óptimas. Y cero, es donde la superficie de ruedo prácticamente llega al final de su vida útil.

Cada calificación describe un pavimento y las condiciones en las que se encuentran en su forma actual, por lo que en las notas más altas están los pavimentos más nuevos pasando por pavimentos con ciertos daños y hasta llegar al pavimento prácticamente con daños muy serios, irreversibles y totalmente fallados. Por lo que en la siguiente figura se puede observar las calificaciones según su condición:

Índice de Serviciabilidad (<i>PSI</i>)	Calificación
5 – 4	Muy buena
4 – 3	Buena
3 – 2	Regular
2 – 1	Mala
1 – 0	Muy mala

Figura 19. Rango de Calificación del Índice de Serviciabilidad

Fuente: ASSTHO, Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (1993)

Siguiendo la línea de la intervención vial y su respectivo análisis a través del tiempo y realizar labores de mantenimiento, a ese nivel Vargas (2018) encuentran cuatro distintos panoramas al producir mantenimiento en diferentes momentos que a su vez genera ciclos de mantenimiento que se demuestran a continuación:

1. Ciclo de Deterioro Rápido:

En este se presentan tareas de mantenimiento defectuosas que obligan a la administración aplicar con mayor rapidez la intervención, pero que por su calidad vuelven a entrar en malas condiciones rápidamente.

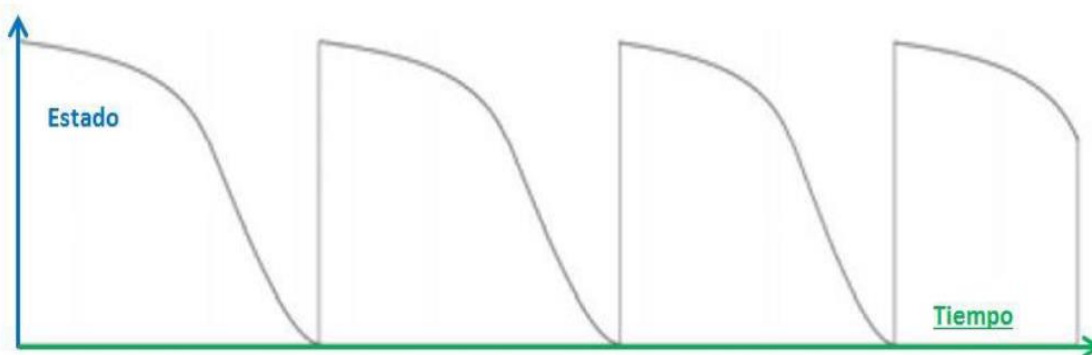


Figura 20. Ciclo de Deterioro Rápido

Fuente: Vargas (2018)

2. Ciclo de Deterioro Lento:

Para este panorama se muestra una menor intervención con tareas de mantenimiento más efectivas, para intentar rehabilitar una vía.

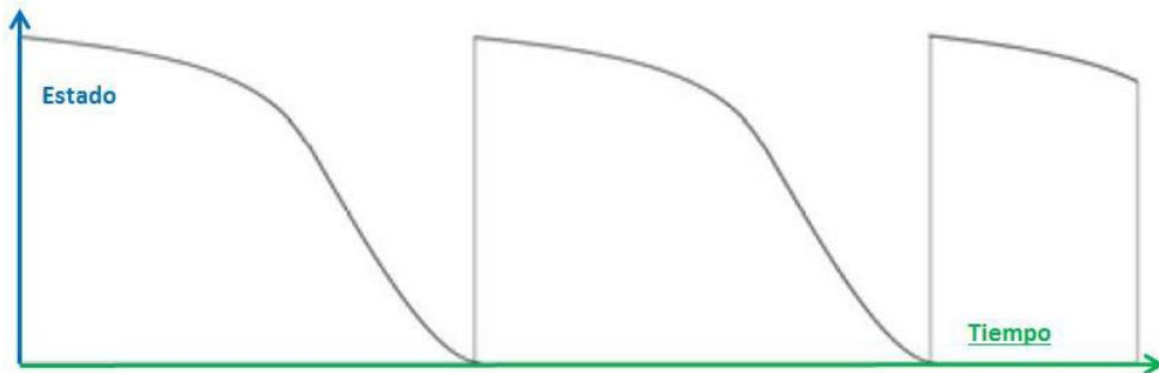


Figura 21. Ciclo de Deterioro Lento

Fuente: Vargas (2018)

3. Ciclo de Deterioro Tipo Mantenimiento:

Este ciclo representa el mantenimiento en momento adecuado, que precisamente que es cuando comienza la Fase C1 donde hay el daño es poco perceptible, y eso sucede cada vez que el pavimento por su deterioro quiera entrar a esa fase.



Figura 22. Ciclo de Deterioro Tipo Mantenimiento

Fuente: Vargas (2018)

4. Ciclo de Reconstrucción:

Cuando ya el deterioro ha avanzado aceleradamente y prácticamente existe una descomposición total de la estructura completa del pavimento y los costos de intervención son sumamente altos (que son asumidos por los usuarios de la vía y representados por los espacios sombreados), es cuando el cuarto ciclo aparece.

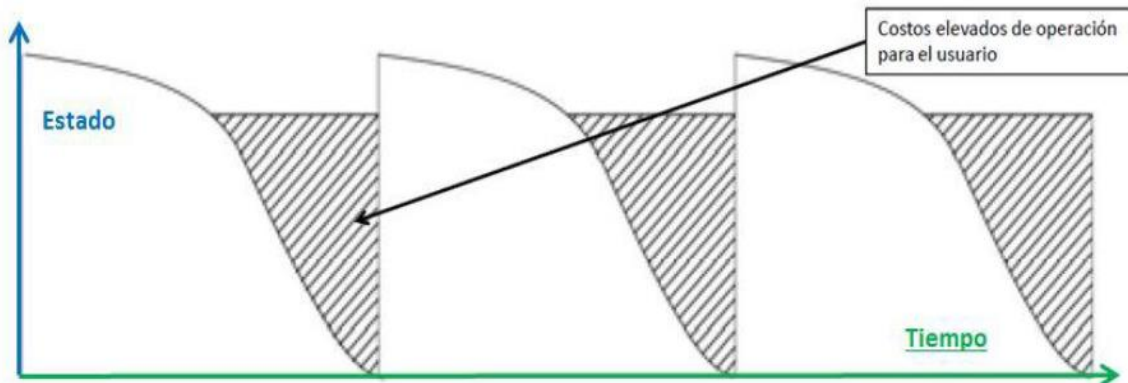


Figura 23. Ciclo de Reconstrucción

Fuente: Vargas (2018)

Como parte de la construcción de cada plan de mantenimiento y mejoramiento de carreteras, se pueden tomar documentos que fundamenten o referencien las tareas o actividades constructivas escogidas, estas decisiones estarán apoyadas en esta guía “SHRP 2 Report S2-R26-RR-2 Guidelines for the Preservation of High-Traffic- Volume Roadways”.

Esta guía recomienda una serie de actividades que permiten mejorar e intervenir las carreteras de un alto tránsito, por lo que carreteras como las que se están evaluando de mediano tránsito aplica pues supera sus condiciones iniciales. A continuación, se comentan las tareas de mantenimiento que la guía sugiere como parte del plan completo de mejoramiento vial:

- Sellado de Grietas:

Crack Sealing (por su traducción) es una tarea que ataca grietas longitudinales y transversales, no grietas en bloque ni mucho menos el cuero de lagarto. Con un

proceso sencillo donde se limpian las grietas y luego se aplica un producto asfáltico en caliente.

- Sellado Tipo Lechada o Slurry Seal:

La Lechada es un material denso que es una mezcla de agua, emulsión asfáltica y material fino que permite sellar las grietas.

- Sellado de Viruta:

Más conocido como Chip Seal, y es similar al de sellado de tipo lechada, pero se aplica una capa protectora sobre el pavimento.

- Sobrecapa delgada o ultradelgada de MAC:

Se aplican capas de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) de espesores menor a 1.5 pulgadas. Además, se considera como una alternativa que genera un balance entre la intervención vial y tránsito, donde evita reducir parcial o totalmente la circulación.

- Reciclado en Caliente en Sitio:

Esta técnica consiste en retirar la superficie de ruedo presente en el sitio y se carga a una máquina que mezcla el material viejo con nuevo, para reutilizar y colocar nuevamente en material en el mismo lugar. En inglés, se denomina Hot in-place recycling.

- Reciclado en Frio en Sitio (Bacheo):

Similar a la técnica de sobrecapa, sin embargo, hay una diferencia la cual es que es aplicable a pavimentos con un mayor deterioro. Se extrae un espesor de la carpeta mediante la escarificación y se coloca una sobrecapa, en una parte de la carpeta que se encuentra en una mejor condición.

- **Reconstrucción:**

Es la solución más costosa, pues la gran mayoría de técnicas solo toman en cuenta remover la capa superior, en cambio la reconstrucción propone cambiar toda la estructura completa hasta llegar a la subrasante.

Cada una de las técnicas anteriormente mencionadas, entrega un sustento teórico de las posibles tareas de intervención y mejoramiento vial que se pueden proponer como solución a la problemática de infraestructura actual de las vías de acceso seleccionadas.

2.7 Priorización de Planes de Mantenimiento Vial mediante el Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles (MIVES)

Según Arias (2018): “Dada la ausencia de la implementación formal de un Sistema de Gestión de Pavimentos para la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica, no han existido procesos de planificación de largo plazo sobre la inversión en los pavimentos de esa red. La presente investigación busca demostrar, además de la factibilidad de realizar planes de inversión de largo plazo (20 años) en pavimentos flexibles, también la posibilidad de utilizar índices ambientales, económicos y sociales como criterios de priorización”.

Es por lo anterior, que dichos criterios múltiples permiten tomar una decisión acertada en cuanto a: cómo y cuándo se debe hacer una inversión, cuánto se debe invertir, qué tanto le afecta esto al medio ambiente, qué impacto social traerá a los beneficiarios. Por lo tanto, MIVES como herramienta permite realizar este análisis multicriterio para dicha decisión que, por supuesto va a hacer en forma priorizada, que es finalmente lo que busca esta investigación.

MIVES es una herramienta que tiene como fundamento principal aplicar la metodología TDMV en diversos proyectos prácticamente de cualquier índole, en este caso en particular un

proyecto de infraestructura vial. Y como una metodología conlleva a una serie de pasos a seguir los cuales se presentan a continuación:

1. Definir el problema: se define en donde se va a trabajar la metodología, en que proyecto y para que fines.

2. Crear el modelo de evaluación mediante la construcción del árbol de requerimientos: donde se eligen sus componentes, se asignan sus pesos equivalentes y de sus funciones de valor.

3. Calcular las alternativas a las posibles opciones para encontrar y elegir la mejor solución.

Realmente la metodología es sumamente compleja, y para simplificar el trabajo se recurre a la herramienta MIVES a través de un software, que realiza y desarrolla la metodología de TDMV que antes definimos aplicando todo su algoritmo. MIVES como software se constituye por un entorno web y tres módulos, donde cada módulo tiene está relacionado entre sí y busca lo siguiente:

1. Módulo Programador: este módulo es donde se alimenta la información para realizar la valoración. Se introducen el árbol de requerimientos con las funciones de valor y todas sus variables, indicadores y componentes, sin olvidar que en este módulo se asignan sus respectivos pesos.

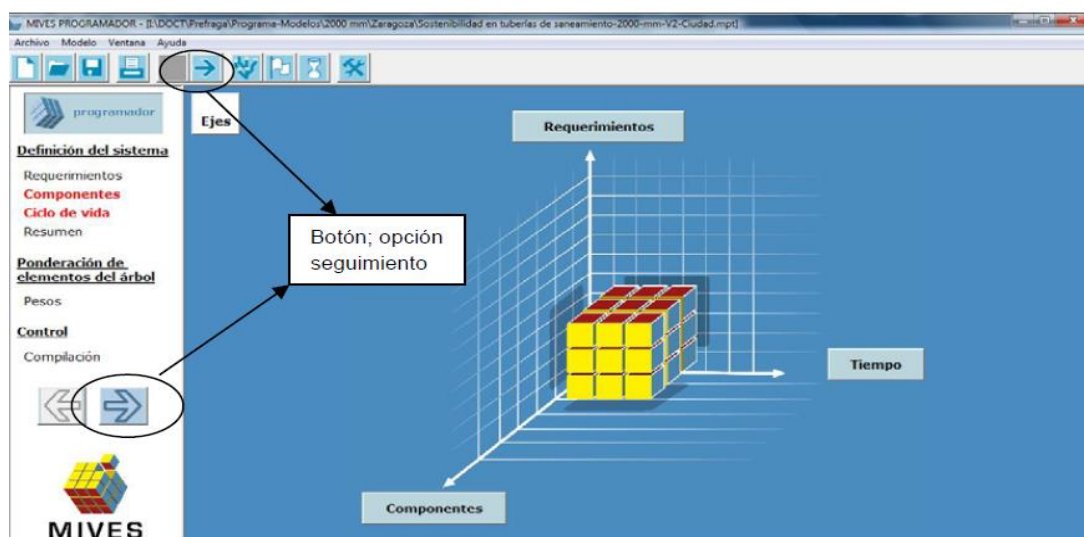


Figura 24. MIVES Programador

Fuente: Manual MIVES (2009)

2. Módulo Usuario: este módulo también se conoce como modelo de valoración, pues es la aplicación de las valoraciones a partir de los resultados de cada indicador con respecto a las alternativas.

Requerimientos	Criterios	Indicadores	Valor introducido
			1000
(R1) Funcionales	(C1R1) Disfunciones estructurales en los	(I1C1R1) Degradación en la superficie - (Adimensional)	6,75
	(C2R1) Disfunciones estructurales en las	(I1C2R1) Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos - (Adimensional)	3,38
	(C3R1) Capacidades añadidas	(I1C3R1) Capacidad mecánica añadida	
(R2) Económicos	(C1R2) Costes	(I1C1R2) Costes de fabricación + transporte + instalación - (Adimensional)	420,9
		(I1C1R3) Emisiones de CO2 - (Kg CO2/ml tubo)	7
(R3) Medioambientales	(C2R3) Recursos empleados en todo nuestro sistema	(I1C2R3) Energía requerida - (MJ/ml tubo)	<puntuación>
		(I1C3R3) Sensibilidad medioambiental en planta productora de tubos - (Adimensional)	4,5
	(C3R3) Medidas correctoras de tipo	(I1C3R4) Riesgos accidentes la producción y ejecución - (Adimensional)	<puntuación>
(R4) Social	(C1R4) Seguridad personas implicadas	(I1C1R4) Tiempo afectación y reparación - (Adimensional)	7,75
	(C2R4) Afectación a (o por) terceros	(I1C2R4) Contaminación acuífero - (Adimensional)	7
		(I1C2R4) Contaminación acuífero - (Adimensional)	4,94
		(I1C3R4) Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas - Vulnerabilidad - (Adimensional)	2,88

Figura 25. MIVES Usuario

Fuente: Manual MIVES (2009)

3. Módulo Reporte: no solo obtienen los resultados, sino que los analiza y los pueden mostrar mediante gráficos que modelen cada variable e indicador según la alternativa obtenida.

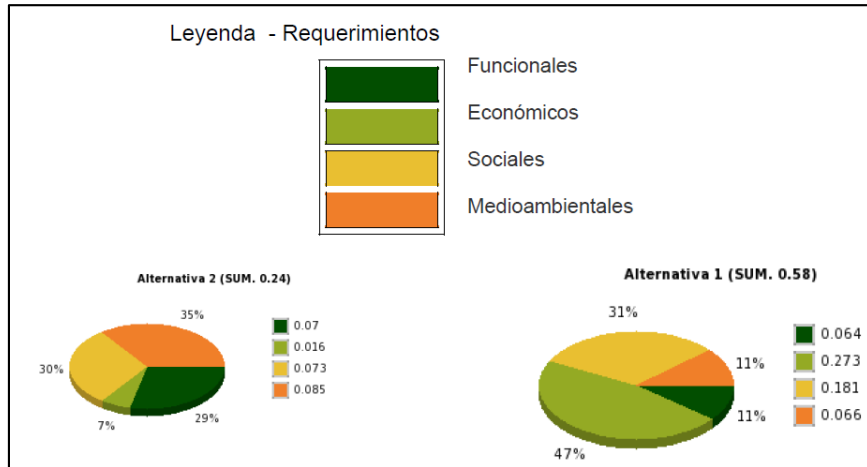


Figura 26. MIVES Usuario

Fuente: Manual MIVES (2009)

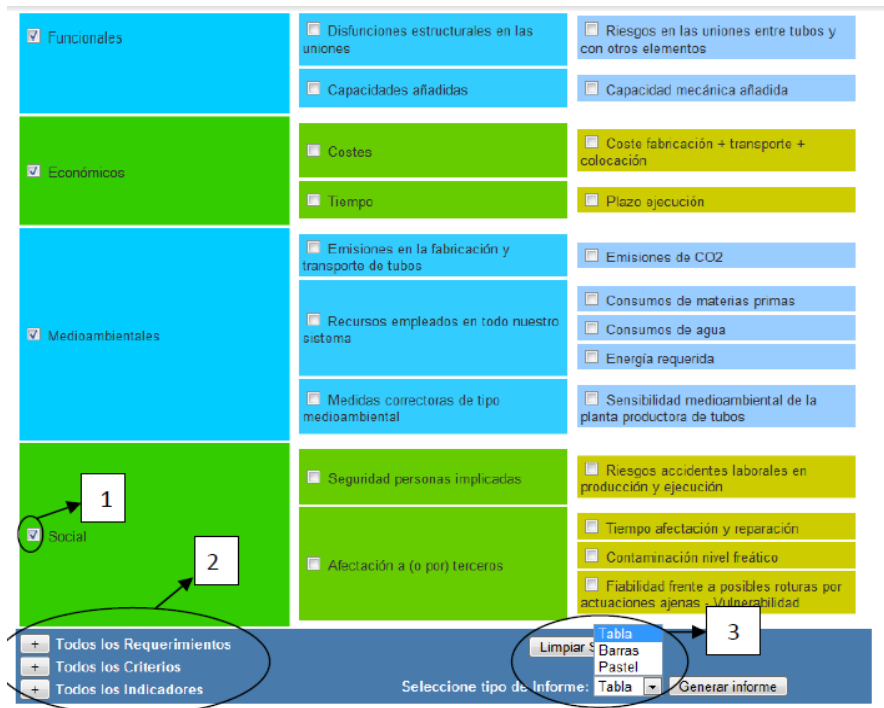


Figura 27. MIVES Reporte

Fuente: Manual MIVES (2009)

Capítulo 3: Marco Metodológico

3.1 Enfoque de la investigación

Como parte de la investigación ha enfocado este proyecto de manera mixta, pues al ser un proyecto de infraestructura vial se deben analizar diversas variables las cuales comprenden: nivel de severidad y extensión, valores deducidos a partir de gráficas, cálculo del PCI y demás cálculos numéricos con apoyo en ecuaciones. Por lo otro lado, este trabajo demanda de trabajo de campo para la recolección de datos físicos presentes en las vías, sin dejar de lado la evaluación que genera una propuesta de plan de mantenimiento; que a su vez nos permite analizar variables ambientales como la huella de carbono o valores sociales como tiempo de recorrido de cada ruta, que por supuesto afecta los beneficiarios y su calidad de vida. Por lo cual, esta investigación mezcla ambos enfoques: cuantitativos y cualitativos, para constituir el enfoque mixto.

3.2 Tipo de investigación

Esta investigación se define de tipo cuantitativa experimental, pues a partir del trabajo de campo de extraer los deterioros de cada ruta genera un indicador (PCI), y se realiza un análisis que produce una propuesta de plan de mantenimiento y acompañado de diversas variables de sostenibilidad que permiten evaluar comparativamente las vías seleccionadas, con el uso de la herramienta informática de MIVES que se encarga de establecer la mejor opción en cuanto a sostenibilidad se refiere. Por lo que analiza las variables de sostenibilidad en busca del resultado que estas producen.

3.3 Sujetos y Fuentes de Información

El primer sujeto de información es la norma sobre la cual se basa la metodología del PCI “ASTM. (2004). Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del

pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433)”. Que se complementa con el Manual de Auscultación Vial del MOPT: Guía de Profesionales (2016), dado que contiene información valiosa como el Catalogo de Deterioros, que clasifica y tipifica los deterioros más comunes en pavimentos flexibles.

Por otra parte, el trabajo une la metodología de TDMV que su principal fundamento es el Manual MIVES (2009) que no solo explica los principios de la metodología, sino que sugiere el uso de una herramienta tecnológica llamada MIVES que simplifica el procedimiento alimentándolo con sus componentes, funciones y árbol de requerimientos.

Para finalizar, varias de las fuentes de información de este trabajo requieren de investigaciones anteriores comúnmente presentadas mediante tesis de grado, artículos científicos y manuales de diseños; con un extenso fundamento teórico y práctico, tanto a nivel nacional como internacional. Sin olvidar, otro sujeto de información que sirve como una guía esencial, el tutor, el cual es un profesional especialista en el área de infraestructura vial que con su amplia experiencia guía y nutre generosamente esta investigación.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1 Metodología del PCI

Como parte de toda metodología conlleva un procedimiento riguroso y repetitivo, por lo cual se expone a continuación dicho método, con el fin de establecer dicho patrón de aplicación de la metodología del PCI en cada Unidad de Muestreo (UM) y en cada ruta escogida:

1. Unidad de Muestreo (UM):

Se establece un promedio del ancho de la calzada y la longitud de la vía a estudiar. Para la ruta 1, el ancho de calzada es de 6 metros y tiene una longitud de 3,500 metros. Con estos datos se puede establecer la cantidad de tramos o secciones totales en el análisis. Además, se

realiza la aclaración de que se aplica sobre pavimento flexible, pues el método varía según el tipo de material.

2. Longitud de la UM:

Como ya se conoce el ancho de la calzada, el cual es 6 metros con apoyo de la Tabla 1, se establece 38 metros como longitud de UM. Y su justificación, es que esta medida es “a criterio del usuario”, y se ajusta entre los promedios encontrados en dicha vía.

Ancho de Calzada (m)	Longitud de UM (m)
3,5 – 6,5	47
4,0– 7,5	42
4,5 – 8,5	38
5,0– 9,0	35
5,5 - 10 máx.	31

Figura 28. Selección de Longitud de UM

Fuente: Manual de Auscultación Vial del MOPT

3. Número Total de UM (N):

Con ecuación de N se debe alimentar con los siguientes datos: longitud de proyecto es de 3,500 metros y la longitud de UM es de 38 metros. Por lo que se calcula de la siguiente forma:

$$N = \frac{\text{Long. Proyecto}}{\text{Long. UM}} = \frac{3500 \text{ m}}{38 \text{ m}} = 92$$

Figura 29. Calculo de N para la Ruta 1

Fuente: Propia

4. Número Mínimo de UM a Inspeccionar (n):

Como es sumamente tedioso y lento para efectos prácticos, se trabaja con una muestra aleatoria de escogida a través del cálculo de n y con una desviación estándar de 10, al ser pavimento flexible y un error admisible de 5%. Por lo tanto, n por formula es:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2} = \frac{92 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (92 - 1) + 10^2} = 13,76$$

Figura 30. Calculo de n

Fuente: Propia

Sin embargo, se ha usado otro criterio con el fin de agilizar el cálculo final de PCI. Dicho criterio se basa en la Tabla 6:

Unidades de muestra en la sección (N)	Número de unidades a inspeccionar (n)
1 - 5	1
6 - 10	2
11 - 15	3
16 - 40	4
Más de 40 pero menos de 200	10% (redondear hacia arriba a la próxima unidad de muestra)

Figura 31. Selección de n bajo criterio técnico

Fuente: Curso de Vías de Comunicación II, Universidad Central

Este criterio se obtiene 9,2 y se debe redondear al número entero más cercano el cual sería 9. Por lo que, el valor n utilizado será 9 para la ruta 1 en estudio.

5. Escogencia de UM a Inspeccionar:

Con la colaboración de ecuación de la figura 4, se obtiene el intervalo de muestreo \acute{i} , el cual permite conocer el espaciamiento entre cada UM a inspeccionar, que se demuestra a continuación:

$$\acute{i} = \frac{N}{n} = \frac{92}{9,2} = 10$$

Figura 32. Calculo de \acute{i}

Fuente: Propia

Y en cuanto al primer valor de n llamado s , se elige aleatoriamente entre valores de 1 a 5, y se ha escogido 5 como valor de s . Por lo que se presentan las UM a inspeccionar con la siguiente figura, donde las UM en color rojo representan las UM a inspeccionar:

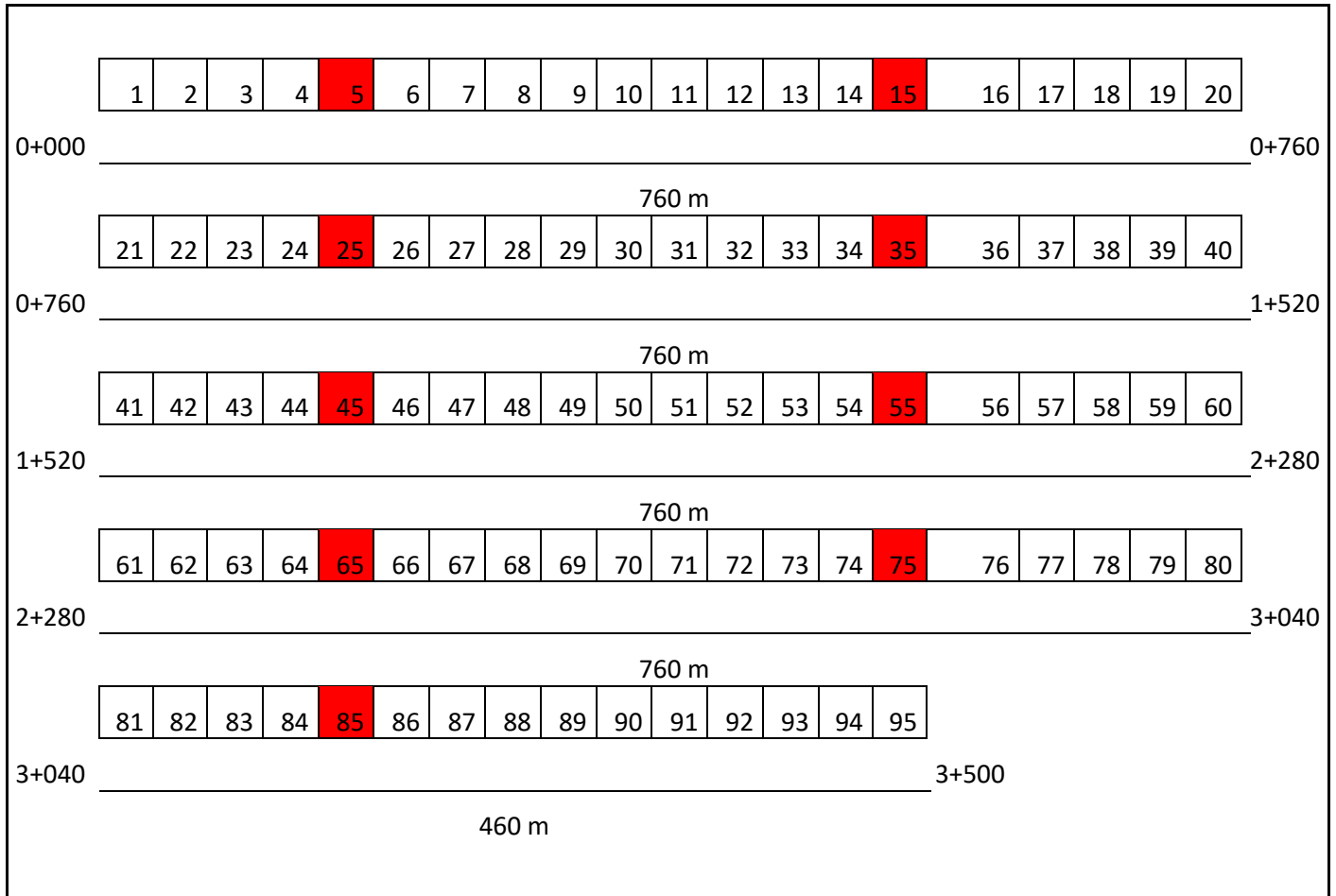


Figura 33. Unidades de Muestreo y su Selección Aleatoria

Fuente: Propia

Con todos los valores definidos para la ruta 1, se muestra una tabla resumen que describen las UM a inspeccionar con sus características más relevantes y las que se requieren para avanzar con la metodología de PCI:

Tabla 7.

Tabla Resumen de las UM a Inspeccionar de la Ruta 1

n	UM	Ruta	Est. Inicial	Est. Final	Longitud UM (m)	Ubicación de Referencia para Inspector
1	5	C-055	0+152	0+190	38	Del Final de peatonal al Poste Frente a Monserrat
2	15	T-102-117	0+532	0+570	38	Del Rotulo Isla a Catleya Rotulo 40 máx.
3	25	T-102-117	0+912	0+950	38	De Tapa Entrada Vende Lote a Entrada de Condominio Vía Moravia
4	35	T-102-117	1+292	1+330	38	De Palmera Manuel Solano Jiménez a Entrada Frente a Vidriera
5	45	117	1+672	1+710	38	Termino Cordón-caño a Final de Intersección
6	55	117	2+052	2+090	38	De Tapa de Alcantarilla a Antena Sky
7	65	117	2+432	2+470	38	De Final de Puente a 4 metros de Tapa Alcantarilla
8	75	C-084	2+812	2+850	38	De Losa a Residencial Monte Lindo
9	85	C-084	3+192	3+230	38	Del Barbero 20 m hacia abajo y hasta 5 metros N

Fuente: Propia

6. Inspección de Campo y Levantamiento de Deterioros:

Este paso es fundamental, pues la recolección de los daños presentes en la vía es vital para en el procedimiento y así evitar datos incorrectos que produzcan a su vez un resultado erróneo. Aunado a ello, se debe entender bien los conceptos de nivel de severidad y la extensión del deterioro.

En el caso del nivel de severidad, en encuentra tres niveles: bajo, medio y alto; los cuales dependen del estado del deterioro y el criterio de inspección visual del inspector. Y la extensión del deterioro se realiza conforme a la unidad de medida establecida mediante el catálogo de deterioros usado.

Para tomar el registro del levantamiento de deterioros por UM, se hace uso de una hoja de levantamientos de deterioros construida a partir de la “Hoja de Levantamientos de Deterioros” del Manual de Auscultación del MOPT: Guía para Profesionales (2016), la cual se basa en la metodología del PCI para evaluar carreteras de pavimento flexible. Se realizaron algunas modificaciones en la estructura e información requerida para la inspección hechas por el investigador e inspector mismo. La hoja utilizada se muestra a continuación:

CLASIFICACIÓN DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	Fecha:		Unidad de Muestreo (UM):		Sección de Control:		Estación Inicial:		Estación de Final:			
	Ruta:		Desviación Estándar σ		Área de UM (m ²):							
	Error admisible e		5		Longitud UM:							
Grupo 1: Grietas	Nivel de Severidad			Extensión	% Densidad	Valor deducido	Extensión Medio	% Densidad	Valor deducido	Extensión Bajo	% Densidad	Valor deducido
	Alto	Medio	Bajo	Alto								
1.1 Cuero de lagarto												
1.2 Longitudinal transversal												
1.3 Reflejo de juntas												
1.4 Bloque												
1.5 Borde												
1.6 Arco												
Grupo 2: Deformaciones												
2.1 Roderas												
2.2 Abultamientos y hundimientos												
2.3 Corrugación												
2.4 Depresión												
2.5 Hinchamiento												
2.6 Desplazamiento												
Grupo 3: Textura Superficial												
3.1 Exudación												
3.2 Pulmineto de agregados												
3.3 Desplazamiento de agregados												
3.4 Desgaste superficial												
Grupo 4: Miscelaneos												
4.1 Escalonamiento calzada-espaldon												
4.2 Baches												
4.3 Huecos												
4.4 Cruce de línea ferroviaria												

Figura 34. Hoja de Levantamiento de Deterioros

Fuente: Propia

Con esta hoja de registro definida, se procede a tomar una UM al azar con el fin de exponer el protocolo de cálculo dentro de la hoja y así hasta obtener el PCI. Para ello se ha escogido UM número 15 de la ruta 1, pues presenta características interesantes de analizar y permite explicar bien el procedimiento. Y para esto, seguidamente se muestra el registro y la recolección de datos de la UM 15 de la ruta 1:

Hoja de Inspección del Paviment Index Condition (PCI)												
CLASIFICACIÓN DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	Fecha:	07/11/2020		Unidad de Muestreo (UM):	15		Sección de Control:	40420		Estación Inicial:	Estación de Final:	
	Ruta:	117		Desviación Estándar σ	10		Área de UM (m ²):	228		0+532	0+570	
				Error admisible e	5		Longitud UM:	38				
Grupo 1: Grietas	Nivel de Severidad			Extensión	% Densidad	Valor deducido	Extensión	% Densidad	Valor deducido	Extensión	% Densidad	Valor deducido
	Alto	Medio	Bajo	Alto								
1.1 Cuero de lagarto	X	X		9,2	4,04	50	15,9	6,97	42			
1.2 Longitudinal transversal												
1.3 Reflejo de juntas												
1.4 Bloque												
1.5 Borde												
1.6 Arco												
Grupo 2: Deformaciones												
2.1 Roderas												
2.2 Abultamientos y hundimientos												
2.3 Corrugación												
2.4 Depresión												
2.5 Hinchamiento												
2.6 Desplazamiento												
Grupo 3: Textura Superficial												
3.1 Exudación												
3.2 Pulimineto de agregados												
3.3 Desplazamiento de agregados	X			6,7	2,94	7						
3.4 Desgaste superficial												
Grupo 4: Miscelaneos												
4.1 Escalonamiento calzada-espaldon												
4.2 Baches		X	X				8,5	3,73	18	4,5	1,97	5
4.3 Huecos												
4.4 Cruce de línea ferroviaria												

Figura 35. Hoja de Levantamiento de Deterioros de la UM 5 de la Ruta 1.

Fuente: Propia

Se encontraron presentes cinco deterioros de tres de los cuatro grupos de deterioros. Lo primero, es que se debe identificar cada deterioro y categorizar según su grupo. Y luego medir su extensión sobre el pavimento con la ayuda principalmente de un odómetro y otros instrumentos de medición.

7. Densidad de Deterioro:

También conocido como “Porcentaje de Densidad de Deterioro (% Densidad)”. Una vez con los datos anteriores, se procede a calcular la Densidad para cada deterioro. Para ello, se expone el ejemplo se ha tomado el deterioro 1.1 Cuero de Lagarto con Nivel de Severidad Alta:

$$Densidad = \frac{Extensión * 100}{Area UM} = \frac{9,2 * 100}{228} = 4,04$$

Figura 36. Ejemplo de Cálculo de Densidad de Deterioro

Fuente: Propia

Y así mismo para los otros cuatro deterioros del ejemplo, y con esos resultados se avanza al próximo paso.

8. Valor Deducido (VD):

El Manual de Auscultación del MOPT: Guía para Profesionales (2016) cuenta con una serie de gráficas para que sea encontrado mediante el porcentaje de densidad de deterioro, el valor deducido (VD). Por lo que, siguiendo con el deterioro escogido en el paso anterior, se muestra como se encontró el VD:

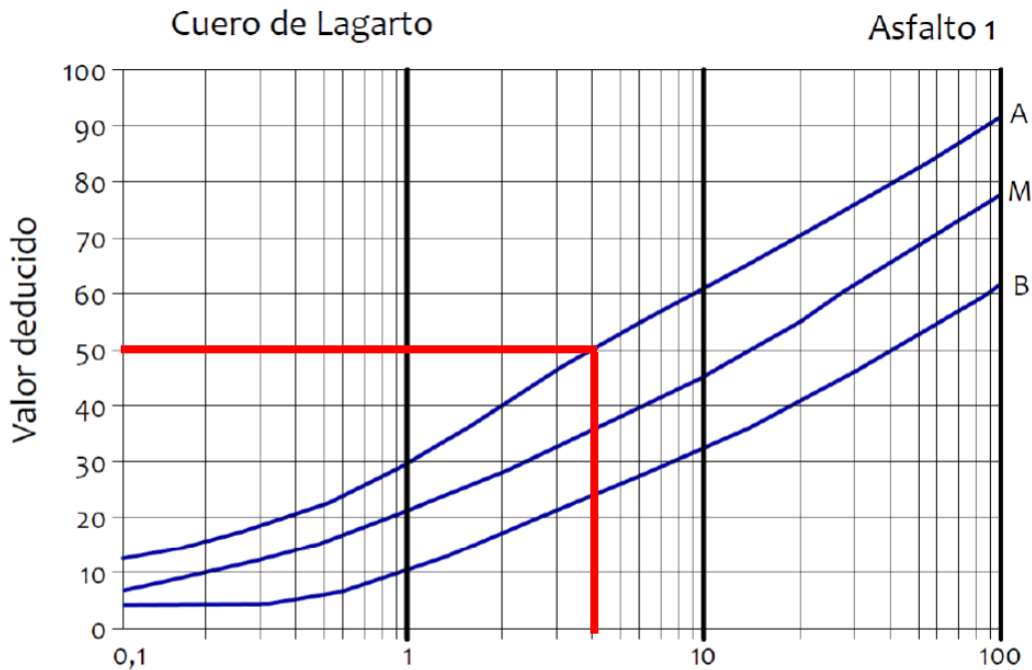


Figura 37. Valor Deducido de la Gráfica de Cuero de Lagarto

Fuente: Apéndice 4, Manual de Auscultación del MOPT: Guía para Profesionales (2016) (p.

Con dicha proyección se encuentra que para un valor de densidad de 4,04; su VD es de 50 puesto que se debe leer en la curva A que presenta un Nivel de Severidad Alto. Lo mismo para los otros deterioros, se leerán en su respectiva gráfica y curva.

9. Numero de Deducciones Admisibles (*m*):

El valor *m* nos permite saber cuáles valores deducidos deben tomarse en cuenta para el cálculo final del PCI, pues lo que se hace con este valor es discriminar los VD que no requieren dentro de la muestra. Con todos los VD calculados se procede a ordenarlos de mayor a menor, se elige el MaxVD, que es el mayor valor individual de VD para esa UM. Y aplicando la fórmula:

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - MaxVD) = 1 + \frac{9}{98} * (100 - 50) = 5,6$$

Figura 38. Ejemplo de Cálculo de *m*

Fuente: Propia

10. Máximo VD Corregido (VDC Máx):

Por lo que como *m* es mayor al número de VD se proceden a usar todos para el cálculo de VD Corregidos (VDC), en donde sus resultados serían los siguientes:

Valor deducido				VDC 1	VDC 2	VDC 3	VDC 4	VDC 5
50	MaxVD			50	50	50	50	50
42	50			42	42	42	42	2
18	<i>m</i>			18	18	18	2	2
7	5,6			7	7	2	2	2
5		+		5	2	2	2	2
				122	119	114	98	58
				VDT 1	VDT 2	VDT 3	VDT 4	VDT 5
				q=5	q=4	q=3	q=2	q=1

Figura 39. Ejemplo de Cálculo de VDC

Fuente: Propia

Y como se muestra en la figura anterior; se realiza la sumatoria para obtener los Valores Deducidos Totales (VDT) y poder corregir los VD, que además se les asigna un valor en la curva para poder realizar su corrección. Que se realiza de la siguiente forma:

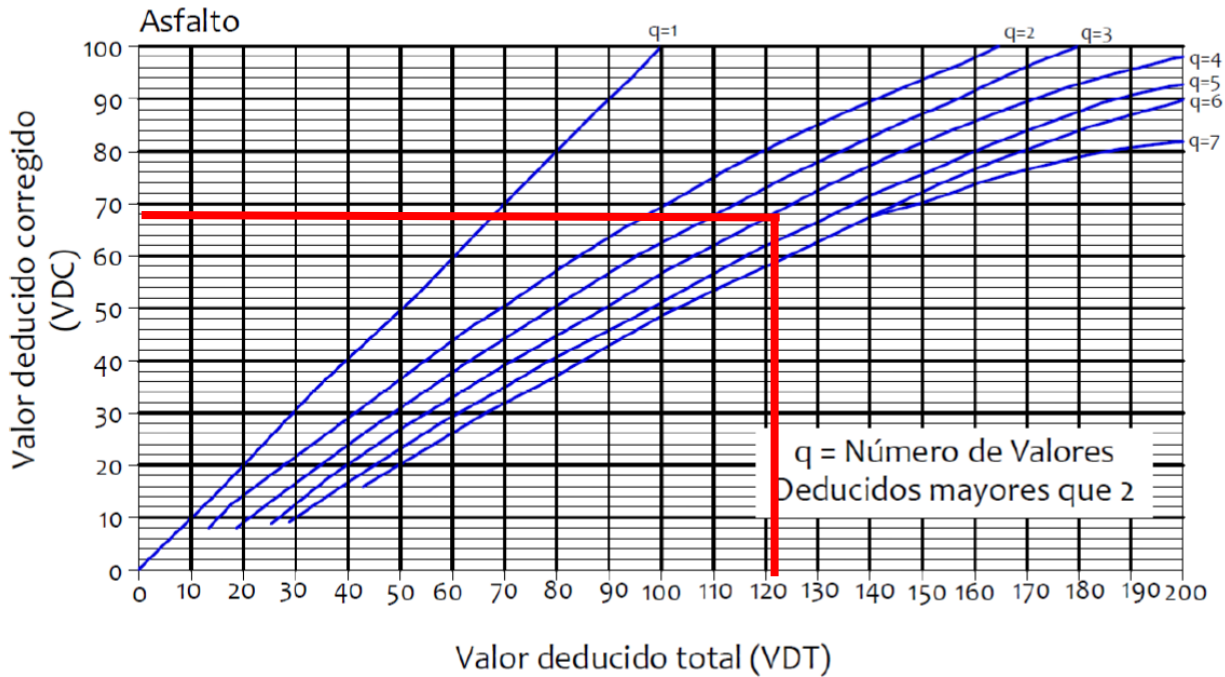


Figura 40. Ejemplo de Aproximación de VDC

Fuente: Apéndice 4, Manual de Auscultación del MOPT: Guía para Profesionales (2016) (p. 182)

Como se observa, con un valor de 122 en VDT, el VDC en la curva q = 5, el valor sería de 68. De esa forma, si se evalúa en los demás VD y se obtiene su VDC respectivo. Por lo tanto, se selecciona el VDC 2 como el VDC Máx, puesto que el mayor de todos los VDC de esa UM.

VDC 1	VDC 2	VDC 3	VDC 4	VDC 5
50	50	50	50	50
42	42	42	42	2
18	18	18	2	2
7	7	2	2	2
5	2	2	2	2
122	119	114	98	58
VDT 1	VDT 2	VDT 3	VDT 4	VDT 5
q=5	q=4	q=3	q=2	q=1
VDC 1	VDC 2	VDC 3	VDC 4	VDC 5
68	84	70	68	58
	VDC Máx			

Figura 41. Calculo de VDC Máx

Fuente: Propia

11. Calculo de PCI para la UM:

Con VDC 2 como VDC Máx equivalente a 84, se calcula el valor de PCI de la UM 5 de la Ruta

1:

$$PCI = 100 - (VDC Máx) = 100 - 84 = 16$$

Figura 42. Calculo de PCI para UM 5

Fuente: Propia

Por lo que, según la escala de calificaciones, dicha UM se encuentra con la calificación de Muy Malo. De la misma manera, se ejecuta para las otras 8 UM y así obtener el PCI de toda la vía en estudio. Como se demuestra en la siguiente tabla:

Tabla 8.

Tabla Resumen de Cálculo de PCI para la Ruta 1

UM	n	Ruta	Estación Inicial	Estación Final	Longitud UM (m)	PCI	Estado	Área UM (m2)	PCI*Área
1	5	C-055	0+152	0+190	38	70	Muy Bueno	228	15960
2	15	T-102-117	0+532	0+570	38	16	Muy Malo	228	3648
3	25	T-102-117	0+912	0+950	38	26	Malo	228	5928
4	35	T-102-117	1+292	1+330	38	62	Bueno	228	14136
5	45	117	1+672	1+710	38	74	Muy Bueno	228	16872
6	55	117	2+052	2+090	38	41	Regular	228	9348
7	65	117	2+432	2+470	38	90	Excelente	228	20520
8	75	C-084	2+812	2+850	38	72	Muy Bueno	228	16416
9	85	C-084	3+192	3+230	38	70	Muy Bueno	228	15960
Total								2052	118788
PCIs								58	
Estado								Bueno	

Fuente: Propia

El cálculo del PCI de la ruta, se realizó de la siguiente manera:

$$PCIs = \frac{\sum_{i=1}^9 (PCI_j * A_i)}{\sum_{i=1}^9 (A_i)} = \frac{118788}{2052} = 58$$

Figura 43. Cálculo de PCI de Ruta 1

Fuente: Propia

De esa misma forma, se efectúa la metodología de PCI para las dos rutas restantes.

3.4.2 Metodología del TDMV:

El segundo gran apartado de esta investigación requiere de la Metodología de Toma de Decisiones Multivariable, y para ello se ha decidido usar la herramienta MIVES para poder simplificar el análisis de diversas variables de forma simultánea. Por lo que es transcendental,

mostrar el funcionamiento de su Entorno y sus Módulos para entender y lograr el objetivo planteado.

El software está compuesto de tres módulos: Modulo Programador, Modulo Usuario y Modulo Reporte. Cada módulo requiere del otro para realizar un análisis multicriterio y del orden estricto anteriormente mencionado. Por lo que a continuación, se detalla sus componentes:

1. Límites del Sistema:

En el primer nivel jerárquico, se encuentran tres principales ejes que nos permiten tomar la decisión planteada al iniciar la investigación, los cuales son: *Requerimientos*, *Componentes* y *Ciclo de Vida*.

El eje primero: *Requerimientos*, se basa en definir las características generales que se requiere para realizar el análisis y así poder tomar la mejor decisión en la investigación planteada. En el segundo eje se puede encontrar *Componentes*, en el cual se describen los elementos de las opciones que se pretenden evaluar. Y por último está *Ciclo de Vida*, eje en el cual se muestran las etapas del proyecto a través del tiempo. Por lo que su estructura general se vería de la siguiente forma:

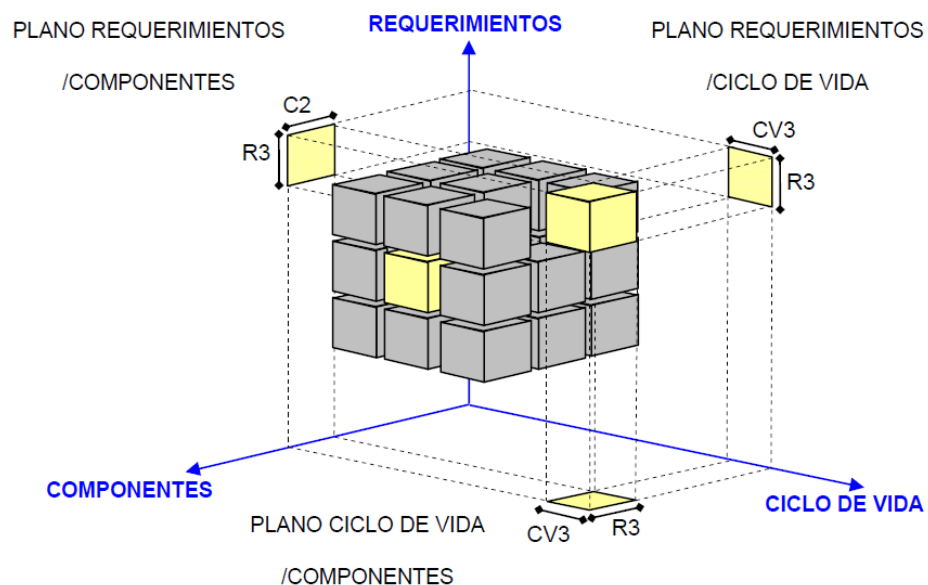


Figura 44. Estructura General de MIVES para toma de decisiones

Fuente: Manual MIVES (2009)

Para efectos de la investigación en cuestión, se usa el eje de *Requerimientos* únicamente, pues los otros ejes no forman parte del análisis.

2. Árbol de Requerimientos:

El Árbol de Requerimientos o Árbol de Decisión como también se conoce, es el esquema que describe los niveles de jerarquía en el análisis, los cuales se desglosan de la siguiente manera: requerimientos, criterios e indicadores. Donde cada nivel contiene un subnivel que debe tener un grado de importancia dentro de la investigación, dado que si algún nivel o subnivel no contiene relevancia perdería sentido evaluarlo.

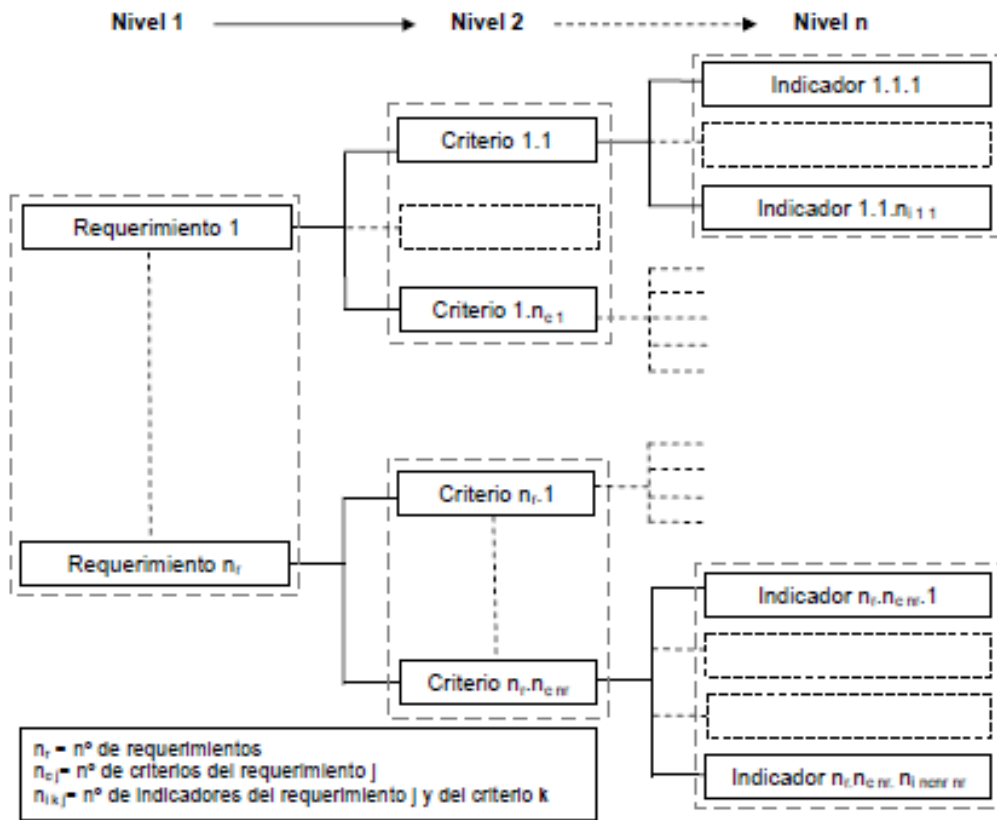


Figura 45. Arbol de Decisión Generico del MIVES.

Fuente: Fuente: Manual MIVES (2009)

Ahora, el primer nivel está conformado por los requerimientos el cual recibe los aspectos generales de la decisión, en este caso: Económico, Social y Ambiental. El análisis de este tipo es llamado Análisis de Sostenibilidad pues contiene los tres pilares de la sostenibilidad. Luego, en el siguiente escalón se encuentra el nivel de Criterios, donde se define cuáles serán los puntos a evaluar del nivel superior. Por último, está el Nivel 3 llamado Indicador, es donde se define cómo se va evaluar el Criterio definido con mayor exactitud. Por lo tanto, se muestra el Árbol de Decisión de dicha investigación:

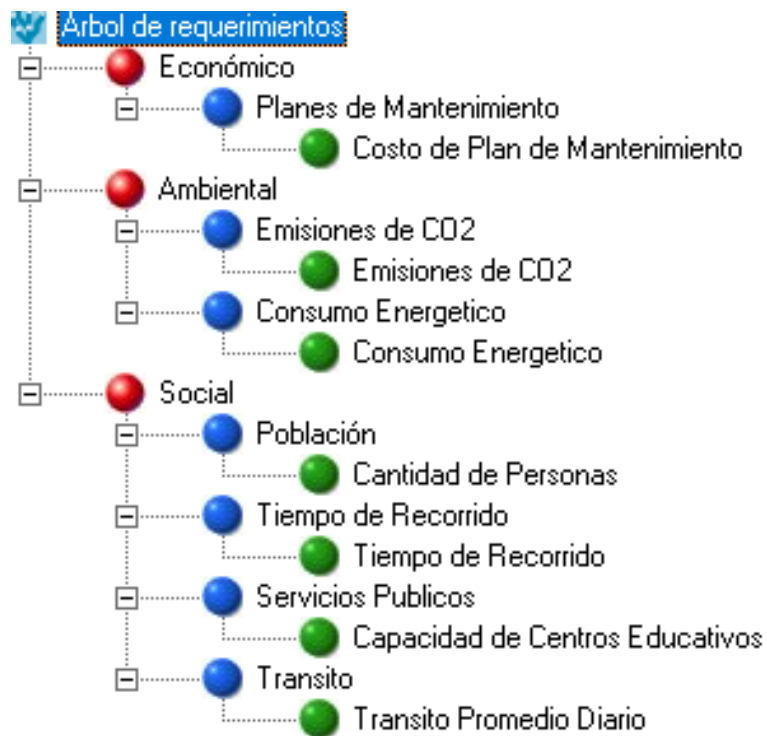


Figura 46. Árbol de Decisión del Proyecto

Fuente: Modulo Programador de MIVES (Propia) (2021)

A nivel de indicadores los cuales son el ultimo nivel o subnivel de dicho árbol, se debe cumplir con ciertas características y que el investigador debe tomar en cuenta para seleccionarlas, estas fueron tomadas de Moreno (2018) pero también basadas en el Manual MIVES (2009):

- Representativos. Los aspectos seleccionados deben ser representativos de la

decisión que se quiere tomar. (MANUAL MIVES, 2009)

- **Discriminantes.** En una toma de decisión, es muy importante fijarse en aquellos aspectos o características que hacen diferentes a las alternativas. Si se valoran indicadores, cuya cuantificación es la misma en las diferentes alternativas, los valores de ese indicador serán los mismos y, por consiguiente, los resultados realmente importantes, pueden llegar a diluirse. (MANUAL MIVES, 2009)
- **Complementarios.** Los indicadores deben definirse, para abordar de forma complementaria toda la información (Garrucho, 2006). Por ello, deberán medir variables independientes, a las medidas por otros indicadores planteados.
- **Relativos.** Esta característica de los indicadores es deseable, con el propósito de no favorecer, a aquellas unidades o elementos pertenecientes a grupos más grandes en valor absoluto. En definitiva, se trata de analizar el rendimiento y la productividad, a favor de la producción (Villegas, 2009).
- **Cuantificables.** Algunos indicadores se cuantificarán mediante variables, como por ejemplo, euros, m², m, Kg, días, etc. Otros indicadores se cuantificarán mediante atributos, como ejemplo se puede mencionar: confort alto, medio o bajo. Siempre que exista la posibilidad de escoger entre varios indicadores que ocupan el mismo ámbito en la toma de decisión, deben escogerse aquellos que sean más fáciles de medir. Esta característica permite asegurar que las cuantificaciones de las diferentes alternativas, sean confiables y a la vez, que exista una menor dificultad en obtener dichos valores. (MANUAL MIVES, 2009)
- **Precisos.** El indicador debe contener el mínimo grado de incertidumbre y estar planteado de forma muy clara (Garrucho, 2006).

- Trazables. La trazabilidad es una característica deseable, debido a que de esta manera, se puede garantizar la comparación futura de los datos (Garrucho, 2009).

3. Funciones de Valor:

Al establecer los indicadores uno de sus criterios o aspectos relevantes es que sea cuantificable, para poder determinar sus propiedades. No obstante, debe cumplir con este requisito para poder definir la función que mejor las representa, con el fin de comparar las magnitudes de dicho indicador para cada una de las alternativas.

Para efectos del Módulo Programador, las funciones se representan mediante graficas con dos y estas adquieren en el “eje Y” valores que van desde 0 hasta 1 (que representa un valor porcentual del total, es decir de 0% a 100%), describiendo mayor o menor satisfacción del indicador. Y en el “eje X” el usuario define los valores que dependen de la forma en que se mida el tipo de indicador. Como recomendación el Manual MIVES (20009) sugiere lo siguiente para definir la Función de Valor:

- Saber si la función tiene una tendencia a crecer o decrecer.
- Definir los puntos de máxima satisfacción (X_{max}) y mínima satisfacción (X_{min}), esto puede hacerse a través de una normativa vigente, criterio experto del usuario o realizando una comparación entre las magnitudes de las alternativas.

- Deducir de la forma de la función si es: lineal, cóncava, convexa, forma de “S.

- Y en caso de requerir de una expresión matemática para la función de valor, debe conocerla para poder ingresarla a la herramienta, el cual debe tener los siguientes valores:

$$V_{ind} = B * \left[1 - e^{-K_1 * \left(\frac{|X - X_{min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]$$

$$B = \left[1 - e^{-k_i * \left(\frac{|X_{max} - X_{min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1}$$

Figura 47. Expresión Matemática General de la Función de Valor

Fuente: Moreno (2018)

Donde según Moreno (2018) cada variable representa lo siguiente:

- X_{min} = Es el valor en abscisas, cuya valoración es igual a cero (en el caso de funciones de valor crecientes).
- X = Es la abscisa del indicador evaluado (variable de cada alternativa)
- P_i = Es un factor que define si la curva es cóncava, convexa, lineal o con forma de “S”.
- C_i = Se aproxima a la abscisa del punto de inflexión.
- K_i = Se aproxima a la ordenada del punto de inflexión.
- B = Es el factor que permite que la función se mantenga en el rango de valor de 0 a 1.
- X_{max} = Abscisa del indicador que genera un valor igual a 1.

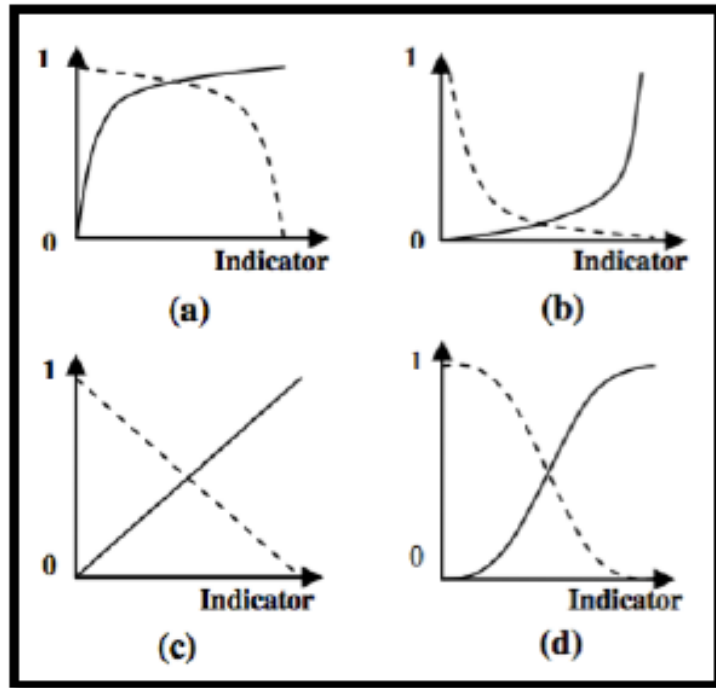


Figura 48. Formas para Funciones de Valor de MIVES

Fuente: Moreno (2018)

En la figura anterior muestra como se ve cada una de las formas que puede poseer una función de valor, pero a continuación se muestra una que resume cuales son los valores que deben anotarse dentro del software para tomar dichas formas típicas:

Forma	P	K
Cóncava	< 0.75	> 0.9
Convexa	> 2	< 0.1
Lineal	1	0
S suave	$2 < P < 4$	$0.1 < K < 0.2$
S fuerte	$4 < P < 10$	$0.1 < K < 0.2$

Figura 49. Valores para Formas de Funciones de Valor Típicas

Fuente: Moreno (2018)

4. Pesos:

Como parte fundamental de los análisis multivariable, se requiere de decidir cuáles varias son más importantes y cuáles menos importantes, y para ello que se ponderan y asignan pesos que describan bien el grado de importante, ya sea para el usuario o el grupo de usuarios que quieren definir su criterio respecto a una decisión determinada. Por lo tanto, se debe repartir un 100% del valor en cada nivel, es decir en Requerimientos se dividen el 100% entre el número de requerimientos, y así sucesivamente con Criterios e Indicadores.

Para asignar pesos la herramienta ofrece dos opciones, las cuales se comentan seguidamente:

a. Método Directo: se entrega un porcentaje relativo a cada apartado del nivel, sin requerir previamente de algún cálculo, pero es poco usual pues se debe tener claro la puntuación de cada apartado como tal.

b. Método de Proporciones: para asignar pesos en esta metodología se toma en cuenta un valor de referencia, con la idea de comparar el nivel de importancia de un apartado del nivel con otro del mismo nivel.

Ahora, el método es sencillo cuando se tienen valores de referencia o aspectos que permitan realizar la comparación, sin embargo, cuando no es así se puede usar algún método alternativo.

Para ello, la herramienta de MIVES contiene un método alternativo:

- *Analytical Hierarchy Process (AHP)*: este método se basa en una escala propuesta por Saaty en 1980:

Importancia del aspecto i respecto j (a_{ij})	Importancia del aspecto j respecto i (a_{ji})
1: Igual importancia	1: Igual importancia
3: Ligeramente más importante o preferido	$\frac{1}{3}$: Ligeramente menos importante o preferido
5: Más importante o preferido	$\frac{1}{5}$: Menos importante o preferido
7: Mucho más importante o preferido	$\frac{1}{7}$: Mucho menos importante o preferido
9: Absolutamente o extremadamente más preferido	$\frac{1}{9}$: Absolutamente o extremadamente menos preferido

Figura 50. Escala de Comparación de Saaty

Fuente: Manual MIVES (2009)

Esta escala consiste en asignar pesos según el grado de importancia que el usuario haya decidido darle a ese aspecto en función de otro del mismo nivel. Se realiza dándole una proporción a cada aspecto mediante una matriz de decisión similar a la que se presenta en seguida:

Indicadores	A1	A2	A3	A4
A1	1	2	2	4
A2	1/2	1
A3	1/2	...	1	...
A4	1/4	1

Figura 51. Matriz AHP de Decisión para MIVES

Fuente: Moreno (2018)

En dónde; si se analiza la matriz anterior se entiende que indicador A1 es el doble de importante que el A2, o se puede afirmar que A4 es la cuarta parte de importante que A1.

No obstante, en matrices de decisión más compleja y con una mayor cantidad de elementos tiende a tener problemas que genera un porcentaje de error en la decisión tomada. Por lo que para el uso de la herramienta se ha creado un botón que produce una *Consistencia Perfecta*, indicada mediante el *Indice de Consistencia*.

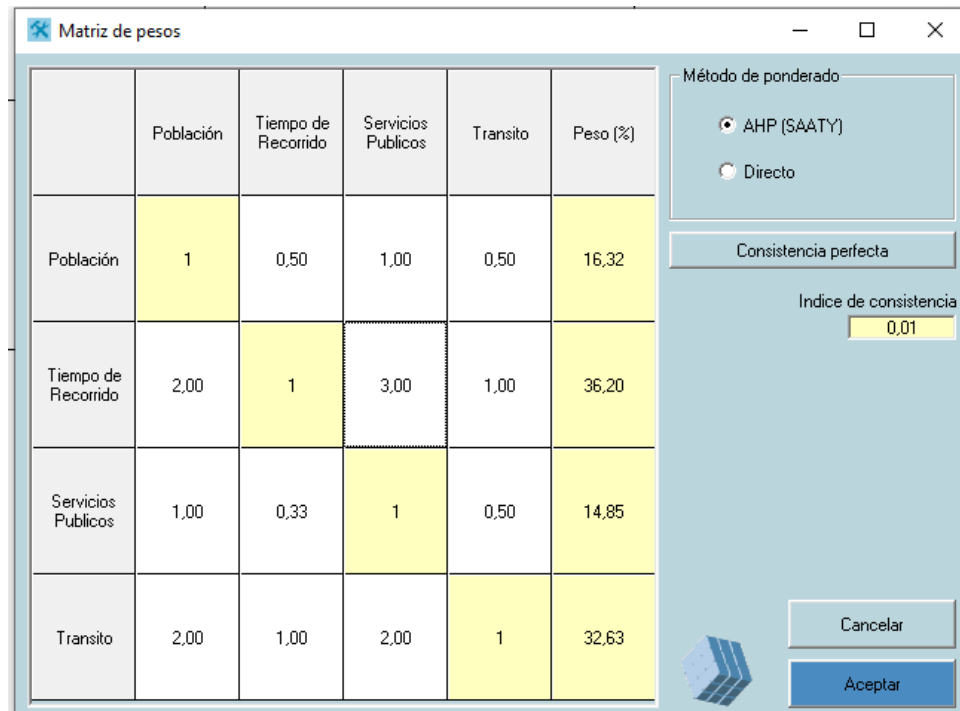


Figura 52. Matriz de Pesos del Nivel de Indicadores Sociales

Fuente: Propia

Aunque si el valor de inconsistencia, medido a través del *C.R (Relación de Consistencia)* no sobrepasa el 0,1 se toma como un valor dentro de lo normal, de lo contrario se deben realizar modificaciones en la matriz de decisión con el fin de cumplir con dicho parámetro. Es por ello que el botón de *Consistencia Perfecta* simplifica aún más el trabajo del usuario decisor.

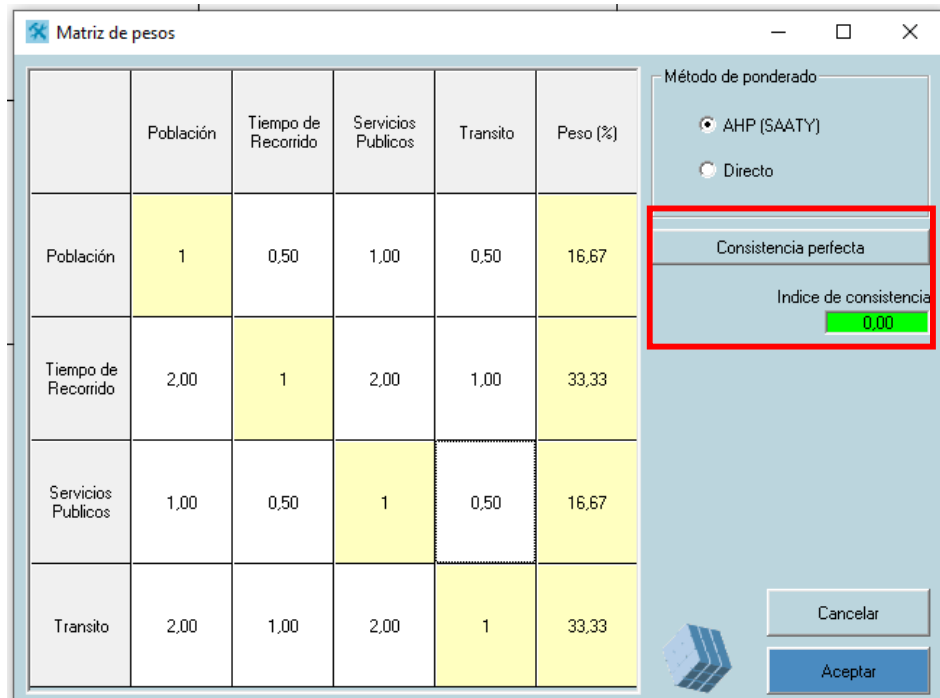


Figura 53. Matriz de Decisión alterada por la Consistencia Perfecta

Fuente: Propia

5. MIVES:

Una vez conocidos los principios en los que se basa la metodología, se avanza hacia cada módulo que conforma la herramienta de MIVES y la forma en que dichos módulos se entrelazan y se transmite información del análisis propuesto.

- **Módulo Programador:** es el módulo que se encarga de generar todos los filtros de decisión de la investigación y establecer las condiciones de evaluación del proyecto sin conocer los eventuales resultados. El archivo generado debe estar en el formato . mip, con el fin de poder ser exportado al siguiente modulo.
- **Módulo Usuario:** este módulo es el responsable de fijar la cantidad de alternativas que se evaluarán en el proyecto, donde luego se procede a ingresar en cada alternativa los valores de los indicadores previamente calculados u obtenidos a través de su investigación. Y para finalizar este archivo debe guardarse con la extensión. miu.

- **Módulo Reporte:** como su nombre lo señala este módulo brinda los reportes producidos como resultante de evaluar el módulo usuario en el módulo programador. En este módulo se tiene la posibilidad de elegir qué tipo de gráfico, cuáles alternativas y cuáles niveles del árbol de decisión se van a comparar. Para ello, se requiere un amplio nivel de análisis para encontrar las razones por las cuáles los resultados declinaron en la decisión resultante de cada indicador, criterio y requerimiento.

Capítulo 4: Análisis de Resultados

Esta investigación consiste en una secuencia de métodos que se complementan para obtener una evaluación entre vías de acceso, con el fin de determinar la priorización vial adecuada basada en el multicriterio técnico a partir del uso de la herramienta tecnológica de MIVES que permite realizar valoraciones de sostenibilidad con sus tres pilares: económico, social y ambiental.

Para ello, se muestra en seguida la combinación de las metodologías de PCI y TDMV y el proceso que se requieren para obtener dicho resultado esperado:

4.1 Estado del Pavimento Flexible de las Rutas de Acceso:

Cabe destacar que la comunidad de La Isla de Moravia, evidentemente posee una infinidad de rutas de acceso desde San Vicente, no obstante, se han tomado las tres con mayor frecuencia de uso, las cuales están previamente descritas en el apartado 2.5 de este documento:

a. Ruta 1:

Para la Ruta 1 se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 9.

Calculo de PCI para Ruta 1.

UM	n	Ruta	Estación Inicial	Estación Final	Longitud UM (m)	PCI	Estado	Área UM (m2)	PCI*Área
1	5	C-055	0+152	0+190	38	70	Muy Bueno	228	15960
2	15	T-102-117	0+532	0+570	38	16	Muy Malo	228	3648
3	25	T-102-117	0+912	0+950	38	26	Malo	228	5928
4	35	T-102-117	1+292	1+330	38	62	Bueno	228	14136
5	45	117	1+672	1+710	38	74	Muy Bueno	228	16872
6	55	117	2+052	2+090	38	41	Regular	228	9348
7	65	117	2+432	2+470	38	90	Excelente	228	20520
8	75	C-084	2+812	2+850	38	72	Muy Bueno	228	16416
9	85	C-084	3+192	3+230	38	70	Muy Bueno	228	15960
Total								2052	118788

PCIs	58
Estado	Bueno

Fuente: Propia

Por lo tanto, el estado del pavimento para la Ruta 1 es Malo con un ponderado de PCI 58.

Y a pesar de su “buen estado requiere de mantenimiento”, pues se encuentra en una etapa crítica muy cercana a la zona de calificación de Regular (la cual es la cuarta categoría, siendo la séptima la peor), que si no se atiende a tiempo puede requerir de tratamientos sumamente costosos.

b. Ruta 2:

Los resultados obtenidos de las UM de la Ruta 2 son los siguientes:

Tabla 10.

Calculo de PCI para Ruta 2.

<u>UM</u>	<u>N</u>	<u>Ruta</u>	<u>Estación Inicial</u>	<u>Estación Final</u>	<u>Longitud UM (m)</u>	<u>PCI</u>	<u>Estado</u>	<u>Área UM (m2)</u>	<u>PCI*Área</u>
1	5	C-055	0+152	0+190	38	70	Muy Bueno	228	15960
2	15	T-102-117	0+532	0+570	38	13	Muy Malo	228	2964
3	25	T-102-117	0+912	0+950	38	14	Muy Malo	228	3192
4	35	T-102-117	1+292	1+330	38	14	Muy Malo	228	3192
5	45	C-073	1+672	1+710	38	18	Muy Malo	228	4104
6	55	C-04	2+052	2+090	38	20	Muy Malo	228	4560
7	65	C-084	2+432	2+470	38	87	Excelente	228	19836
8	75	C-084	2+812	2+850	38	94	Excelente	228	21432
Total								1824	75240
PCIs								41	
Estado								Regular	

Fuente: Propia

Por consiguiente, la condición del pavimento para la Ruta 2 es Regular con un promedio de PCI 41. Pero se encuentra casi en la antepenúltima categoría (Malo) en donde la inversión para su mejoramiento es elevada, pues el estado del pavimento es bastante malo.

c. Ruta 3:

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a través del levantamiento de campo y el análisis del mismo para el cálculo del PCI:

Tabla 11.

Calculo de PCI para Ruta 3

<u>UM</u>	<u>N</u>	<u>Ruta</u>	<u>Estación Inicial</u>	<u>Estación Final</u>	<u>Longitud UM (m)</u>	<u>PCI</u>	<u>Estado</u>	<u>Área UM (m2)</u>	<u>PCI*Área</u>	
1	5	C-055	0+152	0+190	38	70	Muy Bueno	228	15960	
2	15	T-102-117	0+532	0+570	38	13	Muy Malo	228	2964	
3	25	C-075	0+912	0+950	38	62	Bueno	228	14136	
4	35	C-075	1+292	1+330	38	43	Regular	228	9804	
								Total	912	42864
								PCIs	47	
								Estado	Regular	

Fuente: Propia

Similar al estado del pavimento en la ruta anterior, para la Ruta 3 se ha promediado el PCI con un valor equivalente a 47 que se aproxima mucho a las categorías que describen una peor condición del pavimento presente en la vía. Por lo que implica una inversión significativa para poder intervenir la vía y recuperar su estado adecuado.

4.2 Planes de Mantenimiento Vial de las Rutas de Acceso:

Como respuesta al estado del pavimento presente en las vías seleccionadas para la investigación, se realiza una propuesta de mejoramiento e intervención vial para cada ruta de acceso conforme a sus necesidades. Para ello dentro de su gestión se propone un periodo de mantenimiento de 12 años, con tareas de mantenimiento que deben iniciar en 2021 (año cero) y

finalizar 2033 (año doce), con mantenimiento rutinario de cada tres años hasta completar el proceso de intervención vial.

En sus generalidades, se presentan los deterioros presentes y su extensión a lo largo de la ruta. Y se propone una posible actividad o tarea de mantenimiento que contesta directamente a cada deterioro, esto conforme al Catálogo de Deterioros del Manual de Auscultación del MOPT: Guía para Profesionales (2016) y según se demuestra en sustento teórico de esta investigación en el apartado 2.2.

A nivel de costos se ha tomado como referencia Peshkin (2011) y la investigación de Vargas (2018).

Table 2.13. Estimated Treatment Costs for Preservation Treatments on HMA-Surfaced Pavements

Treatment	Relative Cost (\$ to \$\$\$\$)	Estimated Unit Cost
Crack filling	\$	\$0.10 to \$1.20/ft
Crack sealing	\$	\$0.75 to \$1.50/ft
Slurry seal	\$\$	\$0.75 to \$1.00/yd ²
Microsurfacing (single-course)	\$\$	\$1.50 to \$3.00/yd ²
Chip seal (single-course)	\$\$ (conventional) \$\$\$ (polymer modified)	\$1.50 to \$2.00/yd ² (conventional) \$2.00 to \$4.00/yd ² (polymer modified)
Ultra-thin bonded wearing course	\$\$\$	\$4.00 to \$6.00/yd ²
Thin HMA overlay (dense graded)	\$\$\$	\$3.00 to \$6.00/yd ²
Cold milling and thin HMA overlay	\$\$\$	\$5.00 to \$10.00/yd ²
Ultra-thin HMA overlay	\$\$	\$2.00 to \$3.00/yd ²
Hot in-place recycling (excluding thin HMA overlay for surface recycle and remixing types)	\$\$/\$\$\$	\$2.00 to \$7.00/yd ²
Cold in-place recycling (excluding thin HMA overlay)	\$\$	\$1.25 to \$3.00/yd ²
Profile milling	\$	\$0.35 to \$0.75/yd ²
Ultra-thin whitetopping	\$\$\$\$	\$15.00 to \$25.00/yd ²

Figura 54. Costos Estimados para Tratamientos en Pavimentos MAC

Fuente: Peshkin, D et al. (2011). Guidelines for the Preservation of High Traffic Volume Roadways

No obstante, se ha propuesto un factor de corrección puesto que ambos documentos fueron propuestos con cierto nivel de antigüedad. Para dicho factor se propone para cada tres años una corrección equivalente a 1,1 veces el costo sugerido por Vargas (2018) y que fue tomado de la guía en 2011, según se demuestra en la siguiente tabla:

Tabla 12.

Costos de Intervención Vial en dólares para Planes de Mantenimiento en 2021

Tarea de Mantenimiento	Unidad de Medida	Vida Útil del Mantenimiento	Costo por Unidad 2018 (\$)	Costo por Unidad 2021 (\$)
Sellado de Grietas	M	2 a 4 años	0,69	0,76
Sellado de Viruta	m2	3 a 7 años	2,51	2,76
Sellado Tipo Lechada	M	3 a 5 años	0,46	0,51
Sobrecapa Delgada de MAC	m2	5 a 12 años	7,53	8,28
Reciclado en Frío en Sitio / Bacheo	m2	6 a 8 años	3,76	4,14
Reciclado en Caliente en Sitio	m2	6 a 10 años	8,78	9,66
Reconstrucción	m2	N/A	31,35	34,49

Fuente: Propia.

Ya se ha definido previamente las tareas de mantenimiento de acuerdo a su respectivo deterioro, y en tabla anterior se describe la vida útil de cada actividad que ha sido fundamentada por la siguiente figura:

Table 2.11. Expected Performance of Preservation Treatments Applied to HMA-Surfaced Pavements

Treatment	Expected Performance	
	Treatment Life (yr)	Pavement Life Extension (yr)
Crack filling	2-4	NA
Crack sealing	3-8	2-5
Slurry seal	3-5	4-5
Microsurfacing		
Single course	3-6	3-5
Double course	4-7	4-6
Chip seal		
Single course	3-7	5-6
Double course	5-10	8-10
Ultra-thin bonded wearing course	7-12	NA
Thin HMA overlay		
Dense graded	5-12	NA
Open graded (OGFC)	6-12	NA
Gap graded (SMA)	NA ^a	NA
Cold milling and thin HMA overlay	5-12	NA
Ultra-thin HMA overlay	4-8	NA
Hot in-place recycling		
Surface recycle and thin HMA overlay	6-10 ^b	NA
Remixing and thin HMA overlay	7-15 ^c	NA
Repaving	6-15	NA
Cold in-place recycling and thin HMA overlay	Between 6-8 and 7-15 ^d	NA
Profile milling	2-5	NA
Ultra-thin whitetopping	NA	NA

Sources: Peshkin et al. 1999; Lamptey et al. 2005; Peshkin and Hoerner 2005; Dunn and Cross 2001; Newcomb 2009; Cuelho et al. 2006; Okpala et al. 1999; Caltrans 2008; NDOR 2002.

Figura 55. Vida Útil de las Tareas de Mantenimiento Propuestas

Fuente: Peshkin, D et al. (2011). Guidelines for the Preservation of High Traffic Volume Roadways

Con ello, a continuación, se muestran la inversión que demanda cada ruta de acceso según los deterioros presentes:

a. Plan de Mantenimiento para la Ruta 1:

Primeramente, se exponen los deterioros y la información extraída mediante el levantamiento y trabajo de campo que resumen el nivel de deterioro:

Tabla 13.

Resumen de Deterioros presentes en la Ruta 1.

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	57,7
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	25,90
1.1 Cuero de lagarto	Bajo	m2	9,7

1.2 Longitudinal transversal	Medio	M	19,90
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	M	3
2.1 Roderas	Bajo	m2	30
2.2 Abultamientos y hundimientos	Alto	m	0,9
2.3 Corrugación	Bajo	m2	4
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	6,7
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Medio	m	22,5
4.2 Baches	Medio	m2	8,5
4.2 Baches	Bajo	m2	20,20

Fuente: Propia

Lo anterior, no solo define los deterioros sino también su nivel de severidad describiendo la cantidad de su extensión según su unidad de medida que se ajusta excelentemente para poder proponer su correspondiente tarea de mantenimiento propuesta:

Tabla 14.

Propuesta de Plan de Mantenimiento para Ruta de Acceso 1

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mantenimiento Propuesta	Costo de Tarea (\$)	Año 0	Año 3	Año 6	Año 9	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	57,7	Reconstrucción	34,49	1990,07	2189,08	2407,99	2648,79	2913,67
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	25,90	Sellado de Grietas	0,76	19,68	21,65	23,82	26,20	28,82
1.1 Cuero de lagarto	Bajo	m2	9,7	Sellado de Grietas	0,76	7,37	8,11	8,92	9,81	10,79
1.2 Longitudinal transversal	Medio	M	19,90	Sellado de Grietas	0,76	15,12	16,64	18,30	20,13	22,14
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	M	3	Sellado de Grietas	0,76	2,28	2,51	2,76	3,03	3,34
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	4,14	124,20	136,62	150,28	165,31	181,84
2.2 Abultamientos y hundimientos	Alto	M	0,9	Bacheo	4,14	3,73	4,10	4,51	4,96	5,46
2.3 Corrugación	Bajo	m2	4	Sellado de Grietas	0,76	3,04	3,34	3,68	4,05	4,45
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	6,7	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	55,48	61,02	67,13	73,84	81,22
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8	Sellado Tipo Lechada	0,51	1,94	2,13	2,34	2,58	2,84
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Medio	M	22,5	Reciclado en Caliente en sitio	9,66	217,35	239,09	262,99	289,29	318,22
4.2 Baches	Medio	m2	8,5	Bacheo	4,14	35,19	38,71	42,58	46,84	51,52
4.2 Baches	Bajo	m2	20,20	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	167,26	183,98	202,38	222,62	244,88
	Costo Mantenimiento Rutinario			2.642,71	2.906,98	3.197,68	3.517,45	3.869,19		
	Costo de Intervención por ml			7,73	8,50	9,35	10,28	11,31		
Costo Total de Mantenimiento de la Ruta (\$)						16.134,00				

Fuente: Propia

Cabe destacar que los precios establecidos en cada año tienen aplicado el factor de corrección antes propuesto. Valorando lo anterior, podemos observar que la inversión total para el plan de mantenimiento para la Ruta de Acceso 1 es de \$16.134,00; para los 12 años de plazo.

b. Plan de Mantenimiento para la Ruta 2:

Para la Ruta 2, se presentan los deterioros y la cantidad de los mismos existentes categorizándolos según su nivel de severidad:

Tabla 15.

Resumen de Deterioros presentes en la Ruta 2.

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	259,2
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	28
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	6
1.2 Longitudinal transversal	Medio	m	43,8
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	10,8
1.3 Reflejo de juntas	Bajo	m	1,5
1.4 Bloque	Alto	m2	31,5
1.5 Borde	Medio	m	5
1.6 Arco	Bajo	m2	0,2
2.1 Roderas	Bajo	m2	30
3.4 Desgaste superficial	Alto	m2	3
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Alto	m	1
4.2 Baches	Alto	m2	42,5
4.2 Baches	Medio	m2	30,9
4.2 Baches	Bajo	m2	33,5
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1
4.3 Huecos	Medio	Unidad	3
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	2

Fuente: Propia

Tomando en cuenta lo anterior, se propone el plan de mantenimiento para la Ruta de Acceso 2 a la comunidad de La Isla de Moravia que contesta a la condición de su pavimento:

Tabla 16.

Propuesta de Plan de Mantenimiento para Ruta de Acceso 2

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mantenimiento Propuesta	Costo de Tarea (\$)	Año 0	Año 3	Año 6	Año 9	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	259,2	Reconstrucción	34,49	8939,81	9833,79	10817,17	11898,88	13088,77
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	28	Sellado de Grietas	0,76	21,28	23,41	25,75	28,32	31,16
1.2 Longitudinal transversal	Alto	M	6	Sellado de Grietas	0,76	4,56	5,02	5,52	6,07	6,68
1.2 Longitudinal transversal	Medio	M	43,8	Sellado de Grietas	0,76	33,29	36,62	40,28	44,31	48,74
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	M	10,8	Sellado de Grietas	0,76	8,21	9,03	9,93	10,92	12,02
1.3 Reflejo de juntas	Bajo	M	1,5	Sellado de Grietas	0,76	1,14	1,25	1,38	1,52	1,67
1.4 Bloque	Alto	m2	31,5	Reconstrucción	34,49	1086,44	1195,08	1314,59	1446,04	1590,65
1.5 Borde	Medio	M	5	Reciclado en Caliente en sitio	9,66	48,30	53,13	58,44	64,29	70,72
1.6 Arco	Bajo	m2	0,2	Bacheo	4,14	0,83	0,91	1,00	1,10	1,21
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	4,14	124,20	136,62	150,28	165,31	181,84
3.4 Desgaste superficial	Alto	m2	3	Sellado de Grietas	0,76	2,28	2,51	2,76	3,03	3,34
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Alto	M	1	Reconstrucción	34,49	34,49	37,94	41,73	45,91	50,50
4.2 Baches	Alto	m2	42,5	Reconstrucción	34,49	1465,83	1612,41	1773,65	1951,01	2146,11
4.2 Baches	Medio	m2	30,9	Bacheo	4,14	127,93	140,72	154,79	170,27	187,30
4.2 Baches	Bajo	m2	33,5	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	277,38	305,12	335,63	369,19	406,11
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1	Reconstrucción	34,49	34,49	37,94	41,73	45,91	50,50
4.3 Huecos	Medio	Unidad	3	Bacheo	4,14	12,42	13,66	15,03	16,53	18,18
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	2	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	16,56	18,22	20,04	22,04	24,25

Costo Mantenimiento Rutinario	12.239,42	13.463,36	14.809,70	16.290,67	17.919,73
Costo de Intervención por ml	40,26	44,29	48,72	53,59	58,95
Costo Total de Mantenimiento de la Ruta (\$)			74.722,87		

Fuente: Propia

Para la Ruta 2, se debe realizar una inversión total para su mejoramiento de \$74.772,87, lo que refleja la condición pésima de su pavimento pues supera la inversión anterior en casi 5 veces a pesar de tener un recorrido más corto.

c. Plan de Mantenimiento para la Ruta 3:

A continuación, se expresa en la siguiente tabla el estado de la Ruta de Acceso 3 y su grado de severidad y extensión para cada deterioro:

Tabla 17.

Resumen de Deterioros presentes en la Ruta 3.

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	113,9
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	3,8
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	3,5
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	31,5
2.1 Roderas	Bajo	m2	30
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	4
3.4 Desgaste superficial	Medio	m2	5,74
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8
4.2 Baches	Medio	m2	1,5
4.2 Baches	Bajo	m2	26,5
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	1

Fuente: Propia

Una vez mencionado lo anterior, se propone el siguiente plan de mantenimiento:

Tabla 18.

Propuesta de Plan de Mantenimiento para Ruta de Acceso 3

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mantenimiento Propuesta	Costo de Tarea (\$)	Año 0	Año 3	Año 6	Año 9	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	113,9	Reconstrucción	34,49	3928,41	4321,25	4753,38	5228,72	5751,59
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	3,8	Sellado de Grietas	0,76	2,89	3,18	3,49	3,84	4,23
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	3,5	Bacheo	4,14	14,49	15,94	17,53	19,29	21,21
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	31,5	Sellado de Grietas	0,76	23,94	26,33	28,97	31,86	35,05
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	4,14	124,20	136,62	150,28	165,31	181,84
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	4	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	33,12	36,43	40,08	44,08	48,49
3.4 Desgaste superficial	Medio	m2	5,74	Sellado de Grietas	0,76	4,36	4,80	5,28	5,81	6,39
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8	Sellado de Grietas	0,76	2,89	3,18	3,49	3,84	4,23
4.2 Baches	Medio	m2	1,5	Bacheo	4,14	6,21	6,83	7,51	8,27	9,09
4.2 Baches	Bajo	m2	26,5	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	219,42	241,36	265,50	292,05	321,25
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1	Reconstrucción	34,49	34,49	37,94	41,73	45,91	50,50
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	1	Sobrecapa Delgada de MAC	8,28	8,28	9,11	10,02	11,02	12,12
Costo Mantenimiento Rutinario					4.402,70	4.842,97	5.327,27	5.859,99	6.445,99	
Costo de Intervención por ml					28,97	31,86	35,05	38,55	42,41	
Costo Total de Mantenimiento de la Ruta (\$)						26.878,92				

Fuente: Propia

Es interesante analizar esta ruta, pues a pesar de ser el recorrido con la distancia más corta su costo por metro lineal es similar al costo de la Ruta de Acceso 2 que es más alto. Además, de las tres rutas es la segunda de mayor inversión, siendo su costo total de mejoramiento es de \$26.878,92. Sin olvidar, que este plan de mantenimiento no incluye la construcción del Puente de San Rafael-La Isla, pues requiere de un análisis en puentes y no es un proyecto municipal sino tomado por la Comisión Nacional de Emergencias.

4.3 Criterio Ambiental y sus Indicadores para las Rutas de Acceso:

Al tratarse de un análisis de sostenibilidad, se requiere del componente ambiental y social para que conjunto con el componente económico, se puede evaluar si una decisión es o no sostenible. Por esa razón se ha escogido dos indicadores para medir el criterio ambiental de forma cuantificable:

a. Emisiones de CO₂ (kg/m):

Se ha encontrado documentación referente con el resultado del documento del Lanamme generado por Arias & Rodríguez (2018), llamado *Criterios ambientales y socioeconómicos para priorizar inversiones en la red vial de Costa Rica* que a su vez usó otro documento para respaldar sus datos. Ese otro documento es obra de Chehovits y Galehouse (2010), llamado *Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements*, en donde exponen sus mediciones de CO₂ por cada tarea de mantenimiento según su carpeta, agregados, manufactura, transporte y colocación por año (p. 13-14) por lo que sus valores serían los siguientes:

Tabla 19.

Emisiones de CO₂ por Tarea de Mantenimiento por Unidad de Medida a 12 años

Tarea de Mantenimiento	Unidad de Medida	Emisiones de CO2 por Año (kg)	12 años
Sellado de Grietas	M	0,08	0,96
Sellado de Viruta	m2	0,2	2,4
Sellado Tipo Lechada	M	0,1	1,2
Sobrecapa Delgada de MAC	m2	1,3	15,6
Reciclado en Frío en Sitio / Bacheo	m2	1,5	18
Reciclado en Caliente en Sitio	m2	1	12
Reconstrucción	m2	0,7	8,4

Fuente: Propia.

Por lo que para la Rutas de acceso a la Isla de Moravia quedarían de la siguiente forma:

Tabla 20.

Emisiones de CO2 de la Ruta 1 por un plazo de 12 años

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mant. Propuesta	Emisiones de CO2 por 12 Años (kg)	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	57,7	Reconstrucción	8,4	484,68
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	25,90	Sellado de Grietas	0,96	24,86
1.1 Cuero de lagarto	Bajo	m2	9,7	Sellado de Grietas	0,96	9,31
1.2 Longitudinal transversal	Medio	m	19,90	Sellado de Grietas	0,96	19,10
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	3	Sellado de Grietas	0,96	2,88
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	18	540,00
2.2 Abultamientos y hundimientos	Alto	m	0,9	Bacheo	18	16,20
2.3 Corrugación	Bajo	m2	4	Sellado de Grietas	0,96	3,84
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	6,7	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	104,52
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8	Sellado Tipo Lechada	1,2	4,56
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Medio	m	22,5	Reciclado en Caliente en sitio	12	270,00
4.2 Baches	Medio	m2	8,5	Bacheo	18	153,00
4.2 Baches	Bajo	m2	20,20	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	315,12

Emisiones Totales de CO2 (kg)	1.948,08
Emisiones Totales de CO2 (kg/m)	5,70

Fuente: Propia

Tabla 21.

Emisiones de CO2 de la Ruta 2 por un plazo de 12 años

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mant. Propuesta	Emisiones de CO2 por 12 Años (kg)	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	259,2	Reconstrucción	8,4	2177,28
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	28	Sellado de Grietas	0,96	26,88
1.2 Longitudinal transversal	Alto	M	6	Sellado de Grietas	0,96	5,76
1.2 Longitudinal transversal	Medio	M	43,8	Sellado de Grietas	0,96	42,05
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	M	10,8	Sellado de Grietas	0,96	10,37
1.3 Reflejo de juntas	Bajo	M	1,5	Sellado de Grietas	0,96	1,44
1.4 Bloque	Alto	m2	31,5	Reconstrucción	8,4	264,60
1.5 Borde	Medio	M	5	Reciclado en Caliente en sitio	12	60,00
1.6 Arco	Bajo	m2	0,2	Bacheo	18	3,60
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	18	540,00
3.4 Desgaste superficial	Alto	m2	3	Sellado de Grietas	0,96	2,88
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Alto	M	1	Reconstrucción	8,4	8,40
4.2 Baches	Alto	m2	42,5	Reconstrucción	8,4	357,00
4.2 Baches	Medio	m2	30,9	Bacheo	18	556,20
4.2 Baches	Bajo	m2	33,5	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	522,60
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1	Reconstrucción	8,4	8,40
4.3 Huecos	Medio	Unidad	3	Bacheo	18	54,00
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	2	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	31,20
Emisiones Totales de CO2 (kg)					4.672,66	
Emisiones Totales de CO2 (kg/m)					15,37	

Fuente: Propia.

Tabla 22.

Emisiones de CO2 de la Ruta 3 por un plazo de 12 años

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mant. Propuesta	Emisiones de CO2 por 12 Años (kg)	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	113,9	Reconstrucción	8,4	956,76

1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	3,8	Sellado de Grietas	0,96	3,65
1.2 Longitudinal transversal	Alto	M	3,5	Bacheo	18	63,00
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	M	31,5	Sellado de Grietas	0,96	30,24
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	18	540,00
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	4	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	62,40
3.4 Desgaste superficial	Medio	m2	5,74	Sellado de Grietas	0,96	5,51
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8	Sellado de Grietas	0,96	3,65
4.2 Baches	Medio	m2	1,5	Bacheo	18	27,00
4.2 Baches	Bajo	m2	26,5	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	413,40
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1	Reconstrucción	8,4	8,40
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	1	Sobrecapa Delgada de MAC	15,6	15,60

Emisiones Totales de CO2 (kg)	2.129,61
Emisiones Totales de CO2 (kg/m)	14,01

Fuente: Propia

b. Consumo Energético (MJ/m):

Para medir anualmente la cantidad de energía consumida en labores de colocación de carpeta asfáltica, transporte, elaboración, manufactura y hasta tareas de intervención vial, se ha usado el mismo estudio de Chehovits y Galehouse (2010) con el fin de establecer los siguientes valores:

Tabla 23.

Consumo Energético por Tarea de Mantenimiento por Unidad de Medida a 12 años

Tarea de Mantenimiento	Unidad de Medida	Consumo Energético por Año (MJ)	12 años
Sellado de Grietas	M	1,1	13,2
Sellado de Viruta	m2	3,3	39,6
Sellado Tipo Lechada	M	2,4	28,8
Sobrecapa Delgada de MAC	m2	15,4	184,8
Reciclado en Frío en Sitio / Bacheo	m2	16,5	198
Reciclado en Caliente en Sitio	m2	13	156

Reconstrucción	m2	9,9	118,8
-----------------------	----	-----	-------

Fuente: Propia

Como el mantenimiento se ha destinado para un plazo de 12 años, se planteó el cálculo proyectado. Con lo que para las rutas de acceso su consumo energético sería el siguiente:

Tabla 24.

Consumo Energético de la Ruta 1 por un plazo de 12 años

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mant. Propuesta	Consumo Energético por 12 Años (MJ)	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	57,7	Reconstrucción	118,8	6854,76
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	25,90	Sellado de Grietas	13,2	341,88
1.1 Cuero de lagarto	Bajo	m2	9,7	Sellado de Grietas	13,2	128,04
1.2 Longitudinal transversal	Medio	M	19,90	Sellado de Grietas	13,2	262,68
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	M	3	Sellado de Grietas	13,2	39,60
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	198	5940,00
2.2 Abultamientos y hundimientos	Alto	M	0,9	Bacheo	198	178,20
2.3 Corrugación	Bajo	m2	4	Sellado de Grietas	13,2	52,80
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	6,7	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	1238,16
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8	Sellado Tipo Lechada	28,8	109,44
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Medio	M	22,5	Reciclado en Caliente en sitio	156	3510,00
4.2 Baches	Medio	m2	8,5	Bacheo	198	1683,00
4.2 Baches	Bajo	m2	20,20	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	3732,96

Consumo Energético Total (MJ)	24.071,52
Consumo Energético Total (MJ/m)	70,38

Fuente: Propia

Tabla 25.

Consumo Energético de la Ruta 2 por un plazo de 12 años

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mant. Propuesta	Consumo Energético por 12 Años (MJ)	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	259,2	Reconstrucción	118,8	30792,96

1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	28	Sellado de Grietas	13,2	369,60
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	6	Sellado de Grietas	13,2	79,20
1.2 Longitudinal transversal	Medio	m	43,8	Sellado de Grietas	13,2	578,16
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	10,8	Sellado de Grietas	13,2	142,56
1.3 Reflejo de juntas	Bajo	m	1,5	Sellado de Grietas	13,2	19,80
1.4 Bloque	Alto	m2	31,5	Reconstrucción	118,8	3742,20
1.5 Borde	Medio	m	5	Reciclado en Caliente en sitio	156	780,00
1.6 Arco	Bajo	m2	0,2	Bacheo	198	39,60
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	198	5940,00
3.4 Desgaste superficial	Alto	m2	3	Sellado de Grietas	13,2	39,60
4.1 Escalonamiento calzada-espaldón*	Alto	m	1	Reconstrucción	118,8	118,80
4.2 Baches	Alto	m2	42,5	Reconstrucción	118,8	5049,00
4.2 Baches	Medio	m2	30,9	Bacheo	198	6118,20
4.2 Baches	Bajo	m2	33,5	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	6190,80
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1	Reconstrucción	118,8	118,80
4.3 Huecos	Medio	Unidad	3	Bacheo	198	594,00
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	2	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	369,60

Consumo Energético Total (MJ)	61.082,88
Consumo Energético Total (MJ/m)	200,93

Fuente: Propia

Tabla 26.

Consumo Energético de la Ruta 3 por un plazo de 12 años

Deterioro	Nivel de Severidad	Unidad	Cantidad	Tarea de Mant. Propuesta	Consumo Energético por 12 Años (MJ)	Año 12
1.1 Cuero de lagarto	Alto	m2	113,9	Reconstrucción	118,8	13531,32
1.1 Cuero de lagarto	Medio	m2	3,8	Sellado de Grietas	13,2	50,16
1.2 Longitudinal transversal	Alto	m	3,5	Bacheo	198	693,00
1.2 Longitudinal transversal	Bajo	m	31,5	Sellado de Grietas	13,2	415,80
2.1 Roderas	Bajo	m2	30	Bacheo	198	5940,00
3.3 Desplazamiento de agregados	Alto	m2	4	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	739,20

3.4 Desgaste superficial	Medio	m2	5,74	Sellado de Grietas	13,2	75,77
3.4 Desgaste superficial	Bajo	m2	3,8	Sellado de Grietas	13,2	50,16
4.2 Baches	Medio	m2	1,5	Bacheo	198	297,00
4.2 Baches	Bajo	m2	26,5	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	4897,20
4.3 Huecos	Alto	Unidad	1	Reconstrucción	118,8	118,80
4.3 Huecos	Bajo	Unidad	1	Sobrecapa Delgada de MAC	184,8	184,80

Consumo Energético Total (MJ)	26.993,21
Consumo Energético Total (MJ/m)	177,59

Fuente: Propia

4.4 Criterio Social y sus Indicadores para las Rutas de Acceso:

El último criterio es el Criterio Social que evalúa el resultado que las decisiones tomadas tendrán sobre la sociedad que se verá afectada de forma positiva o negativa. Por lo tanto, se han tomado cuatro indicadores que nos permitirán realizar la valoración de índole social:

a. Población (Persona):

Por razones de tiempo y simplicidad se aproximó la población afectada para cada una de las rutas, tomando en cuenta las proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en su Censo del año 2011, en donde se proyecta que para los distritos de San Vicente y La Trinidad su Índice de Habitabilidad es de 3,8 habitante por unidad de vivienda.

Por lo tanto, para contabilizar la población se realizó un conteo de unidades de vivienda alrededor cada ruta y se reunió la siguiente información con la ayuda de Google Maps:

Tabla 27.

Indicador Social de Población

Población Afectada		
Ruta nº	Unidad de Vivienda	Población
Ruta 1	713	2.698
Ruta 2	1.011	3.826
Ruta 3	372	1.408

Fuente: Propia (Con Proyecciones del INEC)

b. Tiempo de Recorrido (min):

Para este indicador de medición social, se hicieron varios recorridos de San Vicente a La Isla y viceversa en horas de mayor tránsito conocidas como horas pico, con el fin de obtener un tiempo de recorrido promedio. Dichas mediciones se realizaron entre semana (es decir, de lunes a viernes) cada 30 minutos, y se obtuvo la siguiente información:

Tabla 28.

Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 1

Ruta de Acceso 1						
Horario		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Hora Pico Mañana	7:00	18	16	17	16	17
	7:30	14	15	17	15	16
	8:00	15	15	18	15	16
	8:30	15	17	16	17	17
	9:00	14	15	16	16	17
Hora Pico Tarde	5:00	18	17	16	15	17
	5:30	15	18	16	15	15
	6:00	15	16	16	16	15
	6:30	14	16	17	17	16
	7:00	12	16	15	15	15
Tiempo Promedio (min)		15,86				

Fuente: Propia

Entonces, el Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 1 sería de 15,86 min. Para la Ruta 2, sería de 12,06 min según la siguiente tabla.

Tabla 29.

Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 2

Ruta de Acceso 2						
Horario		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Hora Pico Mañana	7:00	12	13	11	13	14
	7:30	11	12	12	12	13
	8:00	13	12	12	12	13
	8:30	12	14	12	12	12
	9:00	12	12	11	11	11
Hora Pico Tarde	5:00	13	13	13	13	14

	5:30	13	12	12	12	12
	6:00	12	13	12	12	12
	6:30	12	12	11	11	12
	7:00	10	11	11	10	11
Tiempo Promedio (min)		12,06				

Fuente: Propia

Finalmente, para la Ruta 3 el Tiempo de Recorrido Promedio es de 8,20 min:

Tabla 30.

Tiempo de Recorrido Promedio para la Ruta 3

Ruta de Acceso 3						
Horario		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Hora Pico Mañana	7:00	8	8	8	8	9
	7:30	8	7	8	8	9
	8:00	9	8	7	8	8
	8:30	9	8	9	9	8
	9:00	6	7	8	8	8
Hora Pico Tarde	5:00	9	9	9	9	10
	5:30	9	8	9	8	9
	6:00	8	9	8	8	9
	6:30	8	8	8	7	9
	7:00	7	8	7	7	9
Tiempo Promedio (min)		8,2				

Fuente: Propia

c. Capacidad de Centros Educativos (Estudiante):

Los Servicios Públicos se pueden medir de diversas maneras, pero se decidió medir mediante los centros educativos cercanos y su capacidad o población estudiantil donde los estudiantes se convierten en su población equivalente y unidad de medida.

Para este indicador, se hizo un análisis de sitio referenciando todos los centros educativos privados o públicos: kínder, escuela y colegios. Con esto se consiguió la siguiente información:

Tabla 31.

Capacidad de Centros Educativos alrededor de las Rutas de Acceso

Capacidad de Centros Educativos.							
Ruta nº	Liceo de Moravia	Escuela de La Isla	CECOE	IPICIM	Liceo Laboratorio	Centro Educativo Alta Moravia	Total
Ruta 1			X	X	X		1027
Ruta 2	X	X	X			X	1831
Ruta 3	X		X				1573
Población Estudiantil	1425	235	148	122	757	23	2710

Fuente: Cada Centro Educativo

Cabe señalar que estos datos fueron suministrados de manera oficial por cada centro educativo, vía teléfono o correo electrónico.

d. Tránsito Promedio Diario (ESALS):

Este indicador social pretende considerar la población que se transporta con su propio vehículo, pero también todos aquellos que aprovechan las rutas en estudio, aunque no habiten ni siquiera cerca del cantón. Toda esta información fue suministrada por la Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Moravia (donde VPD significa Vehículo Promedio Diario):

Tabla 32.

Transito Promedio Diario

Tránsito Promedio Diario			
Ruta nº	Ruta Cantonal	VPD	TPD (ESALS)
Ruta 1	84	5700	7770
Ruta 2	73	12000	16358
Ruta 3	75	5200	7088

Fuente: Unidad Técnica de Gestión Vial de la Municipalidad de Moravia

Con esto se da por finalizado el criterio social y sus indicadores de medición. Y se pueden iniciar la evaluación en la herramienta MIVES que permite simplificar el trabajo de la metodología TDMV.

4.5 Evaluación en MIVES:

Como parte del proyecto de investigación se ha modelado el Árbol de Requerimientos en la herramienta MIVES con el fin de simplificar y agilizar el trabajo de análisis.

a. Requerimientos:

Es por ello que como se muestra en la *Figura 46*, el Árbol de Decisión del Proyecto en cuestión, el cual se creó en dicha herramienta. Se construyó con el objetivo de analizar tres rutas (tres alternativas) según una evaluación de sostenibilidad con sus tres pilares: económico, ambiental y social, los cuales se consideran los tres *Requerimientos* del árbol.

b. Criterios:

Por otro lado, se han asignado subniveles dentro de los *Requerimientos*, los cuales serán denominados como *Criterios*, conformados de la siguiente manera:

- Económico: se han tomado los Planes de Mantenimiento de cada ruta anteriormente presentados.
- Ambiental: los criterios ambientales serán las Emisiones de CO₂ y el Consumo Energético que demandan las labores de intervención de las vías de acceso.
- Social: se han considerado cuatro criterios; la Población afectada, el Tiempo de Recorrido desde un automóvil, Servicios Públicos y Transito.

c. Indicadores:

Con los siete *Criterios* del árbol ya mencionados, seguidamente se muestran los siete *Indicadores* que el usuario ha decidido como la mejor forma de cuantificar los *Criterios*:

- Costo de Plan de Mantenimiento (\$): sus unidades serán los dólares (\$), y será medido a través de la propuesta de plan de intervención a 12 años de plazo para cada una de las tres rutas.
- Emisiones de CO₂ (kg/m): para este indicador se propone que de la misma manera que se han generado un costo de intervención en un plazo de 12 años, se busca un

valor de emisiones de dióxido de carbono por tarea o actividad de mantenimiento anual. Sus unidades de medición son kilogramo de CO₂ por metro lineal.

- Consumo Energético (MJ/m): al igual que el anterior indicador ambiental, se pretende encontrar valores de consumo energético anual por tarea de mantenimiento por un plazo de 12 años. Su forma de medición es Mega Joule por metro lineal.
- Población (Persona): en este caso en particular la unidad de medida sería por persona que habita una unidad de vivienda para cada ruta, es decir, la población que se vería afectada o beneficiada por la intervención de la ruta.
- Tiempo de Recorrido (min): como parte de los indicadores sociales, se utiliza el tiempo de recorrido con el fin de establecer el tiempo que tarda un vehículo en trasladarse del centro del cantón a la comunidad de la Isla y viceversa, dicho tiempo se medirá en minutos.
- Capacidad de Centros Educativos (Estudiante): otro de los parámetros de medición de la parte social serán los servicios públicos por medio de los centros educativos, y para ello se busca la población estudiantil que tienen los centros educativos alrededor de las rutas, por lo que se medirá por persona.
- Tránsito Promedio Diario (ESALS): el último indicador tiene el propósito de medir la cantidad de vehículos que transitan por cada ruta, es usual que este tipo de mediciones se realicen ejes equivalentes de diseño o ESALS, pues mide el tránsito contando los ejes de los diferentes vehículos que circulan por las rutas de acceso.

d. Funciones de Valor:

Las funciones de valor son propias de cada indicador, pues cada grafica brinda información específica y debe representar de la mejor manera el indicador para las alternativas que se

busca analizar. Entonces la siguiente información responde a los datos que expresan cada indicador analizado según el usuario decisor:

- Costo de Plan de Mantenimiento: la función es continua con forma lineal decreciente, puesto que tiene que la idea es “castigar” a aquellas alternativas que tengan un costo de mantenimiento considerado alto para el tamaño del trayecto. El valor de máxima satisfacción es \$0,00 por metro lineal de carretera y el de mínima satisfacción sería \$60,00 por metro de lineal de carretera; dado que se considera que un valor que exceda dicho valor sobrepasa el nivel aceptable de mantenimiento para dichas alternativas. Pues alcanzar un valor de más de \$60,00 por metro lineal de carretera sería mejor reconstruir la vía, pues su costo sería de aproximadamente \$50,00 para realizar su reconstrucción total.

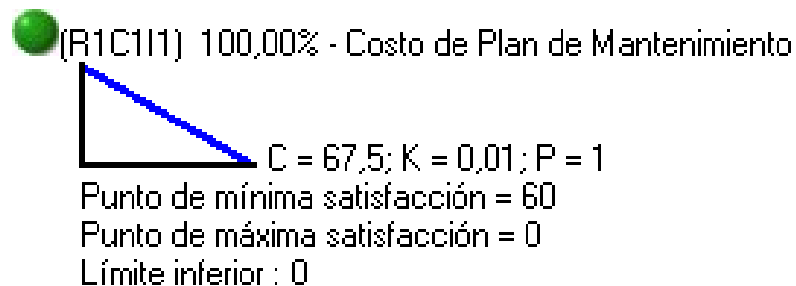


Figura 56. Función de Valor de Costo de Plan de Mantenimiento

Fuente: Propia

- Emisiones de CO₂: este indicador se mide en kilogramos por metro lineal construido, por lo que su punto de mínima satisfacción es 25 kg/m y el de máxima satisfacción es 0 kg/m, en un panorama utópico donde la carretera no produzca dióxido de carbono en ningún momento. Su función es continua con forma lineal decreciente.

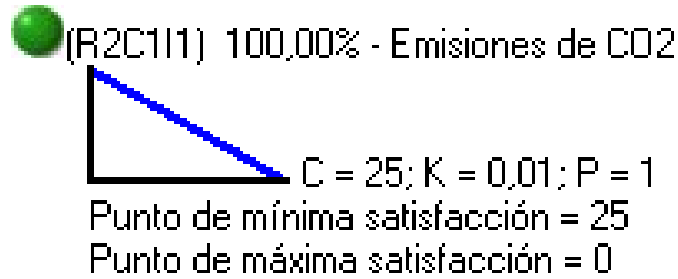


Figura 57. Función de Valor de Emisiones de CO2

Fuente: Propia

- Consumo Energético: la energía consumida está medida en Mega Joule por metro lineal de carretera construida y sus otras actividades de mantenimiento. Para este indicador se ha elaborado una gráfica similar a la anterior con una función continua con una forma lineal decreciente, donde se busca “penalizar” los valores de consumo energético elevado. Su valor de mínima satisfacción es 250 MJ/m y el punto de mayor satisfacción es 50 MJ/m.

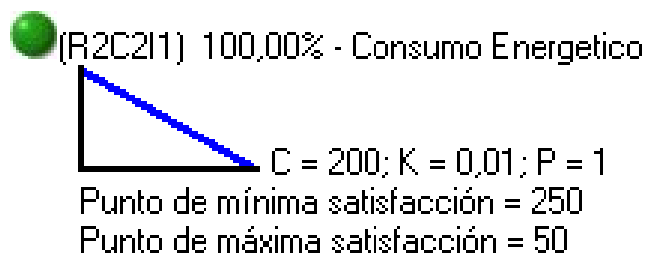


Figura 58. Función de Valor de Emisiones de CO2

Fuente: Propia

- Población: la población afectada es un indicador social que pretende medir la cantidad de personas que estará beneficiada o afectadas en la priorización de las rutas. Para ello su función es continua con una forma lineal creciente. Su punto de máxima satisfacción es una población que alcance las 5.000 personas, y su punto de menor satisfacción sería una población de 500 personas o menos.

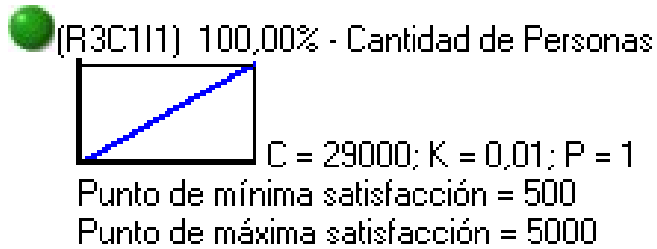


Figura 59. Función de Valor de Población

Fuente: Propia

- Tiempo de Recorrido: el tiempo de recorrido es expresado en minutos. Para este indicador específicamente, se decidió tomar una función escalón que básicamente es representante mediante intervalos y dando una ponderación para una misma cantidad de datos. Para el tiempo de recorrido, se establecieron tres intervalos: 0,50; 0,75 y 1.

Id	Desde...	...hasta ...	Valor R(x)
1	>3	=5	1
2	>5	=10	0,75
3	>10	=20	0,5

Figura 60. Función de Valor de Tiempo de Recorrido

Fuente: Propia

Es sencillo de interpretar, se entrega un valor de 1 a los valores que sea menores a 3 minutos e iguales a 5 minutos. De la misma manera para los demás intervalos como muestra la figura anterior.

- Capacidad de Centros Educativos: como se ha mencionado anteriormente los servicios públicos serán medidos a través de la cantidad de estudiantes de los centros educativos cercanos a cada ruta. Para ello, se ha determinado que la función debe ser continua con forma lineal creciente. Su valor de satisfacción máxima será alcanzado en 2.000 estudiantes (que serían la cantidad de población equivalente para los centros

educativos) y a menor satisfacción sería para una población estudiantil de 500 estudiantes.

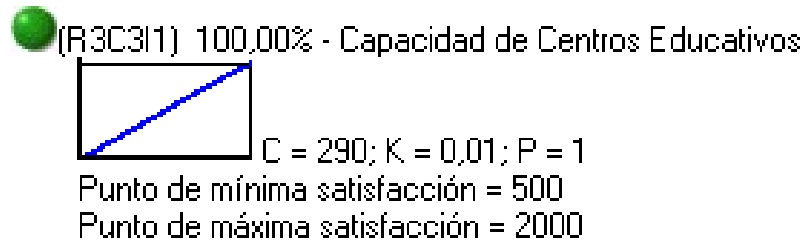


Figura 61. Función de Valor de Servicios Públicos.

Fuente: Propia

- Tránsito Promedio Diario: el tránsito de cada ruta será expresado mediante los ESALS. Para estas rutas, se ha establecido una máxima satisfacción en 20.000 ESALS y su mínima satisfacción en 5.000 ESALS. Su función es continua con forma lineal creciente.

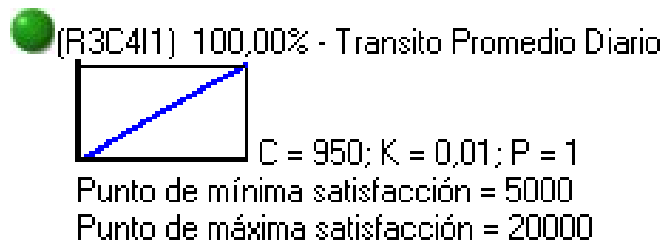


Figura 62. Función de Valor de Tránsito Promedio Diario.

Fuente: Propia

e. Pesos:

La asignación de pesos se basa en otorgar un porcentaje del 100% entre todos los elementos de cada nivel. Para todos los niveles se aplicó el método AHP, porque el usuario decidió que la manera más conveniente de darle importancia a cada nivel del Árbol de Decisión era a través de

las proporciones de Saaty. Una vez aplicada la ponderación de proporciones, los pesos del Árbol de Requerimientos quedan de la siguiente forma:

Tabla 33.

Pesos del Árbol de Requerimientos de la Investigación

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Económico	Planes de Mantenimiento	Costo de Plan de Mantenimiento
	33,33%	100,00%
Ambiental	Emisiones de CO2	Emisiones de CO2
	60,00%	100,00%
33,33%	Consumo Energético	Consumo Energético
	40,00%	100,00%
Social	Población	Población
	16,67%	100,00%
	Tiempo de Recorrido	Tiempo de Recorrido
	33,33%	100,00%
33,33%	Servicios Públicos	Capacidad de Centros Educativos
	16,67%	100,00%
	Transito	Transito Promedio Diario
	33,33%	100,00%

Fuente: Propia

4.6 Análisis de Sostenibilidad de las Rutas de Acceso:

La información del apartado 4.5 de este capítulo es la requerida para alimentar dos de los tres módulos: Módulo Programador y el Módulo Usuario. Ahora, como lo requerido para investigación es un análisis de sostenibilidad donde se evalúa el comportamiento de todos los indicadores económicos, ambientales y sociales para cada una de las alternativas, las cuales son las tres rutas de acceso elaboradas y trazadas por el usuario decisor.

Una vez esto entendido, se procede a terminar la evaluación con el análisis de los resultados obtenidos en el Módulo Reporte, en el cual se estudia todo el panorama completo y luego cada

una de sus partes. Inicialmente, se analiza todo para encontrar cual es el orden de resultado de las tres alternativas.

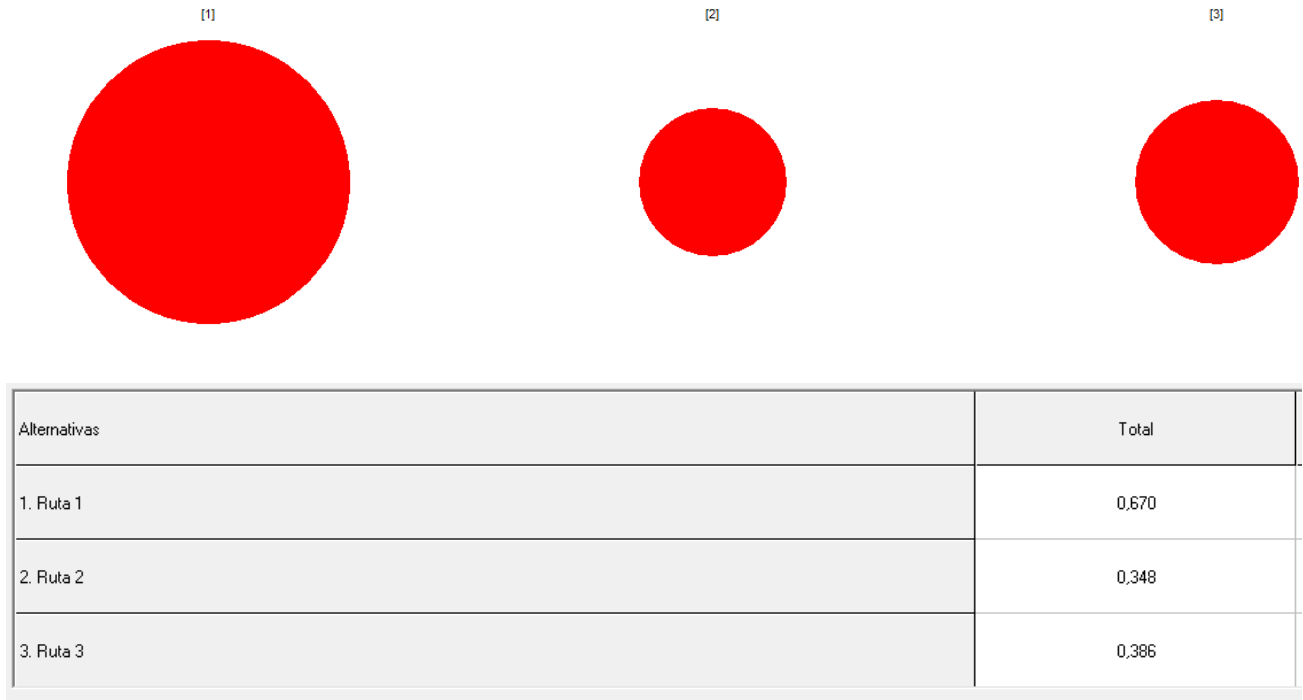


Figura 63. Gráfico de Pastel para Análisis Total de las Rutas de Acceso

Fuente: Modulo Reporte Propio

Con esto se concluye que la Ruta 1 es la ruta que cumple con las mejores condiciones con un 67,0% de aprobación, la siguiente es la Ruta 3 con un 38,6% y en la última posición se encuentra la Ruta 2 con un 34,8%; esto según los criterios, indicadores, funciones de valor y pesos asignados por el investigador. Lo cual se puede apreciar gracias a la gráfica de pastel que se eligió, donde el círculo o pastel de mayor tamaño es el “gana” la decisión. Ahora se procede a analizar cada Requerimiento, con el fin de justificar la razón o las razones que derivan este resultado.

a. Análisis Económico de las Alternativas:

El análisis económico es sencillo, pues solo posee un único criterio e indicador que es el costo de su plan de mantenimiento.

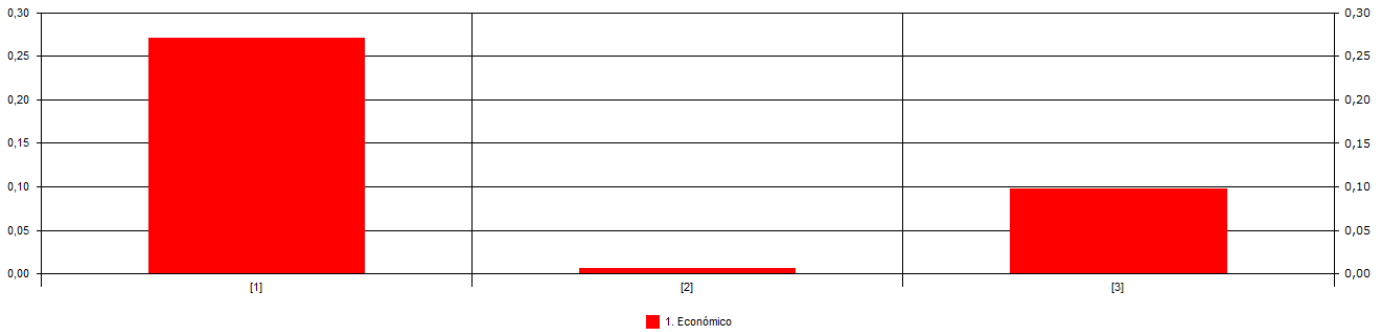


Figura 64. Gráfico de Barras para Costo de Planes de Mantenimiento

Fuente: Propia

Donde por obvias razones, la Ruta 1 toma el primer lugar pues su costo de mantenimiento es de apenas \$11,31 por metro de carretera intervenida. El segundo lugar es para la Ruta 3 con un costo de mantenimiento de \$42,41 por metro de carretera; y el tercer y último lugar para la Ruta 2 con costo de plan de mantenimiento de \$58,95 por metro lineal.

b. Análisis Ambiental de las Alternativas:

El análisis ambiental es un poco más complicado por dos razones: tiene más indicadores y sus pesos asignados son diferentes. Para su análisis se presenta la siguiente gráfica:

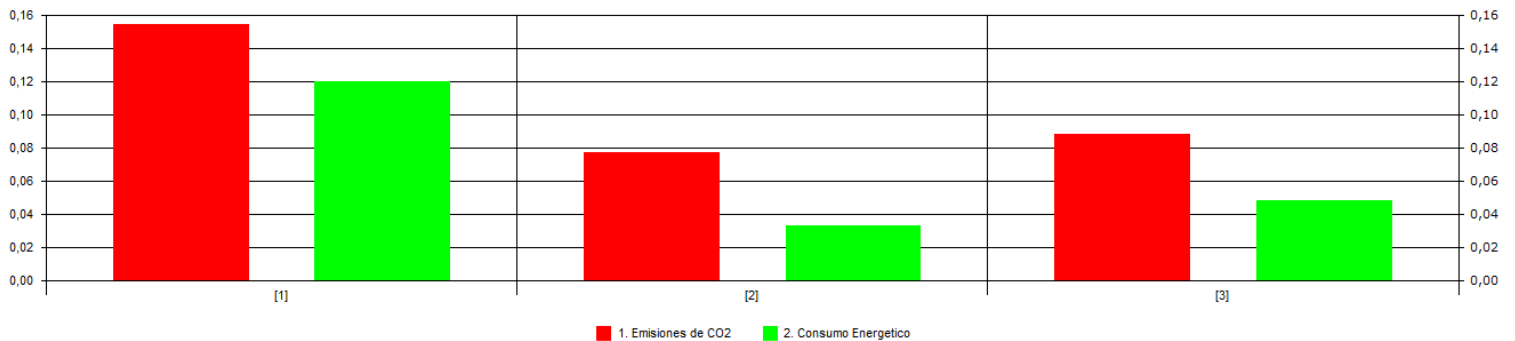


Figura 65. Gráfico de Barras para Análisis Ambiental de las Alternativas

Fuente: Propia

El color rojo muestra las Emisiones de CO2 en kg/m y el color verde el Consumo Energético en MJ/m. Para esta evaluación, se debe recordar que el peso de las Emisiones de CO2 tiene un mayor castigo, pues su peso es del 60%. Y para un mejor análisis debemos apoyarnos en sus números con la siguiente tabla:

Tabla 34.

Análisis del Criterio Ambiental y sus Indicadores

Ruta nº	1. Emisiones de CO2	2. Consumo Energético	Total
Ruta 1	0,155	0,120	0,274
Ruta 2	0,077	0,033	0,110
Ruta 3	0,088	0,048	0,137

Fuente: Propia

El ganador ambiental es la Ruta 1 en ambos indicadores, lo que le otorga el primer lugar. Luego a pesar, de que la Ruta 2 tiene un “buen resultado” en las Emisiones de CO2, no le alcanza para lograr el segundo lugar, dado que la Ruta 3 lo supera por poco en ambos criterios. Sin dejar de lado, que la Ruta 2 es la de mayor impacto ambiental pues produce 15,37 kg de CO2 y 200, 93 MJ de Energía Consumida, por metro lineal de carretera.

c. Análisis Social de las Alternativas:

Este análisis es quizás el análisis más complejo de todos, dado que tiene cuatro indicadores con pesos distintos, por lo que requiere mayor atención.

La siguiente grafica de barras describe visualmente muy bien la situación social de las tres alternativas:

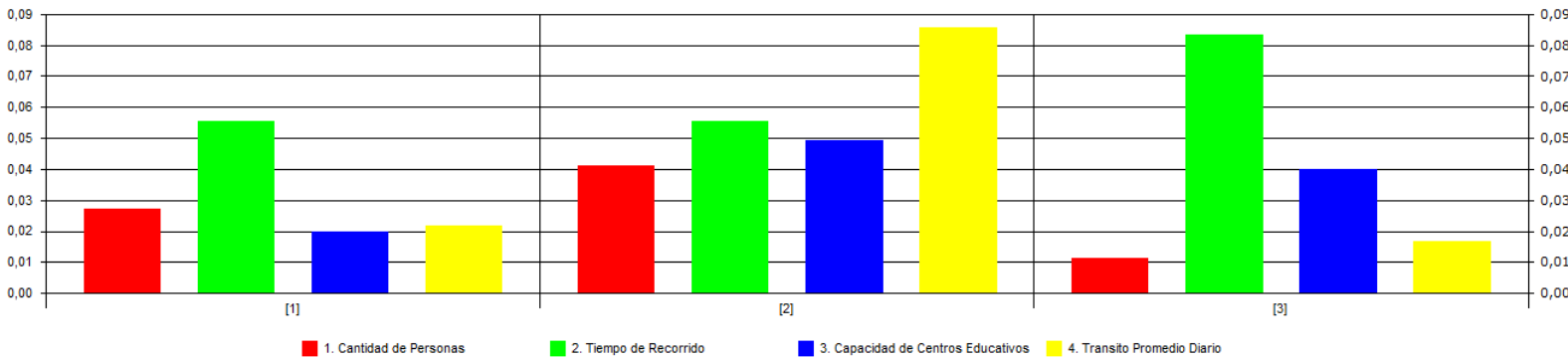


Figura 66. Gráfico de Barras para Análisis Social de las Alternativas

Fuente: Propia

El color rojo representa la Población, el verde el Tiempo de Recorrido, el azul la Capacidad de los Centros Educativos y el color amarillo el Transito Promedio Diario. Visualmente si se observa, la Ruta 2 supera en todos los indicadores a las otras rutas pues tiene: más personas, más estudiantes y mayor tránsito. Lo que quiere decir que tiene un mayor impacto social que las otras dos. Ahora, si se compara la Ruta 1 y la Ruta 3, en realidad ambas rutas tienen datos similares y en donde se marca la diferencia es el Tiempo de Recorrido, pues la Ruta 3 es más corta, menos usada (porque tiene el menor tránsito de las tres). Esto se justifica mejor si se analizan los siguientes datos:

Tabla 35.

Análisis del Criterio Social y sus Indicadores

Ruta nº	1. Cantidad de Personas	2. Tiempo de Recorrido	3. Capacidad de Centros Educativos	4. Transito Promedio Diario	Total
Ruta 1	0,027	0,056	0,020	0,022	0,124
Ruta 2	0,041	0,056	0,049	0,086	0,232
Ruta 3	0,011	0,083	0,040	0,017	0,151

Fuente: Propia

Lo antes mencionado, se refuerza si se observa que la ruta con mayor puntuación en Tiempo de Recorrido es la Ruta 3, que a su vez supera la Ruta 2 al doble de puntuación con respecto a la Capacidad de Centros Educativos. Factores que le dan por muy poco el segundo lugar social a la Ruta 3 con un 15,1% por encima de un 12,4% de la Ruta 1 (el cual es el único requerimiento que “pierde”)

d. Análisis General de Sostenibilidad:

Se evalúan los tres pilares de sostenibilidad: económico, ambiental y social:

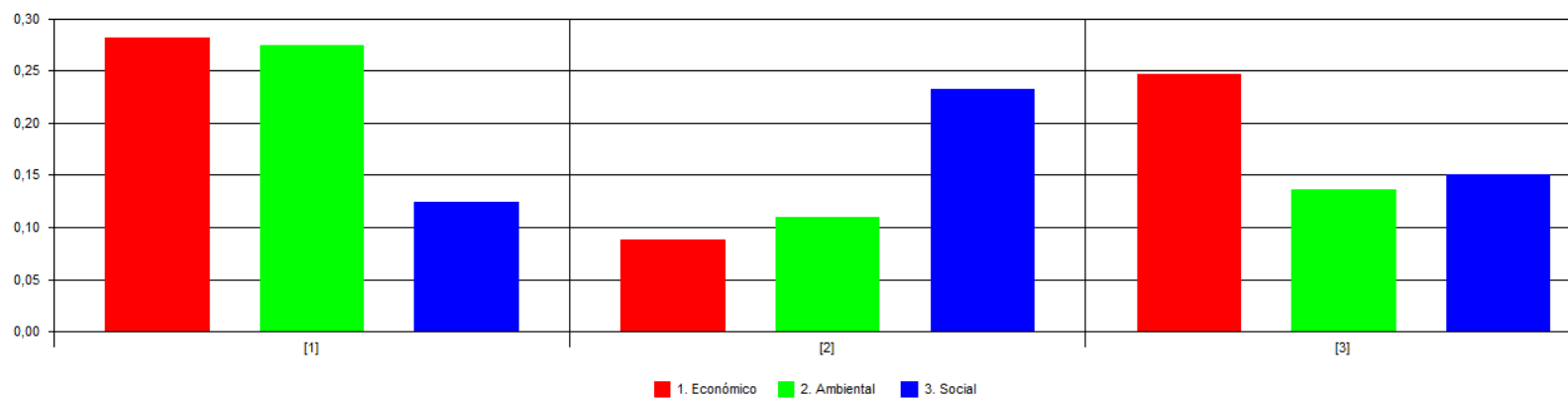


Figura 67. Grafica de Barras para Análisis General de Sostenibilidad

Fuente: Propia

La figura anterior es un gráfico de barras donde la barra roja representa el requerimiento Económico, la barra verde representa lo Ambiental y la azul lo Social. Donde si se analiza gráficamente la opción de la Ruta 1 (la alternativa ganadora o el primer lugar) ganó la decisión al tener el requerimiento Económico y Social mucho mejor que las otras dos opciones, y perdió en el Social, por esa razón obtuvo el primer lugar.

Ahora, para el segundo lugar se observa que la Ruta 3 ganó por mucho el pilar económico comparado con la Ruta 2. Pero a nivel social se cambiaron los papeles, pues la Ruta 2 ganó a las otras alternativas. Este segundo lugar es importante analizar, pues a pesar de que la Ruta 2 ganó por encima de todas, la parte social pero no le alcanza al tener muy malos resultados en lo Económico y Ambiental, por lo cual tomó el último lugar de las tres opciones. Recordando que los tres Requerimientos tienen el mismo peso relativo.

Esto se puede revisar más minuciosamente si se observa numéricamente, se obtuvo la siguiente información:

Tabla 36.

Análisis General de Requerimientos

Ruta nº	1. Económico	2. Ambiental	3. Social	Total
Ruta 1	0,271	0,274	0,124	0,670
Ruta 2	0,006	0,110	0,232	0,348

Ruta 3	0,098	0,137	0,151	0,386
---------------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Propia

Por lo tanto, se comprueba por qué razón la Ruta 2 toma el último lugar y la Ruta 3, el segundo lugar.

Para finalizar, se muestra el panorama desglosado de todos los criterios con la siguiente grafica de barras:

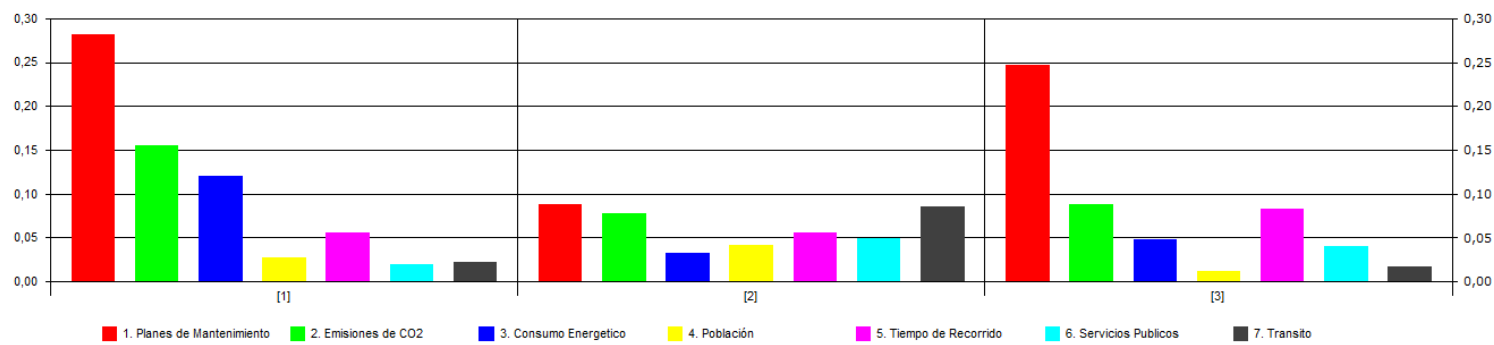


Figura 68. Gráfico de Barras Comparativo de Todos los Indicadores.

Fuente: Propia

Y que se sustenta y refuerza con la siguiente tabla, donde muestra las calificaciones obtenida de las tres rutas para cada indicador según su función de valor y su peso:

Tabla 37.

Tabla Comparativa de todos los Indicadores

Indicador	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
1. Costo de Plan de Mantenimiento	0,271	0,006	0,098
2. Emisiones de CO2	0,155	0,077	0,088
3. Consumo Energético	0,120	0,033	0,049
4. Población	0,027	0,041	0,011
5. Tiempo de Recorrido	0,056	0,056	0,083
6. Capacidad de Centros Educativos	0,020	0,049	0,040

7. Transito Promedio Diario	0,022	0,086	0,017
Total	0,670	0,348	0,386

Fuente: Propia

Si tomamos en cuenta cada puntuación, es la que se encarga de establecer el lugar que adquiere cada alternativa. Por lo tanto, el primer lugar es la Ruta 1, el segundo lugar lo tiene la Ruta 3 y el tercer lugar es para la Ruta 2.

4.7 Propuesta Final de Priorización de los Planes de Mantenimiento para las Rutas de Acceso:

El análisis de sostenibilidad tiene como propósito establecer cuál es la situación de las tres alternativas, es decir las rutas de acceso. Entonces, como se trata de lo anterior se puede concluir que la Ruta 2 es la que se encuentra en peor estado de las tres.

Como parte de la investigación, de debe decidir cuál de las tres rutas de acceso se interviene y en qué orden. Siguiendo los resultados obtenidos de la evaluación en MIVES, se considera que la Ruta 2 al estar en un peor estado, se decide que debe ser la primera en ser intervenida. Pues las otras se encuentran con un pavimento en mejor estado.

Por otra parte, se analiza que en comparación con el costo de mantenimiento de las Rutas 1 y 3 requiere de una menor inversión, inclusive si se unieran ambas rutas su costo de intervención es realmente bajo. Por lo que se decide, intervenir la Ruta 2 sola en un año, y la Ruta 1 y 3 simultáneamente en un año distinto. Por lo tanto, su priorización sería la siguiente:

Tabla 38.

Propuesta de Priorización de Intervención de Rutas de Acceso

Año de Mantenimiento	Año Calendario	Ruta 1		Ruta 2		Ruta 3		Costo por Año (\$)
		Intervención	Costo (\$)	Intervención	Costo (\$)	Intervención	Costo (\$)	
Año 0	2021	No	-	Sí	12.239,42	No	-	12.239,42
Año 0	2022	Sí	2.642,71	No	-	Sí	4.402,70	7.045,41
Año 3	2024	No	-	Sí	13.463,36	No	-	13.463,36
Año 3	2025	Sí	2.906,98	No	-	Sí	4.842,97	7.749,95
Año 6	2027	No	-	Sí	14.809,70	No	-	14.809,70
Año 6	2028	Sí	3.197,68	No	-	Sí	5.327,27	8.524,94
Año 9	2030	No	-	Sí	16.290,67	No	-	16.290,67
Año 9	2031	Sí	3.517,45	No	-	Sí	5.859,99	9.377,44
Año 12	2033	No	-	Sí	17.919,73	No	-	17.919,73
Año 12	2034	Sí	3.869,19	No	-	Sí	6.445,99	10.315,18
Costo Total (\$)			16.134,00		74.722,87		26.878,92	117.735,79

Fuente: Propia

Se pretende iniciar la intervención lo antes posible, por lo que el año 2021 sería el año inicial (Año 0) para intervenir la Ruta 2 según el cronograma, siendo intervenida cada tres años (respetando lo propuesto en los planes) y culminando sus labores en 2033 (Año 12).

No obstante, para la Ruta 1 y 3 se iniciarían tareas de mantenimiento en el año siguiente es decir el año 2022 (Año 0 de intervención para Ruta 1 y 3), con el fin de mantener el estado del pavimento e impedir su deterioro por falta mantenimiento periódicos adecuados. De igual forma se respeta su periodicidad de 3 años, terminando en 2034 (Año 12 para esas rutas).

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La metodología del PCI es un procedimiento que deriva de la norma ASTM D6433-11, que permite valorar el estado del pavimento, con uso de la inspección visual y el levantamiento de los deterioros. Por otra parte, la metodología de TDMV tiene la capacidad de evaluar distintos criterios y parámetros de forma simultánea con el fin de obtener resultados técnicos y objetivos que mejore la toma de decisiones en proyectos de ingeniería y en general.
- El estado de pavimento para las Rutas de Acceso a la comunidad de La Isla de Moravia es el siguiente: para la Ruta 1 su PCI es de 58, lo que lo califica como Bueno. Para la Ruta 2 su PCI es 41, lo que pone en una escala de Regular. Y para la Ruta 3 su PCI es de 47, por lo tanto, es Regular su estado.
- Comparativamente en una clasificación según la condición del pavimento para las rutas en cuestión; en primer lugar, se encuentra la Ruta 1, en segundo lugar, la Ruta 3 y en tercer lugar la Ruta 2.
- Para cada Ruta de acceso a la comunidad de La Isla de Moravia se generó una propuesta de plan de mantenimiento con el fin de mejorar su condición. Para la Ruta 1 su inversión sería del \$16.134, 00. Para la Ruta 2 su costo sería de \$74.772,87 y para la Ruta 3 sería de \$26.878,92, cada plan para un plazo de 12 años con intervenciones periódicas cada tres años.
- Con los resultados obtenidos por la herramienta MIVES, se tomó la decisión de intervenir primero la Ruta 2 en el año 2021 para finalizar en el año 2033, por ser la que se encontraba en peor situación y con una mayor afectación social. Y que las Ruta 1 y Ruta 3, se realizaron intervenciones simultaneas comenzando en el año 2022 y terminando en 2034.

Recomendaciones

- La metodología del PCI debe abordarse de forma muy ordenada y atenta, especialmente en el trabajo de campo o levantamiento de deterioros, pues que una equivocación modificaría por completo los resultados.
- Para un análisis o evaluación multivariable; se requiere de establecer con claridad y objetividad los parámetros, y sobretodo definir muy bien el grado de importancia que cada criterio debe tener según su situación dentro del proyecto. Y en ocasiones, se recomienda de solicitar apoyo de profesionales especializados en áreas donde el usuario decisor no tiene experiencia.
- Se recomienda en análisis comparativos, hace una comparación con aquellos factores que realmente son distintos entre ellos. Dado que analizar iguales, no tiene sentido y también genera un atraso en lo que realmente es importante.
- Se recomienda en las propuestas de mantenimiento plantear intervenciones periódicas que no sobrepasen los tres años, pues el daño presente en el pavimento sería manejable y reversible, sin tener que reconstruir por completo la estructura del pavimento, debido a que no se hizo una intervención a tiempo y que por supuesto, tendría como consecuencia costos de mantenimientos elevados.
- Se recomienda a los profesionales responsables de efectuar mantenimiento vial, realizar tareas de intervención basadas en aspectos y criterios técnicos objetivos. Y evitar tomar decisiones sin fundamento, por razones políticas o subjetivas.
- Se recomienda que otros estudiantes realizar la misma investigación con los mismos indicadores o similares para poder comparar resultados y que este proyecto funcione como modelo para administración de recursos de infraestructura vial.

Capítulo 6: Referencias Bibliográficas

American Society of Testing Materials. (2004). *Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433)*.

Estados Unidos, 81 p.

Araya, J et al. (2015). *Plan de Gestión de Pavimentos para la Ciudad de la Investigación de la Universidad de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.

Arias, R. & Rodríguez, J. (2018). *Criterios ambientales y socioeconómicos para priorizar inversiones en la red vial de Costa Rica*. Lanamme UCR, Costa Rica, 12-19 p.

Barba-Romero, S. (1996). *Manual para la Toma de Decisiones Multicriterio*. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Santiago, Chile.

Chehovits, J & Galehouse, L (2010). *Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete*. Pavements. National Center for Pavement Preservation, Okemos, Michigan, United States

Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Secretaría de Integración Económica Centroamericana, Costa Rica, 289 p.

- Díaz, J. (2017). *Desarrollo y Aplicación de un Nuevo Sistema de Rating para la Evaluación de la Sostenibilidad de los Proyectos de Infraestructuras en Países Subdesarrollados (SIRSDEC)*. Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Manual MIVES (2009). *Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles: Evaluación de la Sostenibilidad en Ingeniería Civil*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Mata, D. (2010). *Índices de Condición de Pavimentos Flexibles*. Universidad de Costa Rica.
- Moreno, J (2018). *Estudio Comparativo de Sostenibilidad en Carreteras Mexicanas*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Peshkin, D et al. (2011). *Guidelines for the Preservation of High Traffic Volume Roadways*. Transportation Research Board, Washington, D.C, Estados Unidos.
- Rabanal, J (2014). *Análisis del Estado de Conservación del Pavimento Flexible de la Vía de Evitamiento Norte, utilizando el Método del Índice de Condición del Pavimento. Cajamarca-2014*. Universidad Privada del Norte, Perú.
- Robles, R (2015). *Calculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) Barranco-Surco-Lima*. Universidad Ricardo Palma, Perú.

Rodríguez, E. (2009). *Calculo de Indice de Condición del Pavimento en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla*. Universidad de Piura, Perú.

Rodríguez, R. (2006). *Plan de mantenimiento vial a largo plazo en la zona urbana, caso: Municipalidad de Curridabat*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Vargas, Y. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento para la Ruta Nacional N° 122 mediante la evaluación de los niveles de deterioros presentes en el pavimento utilizando el método del PCI*. Universidad Central, Costa Rica.

Viñolas, B. et al. (2009). *MIVES: Modelo Integrado de Valor Para Evaluaciones de Sostenibilidad-ICSMM*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.