

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



Propuesta de un Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles a través de un Sistema de Información Geográfico para la Municipalidad de Heredia

Proyecto de graduación para optar por el grado académico de

Maestría en Ingeniería Vial

Realizado por:

Rodolfo Rothe Cordero

Cartago, diciembre del 2020

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Con fundamento en lo establecido por la Maestría en Ingeniería Vial, el Tribunal Examinador del Proyecto Final de Graduación denominado:

Propuesta de un Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles a través de un Sistema de Información Geográfico para la Municipalidad de Heredia.

Y, habiendo analizado el resultado del trabajo presentado por el(los) estudiante(s):

Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre	No. de carné
ROTHE	CORDERO	RODOLFO	2018319738

Se emite el siguiente dictamen el día 16 de diciembre del 2020:

<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Reprobado <input type="checkbox"/> Se recomienda <input type="checkbox"/> No se recomienda <i>Brindarle una nueva oportunidad para Defensa Pública.</i> Nueva fecha: _____
---	---

Dando fé de lo acá expuesto firmamos,

MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA) Firmado digitalmente por MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA) Fecha: 2020.12.17 10:01:21 -06'00' Ing. Milton Sandoval Quirós, MBA. Representante de la Escuela de Ingeniería en Construcción.	PEDRO LUIS CASTRO FERNANDEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por PEDRO LUIS CASTRO FERNANDEZ (FIRMA) Fecha: 2020.12.18 12:08:03 -06'00' Ing. Pedro Castro Fernández, PhD. Profesor Lector.
GIANNINA ORTIZ QUESADA (FIRMA) Firmado digitalmente por GIANNINA ORTIZ QUESADA (FIRMA) Fecha: 2020.12.17 08:11:29 -06'00' Ing. Giannina Ortiz Quesada, MSc. Coordinadora Unidad de Posgrado y profesora guía.	

DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios, primordialmente porque sin Él no lo hubiera logrado y es mi pilar de vida. ¡Te amo!

Lo dedico a la Ing. Fabiola Miranda Argüello, MSc., quien además de que fue mi profesora, tutora, me demostró que en la vida hay cosas más importantes por las cuales preocuparse y se debe luchar. Esas cosas no son los problemas laborales, un curso, examen, tesis, o cualquier otro aspecto académico que al final de cuentas son bendiciones que la vida nos da. Nos debemos preocupar por cosas que realmente valen la pena, debemos preocuparnos por cosas que pueden cambiarnos la forma de vivir como la salud. En este específico caso, se lo dedico a ella porque durante estos últimos dos años luchó contra el cáncer y a pesar de todo me brindó su apoyo a lo largo del tiempo y siempre fue una persona atenta. Gracias Fabi porque me enseñaste que la vida es un viaje donde no hay que planificarla sino fluir y poner todo en las manos de Dios. Porque Él nos da vida, salud y comprensión. Nos da las batallas para volvernos más fuertes y valorar lo que no es esencial ante los ojos. Porque no importa la cantidad de dinero si al final la felicidad depende de uno mismo, de cómo queremos vivir la vida y de cómo queremos aprovechar nuestro tiempo para alcanzar nuestras metas sin rendirnos, pero manteniendo paciencia. ¡Se lo dedico porque efectivamente me demostraste que la salud es mi otro pilar de vida y nunca hay que descuidarla, sin importar la edad!, ¡te lo dedico porque ahora pasaste a una mejor vida y mereces todo, vuela Fabi!

Lo dedico a mi familia (Ma, Pa, Ale, Mari y Fer) porque sin su apoyo no hubiera logrado este título ya que estuvieron de inicio a fin impulsándome. A mamá por ser siempre mi guía de vida, apoyo y amor incondicional. Siempre poniéndome en alto por mis logros y orgullosa de mí..., por esos ojos vidriosos cuando me ve y no opina nada, pero sonrío, como en el momento que me den el título y motivo de esta dedicatoria. Además, a mis hermanas y hermanos que siempre me han impulsado a no rendirme y seguir aprendiendo por la importancia que representa ante una vida llena de oportunidades. Agradezco a mis tíos(as) porque siempre han estado apoyándome para cualquier cosa y, en este caso, no fue una excepción, siempre me motivaron y se sintieron orgullosos de mí y, por supuesto, agradezco y dedico este título a los que ya no están en presencia física, pero sí espiritual y que siempre serán mi familia: abuelos(as) y mi padre, quienes siempre me enseñaron que el mejor regalo que me podrían dar era el estudio y así es... ¡Se los dedico! ¡Los amo, son mi otro pilar de vida!

Lo dedico a Ileana Borbón, porque a pesar de llegar a mi vida en pleno camino de esta maestría, me motivó hasta el final, día a día algo me decía para hacerme sentir el hombre más inteligente del mundo. Me amplió mi visión y me sacó de la zona de confort motivándome a aprender siempre que pueda y superarme constantemente. Me demostró a mí mismo que estaba hecho para grandes cosas y retos, siempre los cumplía en silencio y me hizo verlo. Pasaron 8 años desde que nos veíamos en los recesos de la universidad. China nos hizo no vernos más, pero gracias a la tecnología no perdimos contacto y ahora llegaste en el momento que Dios quiso a mi vida; ese momento exacto para observarme como siempre, pero esta vez de cerca y detenidamente. Ahora, te demuestro que cuando uno quiere algo lo puede conseguir, no siempre es necesario pedir deseos, solo es atraer lo que se quiere y con esfuerzo y dedicación pronto se logra. ¡Te lo dedico!, desde que llegaste sos otro pilar de vida para mí y te amo!

También lo dedico a mi mejor amigo José Miguel, que para mí es un hermano de otra madre y me apoyó de inicio a fin (“desde prepa hasta la muerte” es nuestro lema). A Pao que se convirtió en mi hermana y también me apoyó de inicio a fin. Pero sobre todo a ese dientón y a Pauli porque ha sido lo mejor que me ha podido dar pollita, ¡se los dedico y los amo!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Municipalidad de Heredia porque durante estos 8 años ha sido mi casa y he dado lo mejor de mí por el cantón, donde crecí y viví mi vida entera desde que nací.

Gracias a su actual alcalde José Manuel Ulate Avendaño quien me permitió ingresar tan joven y con el tiempo me fue brindando responsabilidades y oportunidades.

Lorelly Marín Mena por también permitirme desarrollarme como profesional y explotar mis ideas nuevas de joven y emplear mis ganas de trabajar. Una mentora en el área laboral y la vida.

Ángela Aguilar Vargas por apoyarme como persona joven y motivarme a superarme siempre. A los tres por recomendarme ante el TEC como un funcionario apto para cursar esta MIV ¡Muchas gracias!

Agradezco a la geógrafa Karol Fallas Corrales, MSc. de Catastro y Valoración por su tiempo, atención y ayuda durante todo este proceso. Su orientación fue de gran ayuda para lograr los objetivos mediante las herramientas del SIG municipal. También a mis compañeros de la Dirección de Inversión Pública y Dirección Financiera que colaboraron en este proceso.

Agradezco al TEC y cuerpo docente por otorgarme estos conocimientos nuevos y permitirme desarrollarme como estudiante y profesional en la materia vial. Principalmente a mis tutoras Ing. Fabiola Miranda Arguello, MSc. quien me acompañó durante todo el camino de este proyecto a pesar de su enfermedad y condición de salud hasta el último momento. Ahora descansa en paz. También a mi profesora y tutora Ing. Giannina Ortiz Quesada, MSc. por la disposición de continuar ayudándome con toda la atención en este proyecto y así lograr concluirlo, además por toda colaboración brindada durante estos años de enseñanza. Por último, a mi profesor y lector Dr. Pedro Castro Fernández, quien dedicó su valioso tiempo en enseñarme, corregirme, orientarme, durante estos años, en este camino.

Agradezco a la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR por orientarme en el área técnica de gestión vial referente a ensayos y equipos de laboratorio. También agradezco al Ing. José David Rodríguez, MSc, por el conocimiento en ciencias políticas que me aportó.

Por último, agradezco a esas personas que Dios puso en el camino exacto para que yo no dejara esta maestría botada en un momento donde se me complicó la salud y entré en un proceso de frustración. Quiero mencionar especialmente a una, Sara López. A ella porque me dijo en el momento justo: “estudiar siempre es bien” ..., frase que no olvidé y me motivó hasta la fecha; frase con la que me basé para poner el epígrafe de este documento y me motivaba cada vez que decía qué pereza. ¡Muchas gracias!

EPÍGRAFE

Los sistemas de gestión de pavimentos son herramientas que nos permiten tomar decisiones económicamente efectivas y depende de cada agencia, entidad o empresa su desarrollo, implementación y aprovechamiento. Al vivir en un país en vías de desarrollo y de escasos recursos, debemos adaptarlos a nuestras necesidades y capacidad. Somos humanos, hay mucho que aprender y desarrollar ya que no todo está inventado, pero somos capaces de hacer herramientas que se adapten a nuestro entorno; de esta forma, poder estudiar y analizar nuestros pavimentos de una forma más efectiva, así desarrollar mayor conocimiento, sabiduría y ahorro de recursos. Para estudiar y aprender nunca es tarde, solo ocupamos confiar en nosotros mismos, dedicar tiempo y amor para alcanzar grandes resultados.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	13
RESUMEN.....	17
ABSTRACT	17
1. CAPÍTULO I – GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	18
1.1. Antecedentes	18
1.2. Planteamiento del Problema.....	27
1.3. Justificación.....	29
1.4. Objetivos	33
1.4.1. Objetivo General	33
1.4.2. Objetivos Específicos	33
1.5. Alcances y Limitaciones	34
2. CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO	38
2.1. Análisis Conceptual.....	38
2.2. Concepto de Pavimento.....	39
2.3. Ciclo de Vida de las Carreteras	40
2.3.1. Etapas del Ciclo de Vida de un Camino.....	41
2.3.1.1. Fase A: La Construcción.	41
2.3.1.2. Fase B: El Desgaste Lento y Poco Visible.	42
2.3.1.3. Fase C: Deterioro Acelerado y Falla “Quiebre”......	42
2.3.1.4. Fase D: Avanzado Nivel de Deterioro hasta la Descomposición Total.	44
2.4. Conceptos sobre la Conservación y Reconstrucción de las Carreteras de Pavimento Flexible ..	44
2.4.1. Conservación Vial	44
2.4.1.1. Mantenimiento Rutinario.	44
2.4.1.1.1. Bacheo.....	45
2.4.1.1.2. Sello y Relleno de Fisuras y Grietas.....	46
2.4.1.2. Mantenimiento Periódico.	49
2.4.1.2.1. Tratamientos Superficiales.	49
2.4.1.2.1.1. Fog Seal y Sand Seal (Sello de Niebla).....	52
2.4.1.2.1.2. Slurry Seal (Sello Lechada Asfáltica).	52
2.4.1.2.1.3. Scrub Seal (Sello Cepillado – Peinado).....	55
2.4.1.2.1.4. Micro-Surfacing (Microcarpetas).	56
2.4.1.2.1.5. Chip Seal (Tratamientos superficiales).	57
2.4.1.2.1.6. Cape Seal.....	60

2.4.1.3.	Rehabilitación Vial.....	61
2.4.1.3.1.	Sobrecapas.....	62
2.4.1.3.2.	Recarpeteo.....	62
2.4.1.3.3.	Reciclado.....	63
2.4.2.	Reconstrucción.....	63
2.5.	Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal.....	64
2.6.	Concepto de un Sistema.....	66
2.7.	Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP).....	67
2.7.1.	Requerimientos Esenciales de un SGP.....	69
2.7.2.	Involucrados del Sistema.....	70
2.7.2.1.	Cliente (Directo: Municipio e indirecto: la población).	71
2.7.2.2.	Patrocinador (Alcalde).	71
2.7.2.3.	Gerente o Director del Sistema.	71
2.7.2.4.	Miembros del Equipo (UTGV).	71
2.7.2.5.	Involucrados Indirectos.	71
2.7.3.	WBS (Work Breakdown Structure) o Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)	72
2.7.4.	Comunicación del Sistema.....	73
2.7.4.1.	Matriz de Comunicación.	73
2.7.5.	Base de Datos.....	73
2.7.5.1.	Inventario de Datos.	73
2.7.5.2.	Desempeño del Pavimento.	74
2.7.5.2.1.	Insumos para la Toma de Decisiones en el Desempeño de los Pavimentos.....	74
2.7.5.2.1.1.	Tránsito Promedio Diario (TPD).....	74
2.7.5.2.1.2.	Ejes Equivalentes (EEq).....	76
2.7.5.2.1.3.	Índice de Servicio de la AASHTO (PSI).....	76
2.7.5.2.1.4.	Índice Internacional de Rugosidad (IRI).	78
2.7.5.2.1.5.	Condición Estructural por Deflectometría de Impacto (FWD).	79
2.7.5.2.1.6.	Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	81
2.7.5.2.1.7.	Grip Number o Número de Adherencia (Capacidad Friccionante).....	83
2.7.5.3.	Tramos Homogéneos en Carreteras.	85
2.7.5.4.	Políticas de Decisión a Nivel de Red y Proyecto Vial (Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción (M.R.R.)).	86
2.7.5.5.	Estándares de Desempeño y Calidad.....	86
2.7.5.5.1.	Método Matricial.....	86
2.7.5.5.2.	Método Árbol de Decisiones.....	86

2.7.5.5.3.	Método de Ciclos de Vida.....	87
2.8.	Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE).....	88
2.9.	Sistema de Información Geográfico (SIG).....	88
2.10.	Propuesta de un SGP a través de un SIG.....	90
2.11.	Marco Legal Costarricense aplicado a la Gestión de Vías Cantonales	93
3.	CAPÍTULO III - MARCO METODOLÓGICO	103
3.1.	Tipo de Investigación	107
3.2.	Fuentes de Investigación	107
3.2.1.	Primarias.....	107
3.2.2.	Secundarias.....	109
3.2.3.	Terciarias.....	110
3.3.	Sujetos de Información.....	110
3.4.	Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	111
3.4.1.	Revisión Documental	111
3.4.2.	Revisión de Factores Sociales, Ambientales y Técnicos del Cantón de Heredia.....	111
3.4.3.	Proceso de Análisis de Jerarquía (PAJ) Analytic Hierarchy Process (AHP)	111
3.4.4.	Equipos de Laboratorio y Ensayos.....	116
3.4.4.1.	Contadores Neumáticos y Automáticos de Tránsito Vehicular (conocidos como contadores de manguera).....	117
3.4.4.2.	Perfilómetro Inercial Láser.....	117
3.4.4.3.	Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés).....	118
3.4.4.4.	GeoRadar 3D.....	119
3.4.5.	Incorporación del SIG	119
3.4.6.	Análisis del Tránsito, PCI y Notas de Calidad Jerárquica “J” (IRI-TPD).....	120
3.4.6.1.	Metodología I: Incluye Medición del IRI, TPD, PCI, Grip Number y FWD.....	120
3.4.6.1.1.	Método Matricial (MRR) de acuerdo con los Rangos IRI, Grip Number, PCI y Jerarquía Vial (Notas Jerárquicas “J”)......	121
3.4.6.1.2.	Metodología I: PCI utilizando Equipo de Laboratorio.....	126
3.4.6.2.	Metodología II: Incluye Método de PCI por Norma ASTM-D6433.....	126
3.4.6.2.1.	Metodología II PCI – ASTM-D6433 (de forma manual).....	127
3.4.6.2.1.1.	Unidades de Muestreo (UM).....	127
3.4.6.2.1.2.	Inspección en Sitio (Auscultación Visual).	128
3.4.6.2.1.3.	Determinación del PCI de las UM basado en Valores Deducidos.	128
3.4.6.2.1.4.	Segmentación de Tramos Homogéneos, Secciones de control.	130
3.4.7.	Análisis de Contenido	131

3.5.	Procesamiento y Análisis de Datos	131
3.5.1.	OE1.....	131
3.5.1.1.	Componente: Recursos Humanos. Elementos:.....	131
3.5.1.2.	Componente: Políticas del Sistema. Elementos:	131
3.5.1.3.	Componente: Parámetros de Desempeño. Elementos:.....	132
3.5.1.4.	Componente: Base de Datos. Elementos:.....	132
3.5.2.	OE2.....	132
3.5.2.1.	Matriz de Decisiones MRR (Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción).	133
3.5.3.	OE3.....	133
3.5.4.	OE4.....	133
4.	CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	134
4.1.	Componentes y Elementos del Sistema con sus Respective Funciones	134
4.1.1.	Recursos Humanos	134
4.1.1.1.	Involucrados y Enfoque.....	134
4.1.1.2.	Plantilla Resumen del Plan de Gestión de Recursos Humanos / Comunicaciones.	135
4.1.1.3.	Organigrama del Recurso Humano del SGP-SIG (Adjunto 1. A).....	140
4.1.1.4.	Pirámide para la Toma de Decisiones y Tipo de Reporte (Adjunto 1.B).	141
4.1.1.5.	Perfil de Involucrados, Roles y Responsabilidades (Adjunto 1. C).	142
4.1.1.6.	Matriz de Comunicación.	152
4.1.1.7.	Requisitos de Comunicación de los Involucrados.....	158
4.1.1.8.	EDT / WBS (Adjunto – 1D).....	162
4.1.2.	Políticas del SGP.....	165
4.1.2.1.	Políticas Generales.	165
4.1.2.2.	Políticas Ambientales.	170
4.1.2.3.	Políticas Sociales.....	175
4.1.2.4.	Políticas Técnicas.....	177
4.1.2.5.	Políticas Económicas.....	186
4.1.2.6.	Umbrales de Calidad.	189
4.1.2.7.	Estándares de Calidad.	200
4.1.2.8.	Criterios de Priorización.....	202
4.1.2.9.	Matriz MRR a Nivel de Red y Proyecto.	205
4.1.3.	Software SIG – Base de Datos	215
4.1.3.1.	Campos de Entrada o Lista de Atributos.....	215
4.1.3.2.	Campos de Salida.	215

4.1.3.3. Resultados de Laboratorio según Parámetros Técnicos Medidos: TPD, IRI, FWD y PCI.
227

4.1.3.4. Caso de Estudio – Ejemplo Aplicado de Gestión.....	244
5. CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	283
5.1. Conclusiones	283
5.2. Recomendaciones.....	286
6. CAPÍTULO VI – REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS	288
7. CAPÍTULO VII – APÉNDICES.....	290
7.1. Análisis PAJ de acuerdo con la metodología expuesta en la sección correspondiente.	290
7.2. Boletas de auscultación en sitio para caso de estudio: Calle San Isidro de Mercedes Norte. ...	301
8. CAPÍTULO VIII - ANEXOS.....	308
8.1. Datos meteorológicos utilizados para el proyecto.....	308
8.2. Datos de población del cantón de Heredia utilizados para el proyecto.	310
8.3. Constancia de defensa pública del proyecto de graduación	311

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inversiones en Pavimentos del Municipio de Heredia	30
Tabla 2. Alcances y Limitaciones	34
Tabla 3. Resumen de Aplicación de Sellos de Grietas y Fisuras	47
Tabla 4. Tratamientos superficiales solo con aplicación de asfalto	49
Tabla 5. Tipos de tratamientos superficiales con su emulsión típica	51
Tabla 6. Resumen de Aplicación de un Sello de Niebla (Fog Seal o Sand Seal).....	52
Tabla 7. Tipo de sello con respecto al tipo de granulometría en relación con el TPD o carga por m2	53
Tabla 8. Resumen de aplicación de un Sello de Lechada Asfáltica (Slurry Seal).....	55
Tabla 9. Resumen de aplicación de Scrub Seal (Sello Cepillado - Peinado)	56
Tabla 10. Resumen de aplicación de Microcarpetas (Micro-Surfacing).....	57
Tabla 11. Resumen de aplicación de un Tratamiento Superficial de gravilla (Chip Seal).....	60
Tabla 12. Resumen de aplicación de un Cape Seal.....	61
Tabla 13. Rangos de Clasificación de Jerarquía Vial de la RVC por TPD	75
Tabla 14. Clasificación del Pavimento de acuerdo con el PSI.....	77
Tabla 15. Nivel de importancia para cada distrito del cantón de Heredia.....	113
Tabla 16. Escala de importancia para la comparación de atributos.....	113
Tabla 17. Factores que intervienen en la toma de decisiones de intervención vial y razones de peso.....	113
Tabla 18. Matriz de comparación de componentes contra los factores objetivos	114
Tabla 19. La matriz de comparación con los valores de juicio de valor y se suma cada columna.....	115
Tabla 20. Matriz Normalizada y Resultado de la Importancia Relativa o Vector de Prioridades.....	116
Tabla 21. Rangos IRI y Categorías de las Notas Jerárquicas "J"	122
Tabla 22. Rangos Grip Number y Categorías de las Notas Jerárquicas "J"	122
Tabla 23. Rangos y Categorías de las Deflexiones (FWD) en Rutas Cantonales	126
Tabla 24. Plan de Gestión de Recursos Humanos / Comunicaciones del SGP	135
Tabla 25. Perfil de Involucrados, Roles y Responsabilidades.....	142
Tabla 26. Matriz de Comunicación RACI.....	153
Tabla 27. Requisitos de Comunicación de los Involucrados.....	158
Tabla 28. Proceso de Escalación de Comunicación de Situaciones del SGP.....	161
Tabla 29. Factores camión referentes a los del Peaje Autopista General Cañas, Ruta 1.....	169
Tabla 30. Resumen de factores ambientales por Distritos del Cantón de Heredia de acuerdo con el IMN	174
Tabla 31. Población por Distrito del Cantón de Heredia Según el INEC	176
Tabla 32. TPD por tipo de ruta y distrito del cantón de Heredia.....	183
Tabla 33. Cantidad de km de carretera por distrito del cantón de Heredia	183
Tabla 34. Cantidad de km por jerarquía vial y distrito del cantón de Heredia.....	184
Tabla 35. Usos de Suelo por Distrito del Cantón de Heredia.....	184
Tabla 36. Priorización de Inversión en Pavimentos destinada a cada Distrito.....	187
Tabla 37. Niveles de umbral de acuerdo con el tipo de deterioro	189
Tabla 38. Niveles de umbral aceptados de IRI y PCI en rutas primarias del cantón de Heredia	190
Tabla 39. Niveles de umbral aceptados de IRI y PCI en rutas secundarias del cantón de Heredia.....	190
Tabla 40. Niveles de umbral aceptados de IRI y PCI en rutas terciarias del cantón de Heredia.....	190
Tabla 41. Opciones de intervención de mantenimiento rutinario según tipo de rutas para el cantón de Heredia	191
Tabla 42. Opciones de intervención de mantenimiento periódico según tipo de rutas para el cantón de Heredia	192

Tabla 43. Opciones de intervención de rehabilitación menor según tipo de rutas para el cantón de Heredia	195
Tabla 44. Opciones de intervención de rehabilitación mayor según tipo de rutas para el cantón de Heredia	195
Tabla 45. Actividades de intervención de reconstrucción según tipo de rutas para el cantón de Heredia	196
Tabla 46. Tipos de deterioro con su posible causa y opciones de solución.....	197
Tabla 47. Vida útil teórica por tipo de intervención vial.....	199
Tabla 48. Estándares de Calidad para la Municipalidad de Heredia	200
Tabla 49. Matriz MRR	207
Tabla 50. Campos o Atributos de la base de datos del SGP-SIG.....	215
Tabla 51. Segregación de recursos económicos por distrito y nivel de gestión	245
Tabla 52. Tramos del cantón de Heredia en peores condiciones de acuerdo a los parámetros IRI y FWD	246
Tabla 53. Lista de intervenciones viales de diferente nivel para el cantón de Heredia	247
Tabla 54. Lista de intervenciones viales a nivel de red para el cantón de Heredia	249
Tabla 55. Lista de intervenciones viales a nivel de proyecto para el cantón de Heredia	249
Tabla 56. Mediciones de los deterioros encontrados en cada estación de UM	263
Tabla 57. Cálculo del PCI para Calle San Isidro de acuerdo con la Metodología II del SGP.....	264
Tabla 58. Cálculo del PCI para Calle San Isidro de acuerdo con la Metodología II del SGP.....	265
Tabla 59. Aceptabilidad de los resultados CBR.....	270
Tabla 60. Intervención única en unidades homogéneas 2 y 3 con rehabilitación mayor y nada en tramo 1	273
Tabla 61. Resumen de CAUE Escenario 1.....	274
Tabla 62. Intervención en Unidad Homogénea 2 con rehabilitación menor	274
Tabla 63. Resumen de CAUE de intervención en unidad homogénea 2 con rehabilitación menor	275
Tabla 64. Intervención en Unidad Homogénea 3 con rehabilitación mayor	275
Tabla 65. Resumen CAUE de intervención en unidad homogénea 3 con rehabilitación mayor.....	276
Tabla 66. CAUE total para tramos 2 y 3	277
Tabla 67. Segregación de Recursos para Distrito Mercedes	278
Tabla 68. Lista de 10 proyectos seleccionados de acuerdo con las políticas del SGP	279

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. El antes y después de la Avenida 0, Calle 2 del Cantón de Heredia	19
Ilustración 2. Mapa División Política del Cantón de Heredia Fuente: Municipalidad de Heredia (2019)..	20
Ilustración 3. Rutas cantonales de los distritos: Heredia, Mercedes, San Francisco y Ulloa Fuente: elaboración propia (2019).	21
Ilustración 4. Rutas cantonales del Distrito Vara Blanca Fuente: elaboración propia (2019).....	22
Ilustración 5. Organigrama 2019 de la Municipalidad de Heredia Fuente: Municipalidad de Heredia (2019).	23
Ilustración 6. Composición de la Junta Vial Fuente: elaboración propia (2019).	24
Ilustración 7. Clasificación del estado de carreteras según la Municipalidad de Heredia Fuente: UTGV Municipalidad de Heredia (2019).....	26
Ilustración 8. Historial de recursos de la Administración Municipal y Ley 8114 para Pavimentos Fuente: elaboración propia (2020).	30
Ilustración 9. Inversión total de la Municipalidad de Heredia en Pavimentos Fuente: elaboración propia (2020).	31
Ilustración 10. Ciclo de vida de un pavimento Fuente: Naciones Unidas, CEPAL (1994).....	41
Ilustración 11. Configuraciones de colocación de sellos Fuente: Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).....	48
Ilustración 12. Tipo de agregado para Sellos de Lechadas Asfálticas (Slurry Seal) Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019).....	54
Ilustración 13. TS-1 Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).	58
Ilustración 14. TS-2 Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).	58
Ilustración 15. Doble Invertido (TS-2). Sándwich (TS-3) Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).	59
Ilustración 16. TS-1 con geotextil de refuerzo Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).	59
Ilustración 17. Cape Seal Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).	60
Ilustración 18. Sello Cape Seal Fuente: Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras de la Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe. R (2019).....	62
Ilustración 19. Resumen de los tipos de intervención vial Fuente: elaboración propia (2019).	64
Ilustración 20. Esquema de proceso de gestión vial municipal Fuente: LanammeUCR (2017).	65
Ilustración 21. Modelo General de un Sistema Fuente: Solminihac, (1998).....	66
Ilustración 22. Estructura General de un SGP Fuente: Adaptado por LanammeUCR (2017), Tomado de Haas, 1993.	68
Ilustración 23. Estructura Por Nivel de un Sistema de Gestión de Pavimentos Fuente: elaboración propia (2019).	69
Ilustración 24. Involucrados de un Sistema Fuente: elaboración propia (2020).	70
Ilustración 25. Contadores Neumáticos de Tránsito Fuente: LanammeUCR (2017).	75
Ilustración 26. Interpretación de la conversión de ejes equivalentes (EEq) de 18kips (8200kg) Fuente: Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras de la Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe. R (2019).	76
Ilustración 27. Ciclo de vida y fases de un pavimento en función del PSI vrs tiempo o cargas Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).....	77

Ilustración 28. Representación física del IRI Fuente: LanammeUCR (2017).....	78
Ilustración 29. Perfilómetro Inercial Láser Fuente: LanammeUCR (2017).....	79
Ilustración 30. Categorización del IRI Fuente: LanammeUCR (2017).....	79
Ilustración 31. Representación del Equipo de Deflectometría de Impacto y Curva de Deflexiones en la Estructura de Pavimento Fuente: LanammeUCR (2017).....	80
Ilustración 32. Rangos de Clasificación de FWD para RVC de acuerdo con el TPD Fuente: LanammeUCR (2014).	81
Ilustración 33. Geo3D del LanammeUCR Fuente: LanammeUCR (2017).....	82
Ilustración 34. Clasificación del pavimento por PCI (Escala de Valores Deducidos) Fuente: Norma ASTM-6433-11, (2019).....	83
Ilustración 35. Grip Tester Fuente: LanammeUCR (2017).....	84
Ilustración 36. Clasificación del Pavimento Según el Grip Number Fuente: LanammeUCR (2017).	84
Ilustración 37. Propuesta por LanammeUCR para evaluar la lisura de un pavimento Fuente: LanammeUCR (2017).	85
Ilustración 38. Preguntas que responde un SGP a través de un SIG Fuente: Cruz, W., Pabón, C. (2016). Modificado por Rothe, R.....	91
Ilustración 39. Orden Jerárquico Legal de Costa Rica Fuente: Poder Judicial de Costa Rica (2019).....	94
Ilustración 40. Flujograma del proyecto de investigación Fuente: elaboración propia (2020).	104
Ilustración 41. Flujograma de Funcionamiento del SGP Propuesto Fuente: elaboración propia (2020). .	106
Ilustración 42. Contadores Neumáticos de Tránsito del LanammeUCR Fuente: LanammeUCR (2017). 117	
Ilustración 43. Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR Fuente: LanammeUCR (2017).	118
Ilustración 44. Visualización del procesamiento de datos para el cálculo del PCI Fuente: LanammeUCR (2017).	119
Ilustración 45. Composición de Nota "J" Fuente: elaboración propia (2020).	123
Ilustración 46. Tipos de Estrategia Según las Notas "J" Fuente: elaboración propia (2020).	125
Ilustración 47. Diagrama de flujo para el cálculo de las UM Fuente: elaboración propia (2020).....	127
Ilustración 48. Ejemplo de boleta de registro de campo para la evaluación de carreteras mediante metodología PCI Fuente: Vásquez, L. (2002). Modificado por Rothe, R. (2019).	128
Ilustración 49. Flujograma para el cálculo del PCI en una UM Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).	129
Ilustración 50. Gráfico de Valor Deducido de PCI para deterioro: Agrietamiento tipo "Piel de Cocodrilo" (Ejemplo) Fuente: Norma ASTM-D6433 (2019).....	130
Ilustración 51. Flujograma resumen para el cálculo del PCI en una UM Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).	130
Ilustración 52. Organigrama del Recurso Humano del SGP-SIG Fuente: elaboración propia (2020).	140
Ilustración 53. Pirámide para la toma de decisiones y tipo de reporte Fuente: elaboración propia (2020).	141
Ilustración 54. EDT o WBS del SGP-SIG Fuente: elaboración propia (2020).	164
Ilustración 55. Mapa de afloramientos de roca en el área de estudio Fuente: López (2019).	172
Ilustración 56. Mapa Geológico para la zona de estudio Fuente: López, D. 2019. Modificado de Denyer & Arias (1991), 1:50 000, Astorga (2007), escala 1: 40 000, Castro y de la Torre (2015).	173
Ilustración 57. Porcentaje de población por Distrito en Cantón de Heredia según el INEC (2019) Fuente: elaboración propia (2019).	176
Ilustración 58. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito Central de Heredia Fuente: LanammeUCR (2017).	178
Ilustración 59. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito San Francisco Fuente: LanammeUCR (2017).	179

Ilustración 60. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito Ulloa Fuente: LanammeUCR (2017).	180
Ilustración 61. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito Mercedes Fuente: LanammeUCR (2017).	181
Ilustración 62. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito de Vara Blanca Fuente: LanammeUCR (2017).	182
Ilustración 63. Mapa de Usos de Suelo del Cantón de Heredia Fuente: elaboración propia (2020).	185
Ilustración 64. Porcentajes de Inversión por Distrito Obtenidos del PAJ Fuente: elaboración propia (2020).	187
Ilustración 65. Esquema de Priorización Fuente: elaboración propia (2020).	204
Ilustración 66. Ejemplo de uso de Matriz MRR Fuente: elaboración propia (2020).	206
Ilustración 67. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	220
Ilustración 68. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	221
Ilustración 69. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	222
Ilustración 70. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	223
Ilustración 71. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	224
Ilustración 72. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	225
Ilustración 73. Base de datos del SGP a través del SIG Fuente: elaboración propia (2020).	226
Ilustración 74. IRI Promedio de Distrito Heredia Fuente: elaboración propia (2019).	229
Ilustración 75. PCI Promedio de Distrito Heredia Fuente: elaboración propia (2019).	230
Ilustración 76. IRI Promedio de Distrito Mercedes Fuente: elaboración propia (2019).	232
Ilustración 77. PCI Promedio de Distrito Mercedes Fuente: elaboración propia (2019).	233
Ilustración 78. IRI Promedio de Distrito San Francisco Fuente: elaboración propia (2019).	234
Ilustración 79. PCI Promedio de Distrito San Francisco Fuente: elaboración propia (2019).	235
Ilustración 80. IRI Promedio de Distrito Ulloa Fuente: elaboración propia (2019).	236
Ilustración 81. PCI Promedio de Distrito Ulloa Fuente: elaboración propia (2019).	237
Ilustración 82. IRI Promedio de Distrito Vara Blanca Fuente: elaboración propia (2019).	237
Ilustración 83. FWD Promedio de Distrito Heredia Fuente: elaboración propia (2020).	238
Ilustración 84. FWD de Distrito San Francisco Fuente: elaboración propia (2020).	240
Ilustración 85. FWD de Distrito Mercedes Fuente: elaboración propia (2020).	241
Ilustración 86. FWD de Distrito Ulloa Fuente: elaboración propia (2020).	242
Ilustración 87. FWD de Distrito Vara Blanca Fuente: elaboración propia (2020).	243
Ilustración 88. Dashboard del SGP-SIG del cantón de Heredia (Condición de la red con base a indicadores) Fuente: elaboración propia (2020).	244
Ilustración 89. Croquis de ubicación de Calle San Isidro – Mercedes Norte de Heredia. Fuente: Municipalidad de Heredia (2020).	252
Ilustración 90. Parches calle San Isidro.	254
Ilustración 91. Parches calle San Isidro.	254
Ilustración 92. Parches calle San Isidro.	255
Ilustración 93. Roderas Calle San Isidro	255
Ilustración 94. Roderas Calle San Isidro	256
Ilustración 95. Medición de roderas en Calle San Isidro.	256
Ilustración 96. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro	257
Ilustración 97. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro	257
Ilustración 98. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro	258
Ilustración 99. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro	258

Ilustración 100. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados en Calle San Isidro.....	259
Ilustración 101. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados en Calle San Isidro.....	259
Ilustración 102. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados en Calle San Isidro.....	260
Ilustración 103. Agrietamiento longitudinal en Calle San Isidro	261
Ilustración 104. Agrietamiento longitudinal en Calle San Isidro	261
Ilustración 105. Medición de agrietamiento longitudinal en Calle San Isidro	262
Ilustración 106. Resultado del PCI obtenido según escala y rangos de clasificación para Calle San Isidro Fuente: elaboración propia (2020).	266
Ilustración 107. Levantamiento del IRI en la red vial del Distrito Mercedes Norte Fuente: LanammeUCR (2017).	267
Ilustración 108. Levantamiento de Deflectometría FWD en la red vial del Distrito Mercedes Norte Fuente: LanammeUCR (2017).	267
Ilustración 109. Comparación IRI vrs FWD del mismo tramo T:23 (Calle San Isidro) Fuente: elaboración propia (2020).	268
Ilustración 110. Croquis de ubicación de ensayos DCP in-situ sobre tramo T:23 (Calle San Isidro) Fuente: TecnoSolum Consultores Geotécnicos (2019).	269

RESUMEN

Costa Rica es un país en vías de desarrollo donde cada día requiere de mayores inversiones en sus pavimentos para poder mantener y ampliar la red vial tanto nacional como cantonal, donde estos son los segundos más importantes de la red vial después de los puentes.

Es por esto que para los entes administradores de estos activos viales como el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y las municipalidades, es importante contar con herramientas que permitan mejorar el proceso de gestión de los recursos según el propósito de una carretera: maximizar la eficiencia de la industria, comercio y turismo; para mejorar la calidad de vida de la población al considerar los factores sociales, ambientales, económicos y técnicos en un proceso de toma de decisiones.

Actualmente, la Municipalidad de Heredia no aplica algunas técnicas de conservación vial existentes en el mercado que podría implementar. Esto genera que el municipio se vea comprometido en utilizar opciones de conservación y mantenimiento vial donde, tal vez, no son las opciones más óptimas, por lo que se incorporaron otras posibilidades para optimizar el rendimiento de los recursos y alargar la vida útil de los pavimentos flexibles de la mejor manera. Además, dentro de la Unidad Técnica de Gestión Vial falta un sistema que utilice una metodología con fundamentos y criterio ingenieril, donde mediante herramientas permita gestionar los pavimentos flexibles.

Se propuso utilizar dos metodologías que con una serie de herramientas trabajan de forma integral, donde a través de un Sistema de Información Geográfico (SIG) permiten gestionar la información de una forma más real y fácil para tomar decisiones ya que se encuentra georeferenciada con mapas, gráficos y tablas. Esto permite, de forma visual, la comprensión e interpretación de la información y analizar infinidad de escenarios y modelos para economizar y gestionar de forma proactiva y no reactiva.

ABSTRACT

Costa Rica is a developing country where every day requires greater investments in its pavements to be able to maintain and expand the roadway system, where these are the second most important in the road system after bridges.

This is why for Asset Management for the Road Sector such as the Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) and the different Municipalities, it is important to have tools that allow improving the resource management process according to the purpose of the road: to maximize the efficiency of their surrounded industry, commerce and tourism, as well as, to improve the quality of life of the population by considering social, environmental, economic, and technical factors that should prevail in a decision-making process.

Currently, the Municipality of Heredia does not apply some existing road maintenance techniques that it could implement. This means that the municipality is committed to using road conservation and maintenance alternatives where, perhaps, they are not the most optimal options, consequently other possibilities were incorporated to optimize the performance of the resources and extend the useful life of the flexible pavements in a suitable condition. In addition, within the Unidad de Gestión Vial there is no system that uses a methodology with engineering foundations and criteria, where tools allow managing flexible pavements.

This project uses two different methodologies that work comprehensively with a series of tools, where through a Geographic Information System (GIS) include gathering, managing, and analyzing data. This allows perceptively, the understanding and interpretation of the information and the analysis of countless scenarios and models to save and manage proactively and not reactively.

Key words: Road system management, road maintenance, flexible pavement management system, geographical information system, road conservation and maintenance alternatives.

1. CAPÍTULO I – GENERALIDADES DEL PROYECTO

A lo largo de la historia Heredia ha sido un cantón en vías de desarrollo donde sus carreteras se han administrado sin una herramienta que colabore a planificar inversiones en sus estructuras de pavimentos y, cada día, estos requieren de mayor inversión.

En de los siguientes apartados de este capítulo se explicará de donde nace la necesidad, la propuesta solución a través de un grupo de objetivos, alcances, limitaciones y herramientas de un Sistema de Información Geográfica que, de forma integral con los conceptos teóricos de administración de infraestructura vial, desarrollan un Sistema de Gestión de Pavimentos, el cual facilita múltiples procesos a la hora de tomar decisiones.

1.1. Antecedentes

Desde 1824 se le concedió a Heredia el título de ciudad y en 1848 la Constitución Política estableció los títulos de Provincia, Cantón y Distrito Parroquial. En la ley N° 36 del 7 de diciembre de 1848 le concedió a Heredia el título de cantón y le asignó 7 distritos parroquiales. Desde hace más de 170 años que se comenzaron las funciones de administración municipal e importantes inversiones en carreteras para desarrollar una red vial e ir desarrollando el cantón bajo la administración de la Municipalidad de Heredia. En la **Ilustración 1** se puede mostrar Heredia antiguo con Heredia actual:

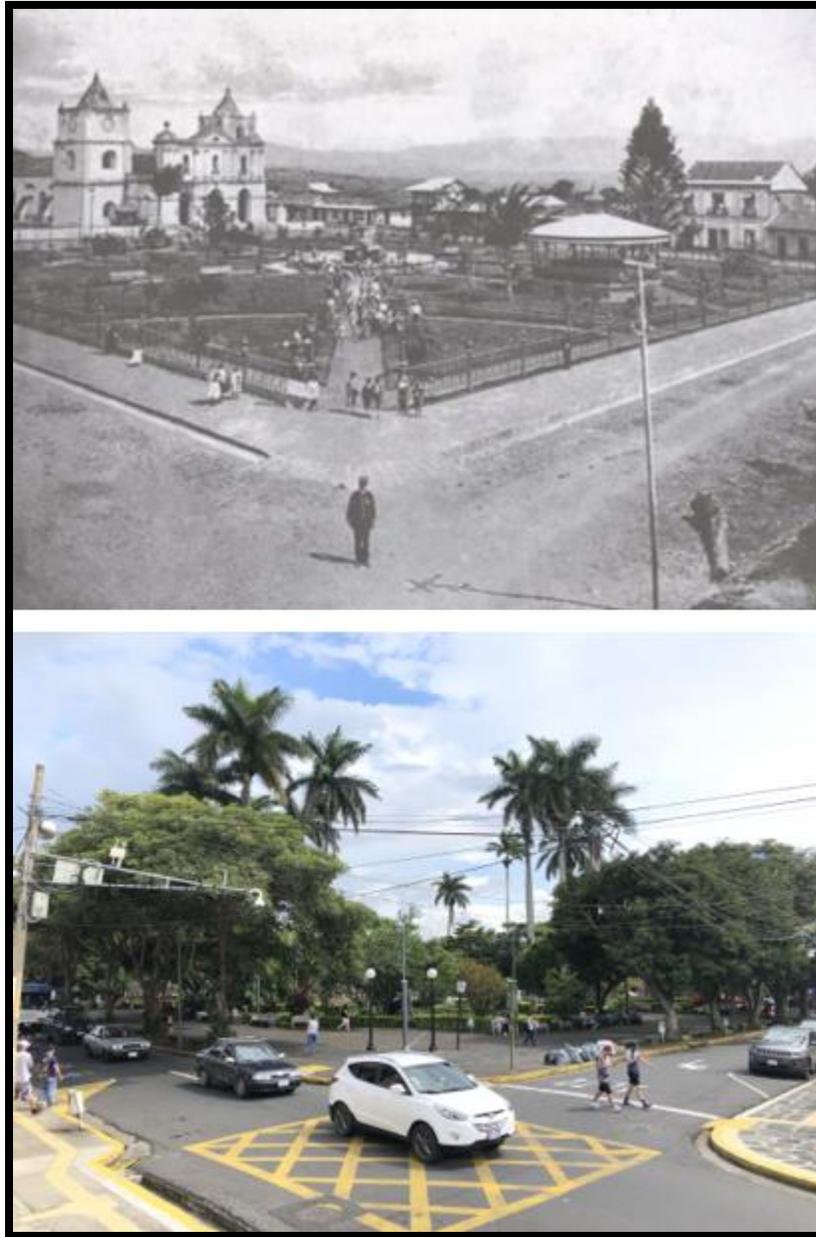


Ilustración 1. El antes y después de la Avenida 0, Calle 2 del Cantón de Heredia

Fuente: elaboración propia (2019).

El cantón se conforma de 5 distritos de los 7 totales que inicialmente le correspondieron ya que durante los años se hicieron modificaciones por decreto a la ley N° 36 dándole títulos de nuevos cantones a los segregados, cuyos barrios se convertían en nuevos distritos. Los distritos son Heredia, Mercedes, San Francisco, Ulloa y Vara Blanca (Ver **Ilustración 2**) entre los cuales suman un área total de 282.60km² y vive una población estimada de 141.683 habitantes (INEC, 2019).

Mapa División Política Administrativa, Cantón 01 Heredia

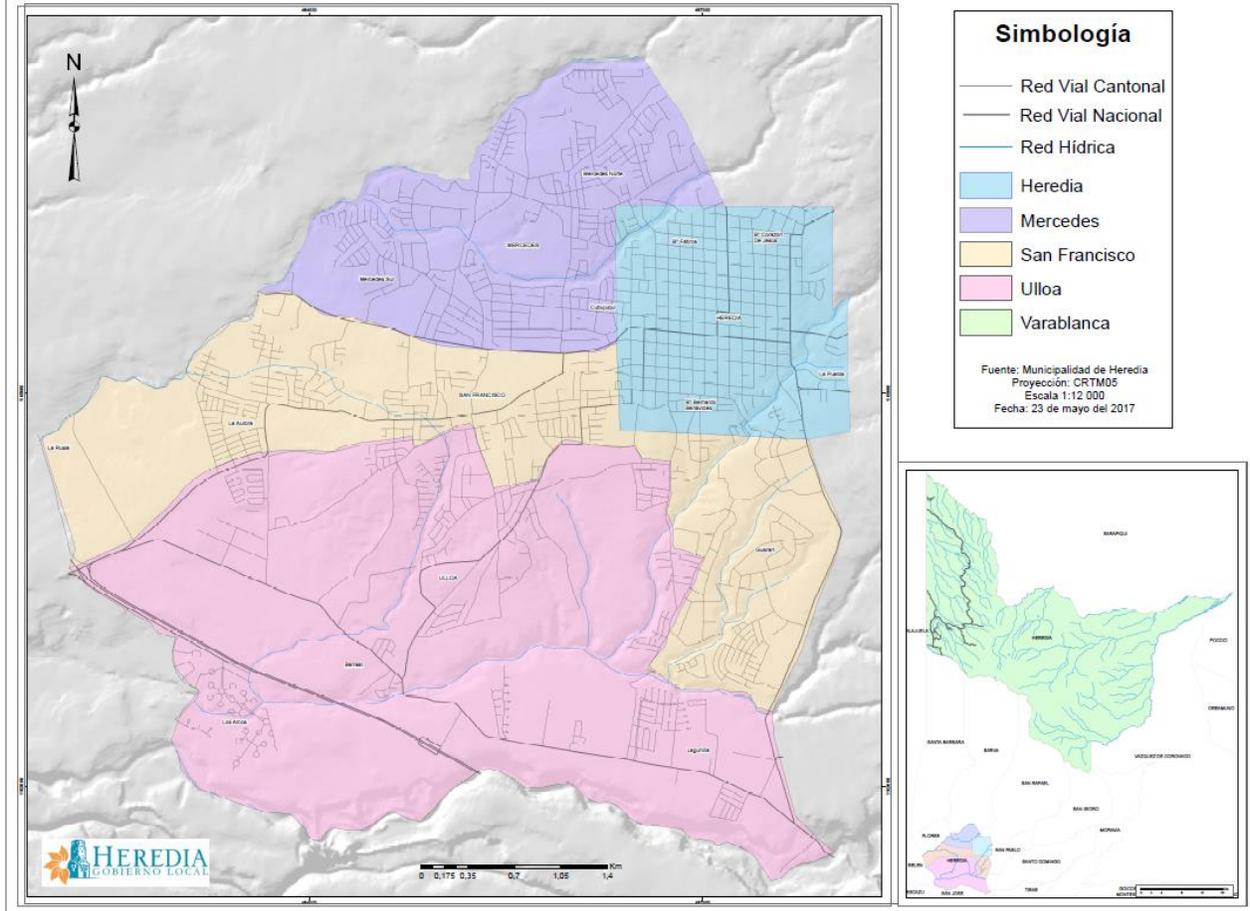


Ilustración 2. Mapa División Política del Cantón de Heredia
Fuente: Municipalidad de Heredia (2019).

La Municipalidad es definida por el Código Municipal en su artículo 1 como el ente “constituido por el conjunto de personas vecinas residentes en un mismo cantón, que promueven y administran sus propios intereses, por medio del gobierno municipal” (p.11). Este artículo coloca a la Municipalidad de Heredia como un ente que busca el consenso en temas de interés local, con retos orientados a ofrecer servicios públicos más eficaces, eficientes y efectivos ante la ciudadanía del cantón de Heredia.

Su misión es la siguiente:

“Somos un Gobierno Local que brinda servicios con eficacia, eficiencia y efectividad, para el mejoramiento de la calidad de vida de la población presente en el cantón”.

Su visión es la siguiente:

“Ser un Gobierno Local líder a nivel nacional, en la gestión social integral e inclusiva, que mejore la calidad de vida de la población presente en el cantón”.

Si se realiza un análisis de la definición de la municipalidad, su misión y visión, con un enfoque directo al área vial, se podría indicar que el municipio debe estar en constante mejoramiento de los procesos de gestión vial con el fin de optimizar la inversión de sus recursos. Esto da mejores condiciones a sus carreteras cantonales y garantiza una mejor calidad de vida a su población. Han pasado más de 170 años desde que se estableció Heredia como cantón y el tiempo ha hecho que su red vial haya ido aumentando por distintas necesidades. Hasta la fecha se cuenta con 237km de carretera cantonal pavimentada entre sus 5 distritos (Ver **Ilustración 3** e **Ilustración 4**).

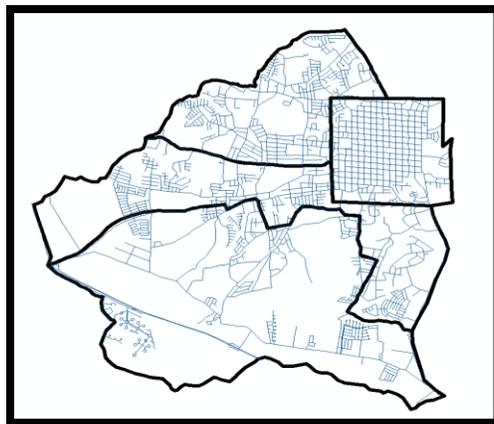


Ilustración 3. Rutas cantonales de los distritos: Heredia, Mercedes, San Francisco y Ulloa
Fuente: elaboración propia (2019).

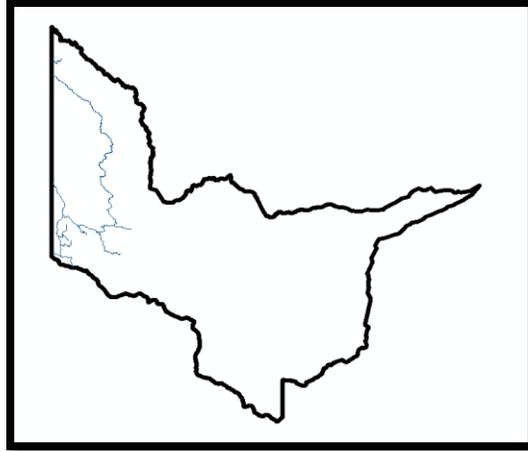


Ilustración 4. Rutas cantonales del Distrito Vara Blanca

Fuente: elaboración propia (2019).

Es importante mencionar que la gestión vial en las municipalidades de Costa Rica se basa en los principios de las leyes N° 5060, 8114 y 9329. Además, los Decretos Ejecutivos 40137 MOPT, 40138 MOPT y 40139 MOPT. Normativa que otorga responsabilidad a las municipalidades de administrar la red vial cantonal que corresponda de una forma participativa.

La Municipalidad de Heredia como ente encargado de las rutas cantonales dentro de los límites de su jurisdicción se compone de una estructura organizativa, la cual se puede observar en la **Ilustración 5**:

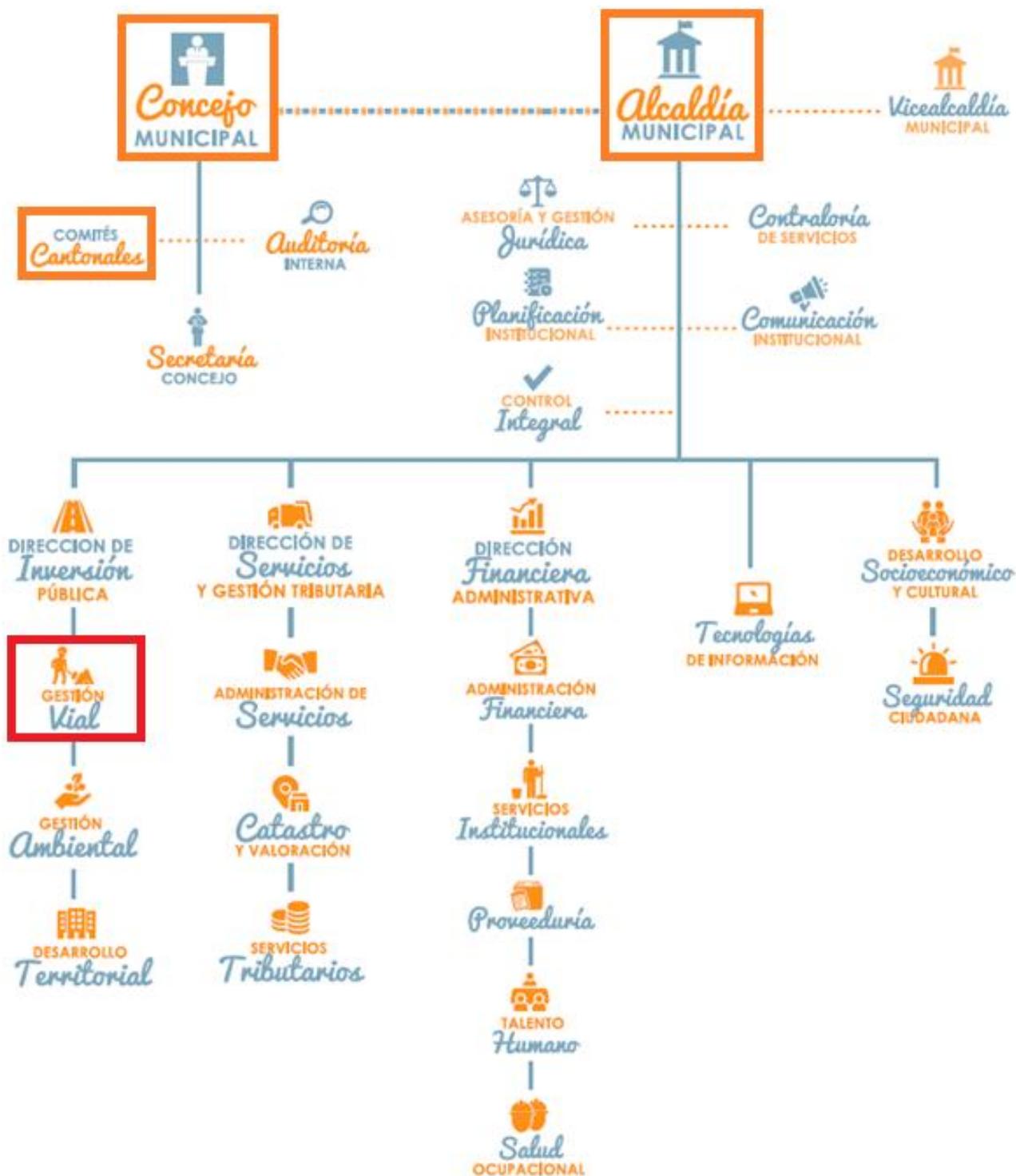


Ilustración 5. Organigrama 2019 de la Municipalidad de Heredia
 Fuente: Municipalidad de Heredia (2019).

En la figura anterior se encierran las partes y órganos de los cuales depende el Departamento de Gestión Vial. Ya que entre estos se forma por ley la Junta Vial para trabajar bajo modalidad participativa, esta junta está compuesta de la siguiente forma como se indica en la **Ilustración 6**:

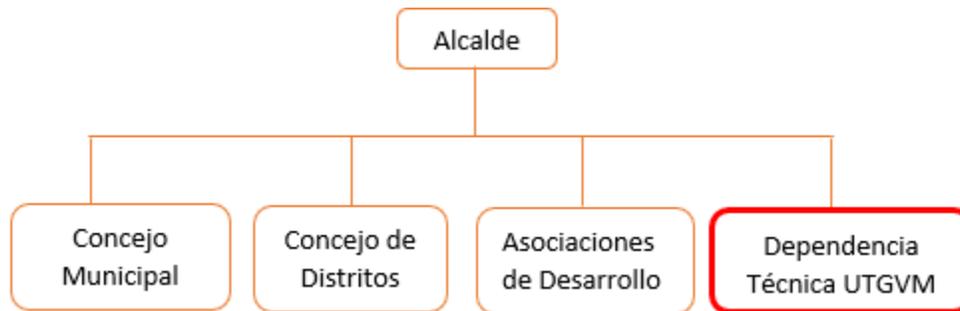


Ilustración 6. Composición de la Junta Vial

Fuente: elaboración propia (2019).

El Departamento de Gestión Vial, conocido como la Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGVM), es el departamento encargado de todas las funciones referentes a la gestión de carreteras cantonales. Este departamento trabaja bajo una modalidad participativa que requiere acompañar las obras técnicas con otros elementos como organización, capacitación, promoción y control social que motiven el interés de los usuarios, la cooperación y la solidaridad. Por estas razones debe tener una relación integrada con los órganos y partes mencionados en las figuras anteriores.

A continuación, se muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** con las funciones relacionadas del municipio herediano con respecto al proceso de gestión vial:

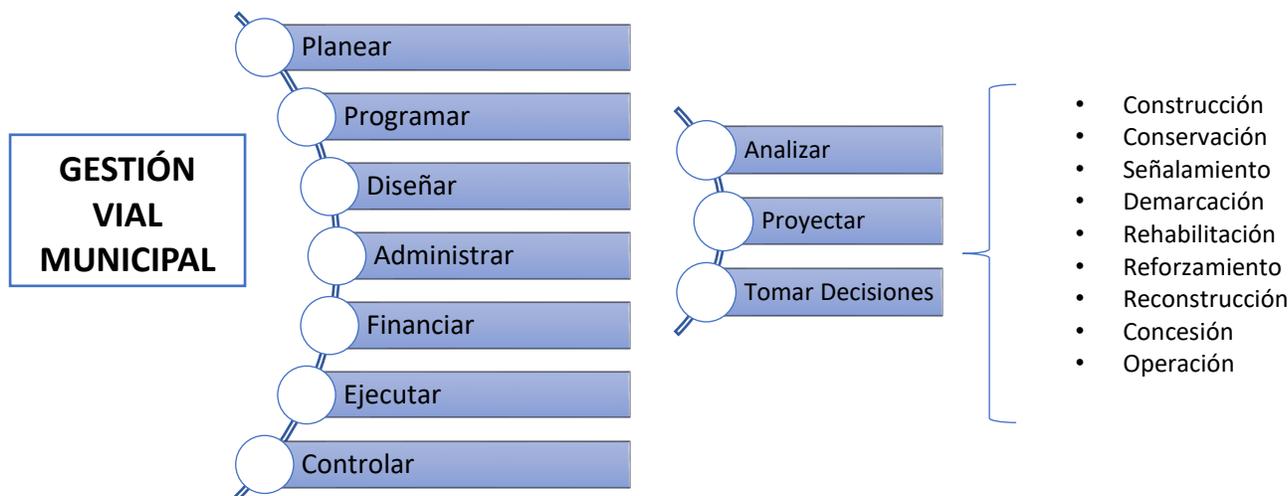


Ilustración 7. Funciones de la Gestión Vía Municipal
Fuente: elaboración propia (2019).

La Unidad Técnica de Gestión Vial Municipal (UTGVM), del municipio herediano, ha venido en los últimos 10 años realizando mejoras basándose en las políticas, los principios, la misión, visión y los valores institucionales, bajo el marco legal que lo ampara, modalidad participativa y aspectos técnicos con el fin de lograr obtener mejores procesos de gestión e ir desarrollando una base de datos cada vez más completa de los pavimentos de las rutas cantonales.

Las carreteras cantonales de Heredia se han construido a través del tiempo y no se cuenta con un registro histórico con información importante como fecha exacta de su construcción, diseños de los pavimentos, las inversiones y los trabajos realizados de mantenimiento en años anteriores hasta el 2011 que se comenzó a registrar en Excel las intervenciones realizadas. Sin embargo, los 237km de red vial pavimentada representan una gran inversión a través del tiempo. Mucho esfuerzo y trabajo; es el componente más importante del patrimonio vial para la ciudad, por lo que se deben cuidar.

Al igual que el resto de las municipalidades de este país, el gobierno local del cantón de Heredia nunca ha contado con un sistema que, mediante herramientas, permita almacenar información importante referente a sus carreteras, realimentarse y tomar decisiones de gestión de los pavimentos a través del tiempo como lo hace un Sistema de Gestión de Pavimentos. De forma que permita priorizar las inversiones con diferentes opciones de mantenimiento vial, criterios y parámetros técnicos que mejoren la calidad de las carreteras cantonales y optimicen el presupuesto. Esto ha generado que el municipio herediano corra el riesgo de estar

invirtiendo en pavimentos de una forma incorrecta, de manera reactiva (apaga incendios) y no proactiva (constantemente con sentido).

Hasta la fecha el municipio herediano maneja su red vial con una base de datos generada a través de programas de optimización como Excel, con los cuales se planifican inversiones focalizadas a corto (plan anual y quinquenal) y a mediano plazo (plan de desarrollo cantonal – 10 años) y se basan bajo criterios de juicio experto de quien realice la inspección visual donde se clasifica únicamente el estado de las carreteras según variable de condición de excelente, bueno, regular, malo y muy malo. Cada una de las categorías se clasifica según la descripción de la siguiente **Ilustración 7**:

1	Muy mal	Superficie muy deteriorada o irregular (material suelto) transito lento por las condiciones.
2	Mal	Superficie muy irregular con baches extensos y frecuentes, en casos material suelta y superficies no pavimentados.
3	Regular	Superficie con frecuentes baches o irregularidades que hacen a los choferes reducir la velocidad notablemente.
4	Bueno	Superficie generalmente lisa, pero con pequeñas corrugaciones o irregularidades aisladas.
5	Excelente	Superficie lisa, sin baches ni irregularidades notables.

Ilustración 7. Clasificación del estado de carreteras según la Municipalidad de Heredia
Fuente: UTGV Municipalidad de Heredia (2019).

Como se puede observar, se utiliza una metodología de juicio ingenieril basada en la metodología explícita de la sección “Estado de la Superficie de Ruedo” en la pág. (14) y “Estado General de la Red de Vías Públicas” en la pág. (35) del Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal de la Dirección de Planificación Sectorial Departamento Medios de Transporte del MOPT, por el Decreto N° 38578-MOPT-21-10-2014. Dicha metodología se basa en calificar el estado de la superficie de ruedo y drenaje con la escala anterior mencionada. El problema de esta evaluación y metodología es que el manual no exige mediciones de acuerdo con alguna metodología que utilice parámetros de desempeño como el PSI, FWD, IRI, PCI, entre otros utilizados para medir la condición funcional y estructural de los pavimentos, por lo que es mal implementada, ya que no se aplican los criterios empíricos o correlaciones respectivas como por ejemplo lo hace la metodología AASHTO, que realiza medición de rugosidad con la varianza de pendientes, área con agrietamientos, profundidad de roderas, área de baches y el respectivo cálculo del PSI con los modelos de regresión lineal para el tipo de pavimento que corresponda. El municipio simplemente valora el pavimento en cinco categorías sin hacer cálculos o

mediciones en las que se basa el método de la Guía de Diseño de AASHO (1962) o utilizando otros parámetros de desempeño conocido a nivel mundial. La Municipalidad de Heredia solamente realiza esto de acuerdo con el manual técnico del MOPT.

Esta base de datos está compuesta por el inventario de caminos aprobado por el MOPT, un diagnóstico vial realizado por el LanammeUCR e intervenciones viales registradas por la UTGV durante los últimos 8 años, informes del estado de la red vial cantonal a la Contraloría General de la República, bajo la clasificación indicada, los planes de gestión vial a nivel anual, quinquenal y de 10 años.

También, es importante mencionar que, actualmente, el municipio únicamente realiza algunas técnicas para el continuo mantenimiento de los pavimentos flexibles del cantón como recarpeteo, bacheo y sobrecapas, pero no cuenta con capacitaciones en el tema y otras opciones o alternativas de conservación vial.

1.2. Planteamiento del Problema

La Municipalidad del Cantón de Heredia no cuenta con una estructura de un sistema donde pueda gestionar sus pavimentos a nivel de red y proyecto de forma eficiente, ordenada e inteligente, que sea capaz de priorizar y planificar las inversiones de los recursos de la mejor manera a través del tiempo, en nivel operativo (corto plazo), táctico (mediano plazo) y estratégico (largo plazo). También que permita mantener el inventario de pavimentos de la red vial actualizado, monitorear la condición de estos, identificar necesidades, priorizar trabajos, comunicar necesidades, hacer proyecciones y realimentarse de forma continua. Además, que permita reflejar el estado y condición de los pavimentos, datos de inversión y ejecución presupuestaria de forma transparente a los interesados.

Para poder gestionar pavimentos se necesita saber ¿cómo están estos?, ¿en qué condición están?, ¿dónde están?, ¿cuánto miden?, ¿de qué tipo son?, etc. La falta de información en este país es muy común en muchos temas, en pavimentos no es la excepción. El municipio herediano no tiene un registro histórico de sus carreteras, por lo que se desconocen años de construcción, intervenciones del pasado hasta el 2011 que comenzó a registrar intervenciones viales en un programa de optimización como Excel. La preocupación de no saber con qué se cuenta en los pavimentos del cantón ocasiona problemas de decisiones ya que no se toman las mejores y se invierte de forma incorrecta o con la alternativa óptima. También, es difícil manejar inversiones de forma eficiente y mantener los pavimentos en buen estado si no se aplica una metodología formal donde se consideren los daños en los pavimentos, parámetros de desempeño, análisis y diseños de estos. El juicio ingenieril va de la mano de cálculos y mediciones de parámetros en sitio, por lo que carecer de estas actividades genera una mala toma de decisiones. A sabiendas de que la metodología

AASHTO (1993) es empírica y probabilística ya que tiene gran dispersión en los parámetros de diseño que influyen en la cantidad de cargas para alcanzar un nivel de servicio terminal, pero funciona para el diseño de pavimentos ya que está basada en estudios realizados en un tramo experimental con algunas restricciones, pero tiene fundamento técnico. En el municipio herediano no se aplica bien la clasificación del estado de los pavimentos, se hace sin mediciones y cálculos, por lo que se considera que no tiene fundamento técnico.

En el municipio no se utilizan parámetros con indicadores de desempeño que midan la condición de los pavimentos bajo criterios técnicos, científicos e ingenieriles. Lo que genera que se tomen decisiones donde no siempre son las más efectivas económicamente y tampoco se selecciona la técnica de conservación correcta o idónea para cada caso de estudio. Además, esa forma de evaluar carreteras está hecha para tomar decisiones focalizadas y sin herramientas que permitan facilitar la toma de decisiones, ya que de la forma que están siendo administrados los recursos no son analizando la red vial a nivel global, a través del tiempo y según prioridades de intervención de acuerdo con el estado de estas.

También, es difícil gestionar una red vial con poco recurso humanos y sin ayuda de equipos de laboratorio para estudiar y analizar los pavimentos de manera globalizada y focalizada. Los municipios de Costa Rica administran redes viales con UTGV que no dan abasto por lo que trabajan de forma reactiva, apagando incendios.

Se reitera que es importante mencionar que, actualmente, el municipio únicamente realiza algunas técnicas para el continuo mantenimiento de los pavimentos flexibles del cantón como recarpeteo, bacheo y sobrecapas, pero no cuenta con capacitaciones en el tema y otras opciones de conservación vial. La UTGV cuenta con pocos equipos para mantener la red cantonal que le corresponde y carece de equipos de laboratorio, por lo que trabaja bajo la modalidad de subcontratos para ejecutar obras mayores y de control de calidad. Las obras menores y focalizadas como bacheo sí las realiza directamente ya que sí cuenta con los recursos para hacerlo.

Durante el 2017 el municipio incorporó una plataforma SIG para mejorar sus procesos internos. Estos sistemas poseen muchas ventajas y herramientas que se pueden aprovechar para procesos de gestión donde la información real se georeferencia y se representa mediante mapas, gráficos y tablas. Además, se puede manipular desde cualquier dispositivo móvil como *tablets*, celulares o computadoras. Por estas razones se podría iniciar la recopilación de información importante a nivel de pavimentos al desarrollar una estructura de un SGP mediante una base de datos por medio de un SIG y se mejore el proceso de gestión.

También, es importante mencionar que, al no contar con herramientas para la toma de decisiones y un registro histórico de las características de los pavimentos del cantón, es complicado poder desarrollar metodologías mecanístico empíricas de diseño y análisis estructural de pavimentos por falta de información

y, por ende, complica la gestión de pavimentos a nivel de red y proyecto. Si se pudiera contar con SGP sería posible desarrollar, a futuro, modelos de desempeño de los pavimentos del cantón, sin embargo, la realidad actual es otra y no será posible si no se implementan políticas sociales, ambientales y técnicas, parámetros de desempeño y métodos que permitan analizar los pavimentos para mantenerlos, mejorarlos y diseñarlos de acuerdo con las condiciones del tránsito y ambientales (clima: temperatura y lluvias principalmente en Costa Rica).

Todas esas carencias se podrían mejorar si se implementara una estructura de un sistema para la gestión de pavimentos que por medio de herramientas que trabajen bajo criterios y parámetros técnicos, ambientales y sociales que ayuden a mejorar los procesos de gestión y tomar decisiones. Además, desarrollar un sistema de este tipo al ser pionero en las municipalidades de este país colaboraría al municipio en poder ir preparando un Sistema de Gestión de Activos, el cual comprendería aparte de los pavimentos otros elementos viales como: cordones de caño, cunetas, aceras, señales verticales y horizontales, obras de estabilización de taludes, sistemas de alcantarillado, mobiliario urbano, entre otras cosas que se encuentran dentro del derecho de vía público.

La causa de ser un país en vías de desarrollo y tener un atraso de muchísimos años en infraestructura vial ha reflejado problemas en la gestión vial que deberán ser resueltos a través del tiempo por las nuevas generaciones.

1.3. Justificación

La Municipalidad de Heredia cuenta con un presupuesto anual promedio para la gestión vial de ¢2.500.000.000,00 (dos mil quinientos millones de colones) y este crece año tras año. Este dinero se planifica e invierte en diferentes funciones de intervención vial (pavimentos, aceras, cordones de caño, sistemas de alcantarillado, señalización vial, obras de protección de taludes, mobiliario urbano y demás elementos del derecho de vía público) y actividades de la UTGVM como capacitaciones, alquileres, repuestos y mantenimiento de equipos, implementos de oficina, herramientas, entre otras cosas para sus funciones diarias.

De ese gran presupuesto, actualmente hay destinados ¢1.100.000.000,00 (mil cien millones de colones) para pavimentos. Donde estos son el elemento más importante del derecho de vía después de los puentes por su función, magnitud y costo se puede determinar que son prioridad a nivel de atención municipal dentro de la gestión vial. A continuación, se refleja en la **Tabla 1** las inversiones en pavimentos realizada por el municipio de Heredia en la última década y de acuerdo con sus presupuestos disponibles. Información

obtenida de la Dirección Financiera de la Municipalidad de Heredia e informes de labores del municipio de los años 2009-2019:

Tabla 1. *Inversiones en Pavimentos del Municipio de Heredia*

AÑO	LEY 8114	PRESUPUESTO MUNICIPAL	TOTAL
2009	₡146,301,240	₡752,829,468	₡899,130,708
2010	₡209,954,187	₡1,012,470,124	₡1,222,424,311
2011	₡146,568,007	₡1,524,568,007	₡1,671,136,014
2012	₡177,000,000	₡521,571,000	₡698,571,000
2013	₡175,729,328	₡580,060,985	₡755,790,313
2014	₡404,782,791	₡540,542,900	₡945,325,691
2015	₡596,569,665	₡667,466,975	₡1,264,036,640
2016	₡149,900,000	₡931,500,000	₡1,081,400,000
2017	₡585,873,119	₡600,000,000	₡1,185,873,119
2018	₡809,940,861	₡500,000,000	₡1,309,940,861
2019	₡716,000,000	₡431,000,000	₡1,147,000,000

Fuente: Municipalidad de Heredia (2019).

A continuación, en la **Ilustración 8**, se grafica el histórico de la cantidad de dinero invertido en pavimentos durante la última década entre la Ley 8114 y presupuesto municipal:



Ilustración 8. Historial de recursos de la Administración Municipal y Ley 8114 para Pavimentos
Fuente: elaboración propia (2020).

Como se puede observar en la ilustración anterior, el presupuesto municipal se mantuvo superior hasta el 2017 donde fueron casi iguales, pero ha venido teniendo una tendencia a la baja mientras que el presupuesto de la Ley 8114 ha venido creciendo con el paso de los años y actualmente es mayor que el destinado por el municipio de sus propios recursos. El juego de presupuestos se ha dado en que sí se incorporaron bastantes recursos por medio de la Ley 8114, entonces el municipio baja su presupuesto designado para pavimentos y viceversa en caso de que por ley ingresan pocos recursos donde el municipio asigna más presupuesto. Esto debido porque el presupuesto municipal se subdivide en distintas actividades y áreas de inversión, por lo que son sumamente importante saber administrarlos.

Además, en la **Ilustración 9** se puede observar la tendencia del gráfico de barras que muestra el crecimiento de los recursos a través del tiempo ya que cada día los pavimentos requieren de mayor intervención y existe mayor demanda.

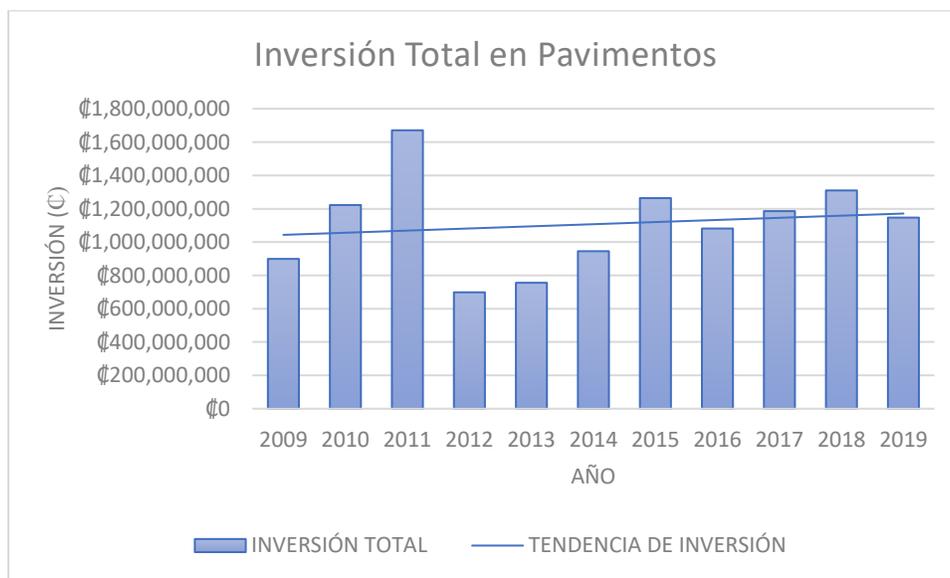


Ilustración 9. Inversión total de la Municipalidad de Heredia en Pavimentos
Fuente: elaboración propia (2020).

También, es importante resaltar de la **Tabla 1**, **Ilustración 8** e **Ilustración 9**, que en el 2011 el municipio herediano hizo la mayor inversión de recursos en pavimentos y obtuvo el primer lugar en el indicador referente a gestión vial en el Índice de Gestión Municipal (IGM), elaborado por la Contraloría General de la República. Posteriormente, al 2011 donde los pavimentos estaban en buenas o excelentes condiciones según el Índice de Gestión Municipal correspondiente a gestión vial de la Contraloría General de la República (CGR), las inversiones bajaron, pero han ido creciendo nuevamente porque estos exigen

mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto demuestra que si se invierten recursos en pavimentos la calidad de estos es óptima y provoca satisfacción a los usuarios, pero que, sin duda, se deben mantener a lo largo del tiempo porque si no, decaen, genera insatisfacción y grandes costos a través del tiempo.

En la Municipalidad de Heredia se han administrado los 237km de red vial cantonal que le corresponde de una forma reactiva y focalizada en los últimos años. No existen herramientas para poder gestionar de manera proactiva y que se basen en políticas, parámetros y criterios técnicos que faciliten y permitan tomar decisiones de conservación vial y reconstrucción de pavimentos a nivel de proyecto y red. Cumpliendo con el marco legal que ampara la administración de estos recursos y, por supuesto, enfocados en la misión, visión, políticas y valores institucionales. Todo esto se ha hecho de esta forma sin aplicar bien la clasificación del estado de los pavimentos ya que se hace sin mediciones y cálculos a través de parámetros de desempeño, por lo que se considera que no tiene fundamento técnico. No se aplica una metodología formal con fundamento técnico, lo que genera preocupación en la inversión de los recursos.

El municipio cuenta únicamente con planes a corto plazo (plan anual y quinquenal) y mediano plazo (plan de desarrollo – 10 años), sus propuestas quedan cortas para gestionar de forma estratégica una red vial ya que la vida de los pavimentos de acuerdo con una curva teórica de deterioro de estos, es más barato hacer inversiones en cortos y medianos plazos para evitar que se deterioren por completo, evitar que los costos aumenten por el deterioro y las inversiones sean millonarias para solucionar el estado en que se encuentran los pavimentos y que estos activos se pierdan.

Al no incluir criterios, parámetros, indicadores y políticas técnicas ingenieriles dentro de dichos planes, estos podrían verse afectados o rechazados por decisiones políticas en juntas viales y no se podría gestionar a largo plazo, ya que para poder gestionar a largo plazo se debe invertir bien desde un inicio, la priorización de las intervenciones se realiza de manera inteligente considerando un horizonte futuro.

Todo esto ha generado la preocupación de la UTGVM y ha obligado a pensar en estructurar un sistema que permita gestionar los pavimentos mediante herramientas que trabajen bajo criterios y parámetros técnicos que ayuden a mejorar los procesos y tomar decisiones para poder priorizar intervenciones viales de manera estratégica y con diferentes opciones de conservación vial para mejorar la condición de las carreteras cantonales y optimizar el presupuesto. Por supuesto, para esto se considera el uso de equipos de laboratorio por lo que se deben subcontratar o comprar. Actualmente, la idea es subcontratar porque comprarlo requiere una gran inversión representada por el costo del equipo, mantenimiento de este, contratación de personal técnico que lo manipule, etc., pero no se descarta a futuro y se puede valorar la compra de cierto equipo que colabore a evaluar la condición de la red vial del cantón.

La implementación de este sistema sería una herramienta para la toma de decisiones y, además, permitiría implementar a futuro métodos mecanístico empíricos para el diseño y análisis estructural de pavimentos. La implementación de este sistema se puede lograr bajo el hecho de que no existe un criterio político por encima de la Ley 9329 “Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal”, la cual fundamenta que es responsabilidad de las municipalidades gestionar las redes cantonales, tampoco un criterio político está por encima de un criterio técnico profesional fundamentado, por lo que un cambio de gobierno, o cualquier decisión política, sería considerada para evitar que no se dé la continuidad en el área de gestión de pavimentos a través de un sistema de gestión.

Por lo tanto, considerando las necesidades y que Costa Rica es un país en vías de desarrollado donde los recursos económicos son escasos y donde los municipios poseen poco personal técnico capacitado para evaluar las redes viales, se investigó acerca de soluciones que han implementado municipios de otros países similares a Costa Rica y se determinó que se puede proponer una estructura de un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) a través de un Sistema de Información Geográfico (SIG) apoyado de equipos de laboratorio que se utilizan para evaluar los pavimentos. Los SIG se han convertido en una forma muy práctica de manejar la información, esto porque se conoce su distribución y ubicación geográfica exacta, también porque brinda herramientas que, a través de criterios técnicos, facilitarían y permitirían satisfacer las necesidades con un costo bajo y una realidad alcanzable. Facilitarían los procesos de toma de decisiones y también permitirían implementar metodologías de diseño y análisis mecanístico, lo cual serviría para generar futuros modelos de desempeño de los pavimentos cantonales, esto genera un gran beneficio para el municipio.

La Municipalidad de Heredia posee una plataforma mediante un SIG y cuenta con una base de datos importante para poder estructurar e implementar el SGP que traerá beneficios a los pavimentos del cantón, la institución y población herediana.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Proponer herramientas para gestión de pavimentos flexibles a través de un Sistema de Información Geográfico para la Municipalidad de Heredia.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la estructura del SGP considerando la información disponible, componentes, elementos, políticas e involucrados para que a través de un SIG se puedan realizar procesos de gestión,
- Aplicar una metodología matricial que mediante parámetros técnicos se pueda gestionar a nivel de red vial a través del tiempo y que permita elegir una alternativa de solución de intervención vial,

- Priorizar intervenciones viales formando listas de proyectos, basándose en el nivel de deterioro del pavimento, políticas y recursos económicos,
- Incorporar otras técnicas o alternativas de intervención vial en la Municipalidad de Heredia basadas en los conceptos de conservación vial de los pavimentos flexibles que existen y actualmente no se aplican.

1.5. Alcances y Limitaciones

A continuación, se muestra la

Tabla 2 del proyecto:

Tabla 2. *Alcances y Limitaciones*

Alcances	Limitaciones
<p>Se desarrolló la fase de diseño del sistema con los requerimientos, componentes y elementos basándose en una metodología técnica ingenieril para facilitar la toma de decisiones y priorización de intervenciones viales a través de parámetros e indicadores de desempeño funcional y estructural de los pavimentos flexibles.</p>	<p>No se desarrolló la fase de implementación del sistema final ya que para esta etapa se necesita más tiempo de pruebas, análisis de resultados a través del tiempo, datos y programadores especialistas en computación para desarrollar modelos propios de desempeño para el sistema. Se desarrolló un ejemplo aplicado o caso de estudio con el fin de orientar la idea requerida del sistema a través del SIG. Los costos utilizados para este caso de estudio fueron tomados del de la Red Vial Cantonal II – MOPT-BID donde se promediaron varios costos unitarios ofertados por distintas empresas del mercado como MECO, Constructora Herrera, Constructora Dinaju y otras que licitaron para el programa. Sin embargo, esta propuesta no considera una lista de precios unitarios por tipo de intervención, pero se dan a nivel teórico algunos investigados (tratamientos superficiales).</p>
<p>Se obtuvo la propuesta del SGP a través del SIG municipal para los pavimentos flexibles al aplicar dos metodologías propuestas con indicadores de desempeño de pavimentos flexibles. Por medio de los datos suministrados por el LanammeUCR sobre el diagnóstico de la red vial cantonal donde a partir de una curva teórica de deterioro de los pavimentos a lo largo de su vida útil se pudo analizar la información para mejorar el proceso de gestión (tomar decisiones de alternativas de intervención, proyectar, presupuestar, controlar, etc.). Esta propuesta crea la iniciativa de genera una base de datos de las distintas condiciones de los pavimentos del cantón de Heredia donde, a futuro, será de gran</p>	<p>No existe un registro histórico de la condición los pavimentos de Heredia para poder generar curvas propias de deterioro de los pavimentos de Heredia o modelos de desempeño. Tampoco cuentan con los equipos de laboratorio necesarios para evaluar la red cantonal por lo que dependerá de futuros estudios que permitan generar la base de datos histórica y las futuras curvas propias de deterioro de los pavimentos flexibles del cantón de Heredia. El tema de costos quedó excluido del proyecto ya que no se cuenta con una lista de precios unitarios por tipo de intervención y se tendría que hacer un estudio de mercado fuera del alcance de este proyecto, pero sí se consideraron costos reales en el</p>

<p>utilidad para poder desarrollar modelos de desempeño.</p>	<p>caso de estudio realizado para demostrar que la propuesta del SGP-SIG funciona.</p>
<p>El SGP se pretende proponer para pavimentos flexibles ya que las rutas cantonales del cantón de Heredia son en este tipo.</p>	<p>No se incluyen pavimentos rígidos, semi-rígidos o caminos con pavimentos de lastre no clasificados. Tampoco se consideran puentes ya que estas estructuras tienen un comportamiento distinto y su gestión es diferente, se deben manejar aparte como un sistema de gestión de puentes.</p>
<p>El sistema solo contempla pavimentos flexibles, no se incluyeron otros elementos viales porque eso le corresponde a un Sistema de Gestión de Activos (SGA). Pero este SGP consideró la fase más importante que ocupa un SGA, los pavimentos ya que son los que requieren mayor inversión y cuidados por su alto costo.</p>	<p>No se desarrolló un SGA ya que para poder hacerlo se necesita desarrollar primero otros subsistemas que lo conforman porque un inventario vial está compuesto no solo por los pavimentos sino también por aceras, ciclovías, pasos, rutas peatonales, áreas verdes y de ornato, elementos de infraestructura de seguridad vial, el señalamiento vertical y horizontal, los puentes, túneles, estructuras de drenaje, retención y las obras geotécnicas o de otra naturaleza asociadas con los caminos ubicadas dentro del derecho de vía. La tarea de desarrollar un SGA requiere levantamiento de información para generar más bases de datos de los diferentes activos que forman el inventario vial. También requieren mucho tiempo, estudios, recursos humanos y mucha inversión económica por lo que se sale del alcance. La idea es que, a futuro, se logre llegar a obtener un SGA y con este SGP se siembra una semilla para lograr lo deseado.</p>
<p>Se recomendaron acciones de control a través del tiempo que el sistema debe contemplar para que por medio de un laboratorio se pueda estar diagnosticando el comportamiento de la red vial cantonal bajo los parámetros establecidos.</p>	<p>No se contempló un plan de control de calidad para la metodología implementada a través del sistema propuesto, únicamente se propusieron pruebas de laboratorio, ensayos a realizar bajo estándares de calidad para alimentar el sistema y generar un histórico en la base de datos.</p>
<p>El SGP incorporó una estructura de manera que permite tomar decisiones a nivel de proyecto y a nivel de red de forma eficiente. Además, creó la oportunidad de implementar, a futuro, métodos mecánico empíricos de diseño, modelos de desempeño y análisis estructural de los pavimentos del cantón. Estos métodos tienen la fortaleza de que permiten considerar esfuerzos, deformaciones y deflexiones lo que hace mejorar la calidad de los diseños y trabajos por ejecutar.</p>	<p>Estos temas de diseño mecánico empírico y análisis estructural de pavimentos no se incluyó en este proyecto porque se sale del alcance, pero es una oportunidad que permitirá desarrollar el SGP a futuro por lo que se menciona para facilitar la orientación de las capacidades que se pueden llegar a tener y además sirve para explicar los resultados como punto de referencia.</p>
<p>La propuesta del SGP tiene dos metodologías claras para su implementación las cuales dependen de los recursos disponibles para el uso de equipos de laboratorio (Metodología I – Clasificación</p>	<p>La Metodología I es la base del SGP propuesto y la II es una metodología auxiliar en caso de que por alguna razón externa no se pueda implementar la I y el SGP pueda seguir funcionando. Sin embargo,</p>

funcional mediante los rangos del parámetro IRI del pavimento de acuerdo a la jerarquía vial asignada por el TPD y también la clasificación funcional del pavimento utilizando los rangos PCI utilizando equipos de laboratorio) o auscultación visual (Metodología II – Basada en el cálculo del PCI por medio de la norma ASTM-D6433) la diferencia es que con la I se pueden calcular 3 parámetros y se ahorra tiempo y recurso humano para auscultación en campo. La segunda solamente se puede utilizar el parámetro del PCI y se hace manualmente lo que considera mucho tiempo y recurso humano. Por dichas razones la Metodología I es recomendable para gestionar a nivel de red y la II a nivel del proyecto.

El parámetro estructural FWD se utilizó y se utilizará únicamente a nivel proyecto y parcialmente a nivel de red para la toma de decisiones.

El *Grip Number* se menciona como un parámetro que utilizará el SGP en rutas primarias de mayores velocidades.

Estas metodologías se combinaron con la utilización de una escala de pesos de importancia por distrito cambiante a través del tiempo y resultado de un proceso de priorización y jerarquía conocido como (PAJ o ATH) mientras no exista un plan regulador, se aplicará este proceso cada 2 años para actualizar y controlar los resultados del sistema, el proceso se basa en obtener un porcentaje para calcular la inversión de recursos por distrito calculado mediante factores de análisis funcional del estado de las carreteras y políticas ambientales, sociales y económicas. En estas políticas se definen las fronteras para el funcionamiento del sistema mediante dicho proceso.

El SGP propuesto consideró varios parámetros de desempeño e indicadores como los son TPD, IRI, FWD y PCI.

en este proyecto solamente se explican dichas metodologías I y II, para efectos de entenderlas se hizo un caso de estudio aplicado.

A nivel de red no se juzgaron ni se juzgarán los pavimentos por la condición estructural ya que las rutas cantonales se deforman poco ante las cargas por su poco TPD y sus afectaciones se dan a nivel funcional, donde estas últimas son las condiciones por mantener en bueno o excelente estado por parte del municipio Herediano para mantener y alargar la vida útil de los pavimentos y generar una buena perspectiva visual y de confort a los usuarios. Tampoco se juzgaron las rutas primarias por la capacidad de fricción ya que no se midió este parámetro en el caso de estudio porque se salía del alcance del proyecto.

Al no existir un plan regulador en el cantón de Heredia impiden que los usos de suelo se definan por zonas definitivas y pueden estar en constante cambio por diversos factores impulsando desarrollo en otras zonas distintas a las que ya se han ido definiendo a través del tiempo sin control y por ende cambiando la importancia de las rutas cantonales, TPD y demás parámetros. Por esto su importancia ante este sistema propuesto ya que se podría definir zonas donde ya los usos de suelo quedarían establecidos y, por ende, la importancia de las rutas igual para maximizar la eficiencia de la industria, comercio y turismo del cantón.

Existen parámetros como PSI que se mencionaron con el fin de explicar de dónde nació la metodología aplicada por el municipio herediano y también los Ejes equivalentes (EEq) por la posibilidad que genera el SGP para implementar, a futuro, diseños mecánico empíricos. El PSI no se utilizó en este proyecto solo es referencia teórica. Los EEq se mencionan para que a futuro puedan ser utilizados para generar criterios de decisión de acuerdo con las políticas del sistema y de acuerdo con la información que brinde el laboratorio contratado.

Las técnicas de intervención vial para conservar carreteras que existen y no se aplicaban en el municipio herediano, se incorporaron, entre estos los sellos de grietas y algunos tratamientos superficiales.

El alcance de esta incorporación de técnicas de conservación en los que haceres del municipio dependerán de la incorporación de estos en un proceso de contratación para su implementación por lo que para este proyecto únicamente se consideraron como opciones que el SGP puede brindar y considerar para solventar problemas y gestionar las rutas cantonales en la actualidad.

Se consideraron únicamente algunos tratamientos superficiales para rutas cantonales de Heredia que si son empleados en Costa Rica porque cumplen con las condiciones y se adaptan las emulsiones, agregados y equipos que hay en el país. Las técnicas consideradas son los *Slurry Seal* y los *Chip Seal*.

Tal y como se indicó en la publicación especial de Tratamientos Superficiales como Alternativa en Rutas de Lastre hecha por PITRA LanammeUCR, (2017). Actualmente, para los tratamientos superficiales en Costa Rica solo se dispone de las emulsiones asfálticas CRS-1 y CSS-1h. Ante este panorama, el uso de estos se ve afectado, pues se requiere de emulsiones específicas tanto para realizar el riego de imprimación como para sujetar el agregado que constituye las capas del tratamiento. Además, la compatibilidad de los agregados con la emulsión es complicada ya que únicamente funcionan los agregados con signo opuesto a la emulsión asfáltica. Por último, se requiere de personal capacitado lo cual es poco atractivo para las empresas contratistas y máquinas especializadas.

Lo anterior deja por fuera de este trabajo la implementación en el SGP las técnicas internacionales como: *Cape Seal*, *Scrub Seal* y *Sand Seal*. Además, técnicas como Microcapa, y los *Fog Seals* que se mencionan en el CR-2010 pero no se aplican en la actualidad dentro de las fronteras de Costa Rica.

Estas técnicas únicamente se explicarán para mejor entendimiento de la materia y aumentar el nivel de conocimiento del lector. Además, para su futura implementación en caso que Costa Rica comience a elaborar otro tipo de emulsiones a través de la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE) u otra empresa y se puedan comenzar a desarrollar.

Fuente: elaboración propia (2019).

2. CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis Conceptual

La infraestructura vial tiene el propósito de maximizar la eficiencia de la industria, comercio y turismo para mejorar la calidad de vida de la población. Para poder garantizarlo, es importante considerar que los pavimentos tienen una vida útil de servicio por lo que se requiere una adecuada gestión y administración de estos.

El Gobierno Central de Costa Rica y sus gobiernos locales necesitan herramientas que permitan a través de la aplicación de políticas y criterios técnicos ingenieriles, tomar decisiones estratégicas que impliquen la selección oportuna de técnicas de conservación vial y reconstrucción que sean económicamente efectivas. Estas decisiones deben impedir el deterioro acelerado de las carreteras nacionales y cantonales, según compete.

La Ley 9329 (2015) llamada Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal indica en el artículo 2:

La atención de la red vial cantonal, de forma plena y exclusiva, será competencia de los gobiernos locales, a quienes les corresponderá planear, programar, diseñar, administrar, financiar, ejecutar y controlar su construcción, conservación, señalamiento, demarcación, rehabilitación, reforzamiento, reconstrucción, concesión y operación, de conformidad con el plan vial de conservación y desarrollo (quinquenal) de cada municipio. (p.1)

Lo subrayado en el párrafo anterior no es del texto original, sin embargo, resalta la gestión que le compete a un municipio en la red vial cantonal. A sabiendas de las funciones que les competen a las municipalidades de Costa Rica se determina la necesidad de que estas tengan herramientas que permitan facilitar el proceso de gestión de forma integral, lo cual conlleva a formar un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP).

También es importante mencionar que de acuerdo con la Ley 9329, los gobiernos locales deben tener un plan vial de conservación para atender las necesidades de los pavimentos, pero estos planes de conservación no son capaces de proyectar intervenciones viales en pavimentos de forma inteligente para conservar las carreteras en buen estado a través del tiempo, deja de lado un plan a largo plazo (al menos 20 años). Según Rodríguez (2017), es necesario realizar planes de inversión a largo plazo para eliminar el

efecto de incertidumbre en la inversión que se realiza... La planificación no solamente es ejecutar presupuestos; es asignarlo de la manera más idónea, maximizando los beneficios que se pueden obtener con el monto definido. Se necesita ESTRATEGIA en la Gestión de Pavimentos (p.26). La idea de estos planes es poder gestionar pavimentos de la forma correcta para que las inversiones sean inteligentes y con sentido, esto para evitar afectaciones por continuidad de políticas públicas, por cambios de gobierno o intereses políticos, ya que se puede perder la continuidad de un proceso de mantenimiento e inversión.

Actualmente las municipalidades de este país administran las vías cantonales de distintas formas guiadas, por lo que indican las leyes nacionales, pero no estandarizan procedimientos como la aplicación de manuales, herramientas, algunas no consideran parámetros de desempeño o no tienen definidos umbrales de decisión bajo parámetros técnicos. Lo principal es que muchas no están concebidas para apoyar labores de gestión a nivel de red, sino a un nivel más focalizados, lo que complica la toma de decisiones a nivel estratégico (largo plazo). Además, como un SGP utiliza herramientas de software y hardware para facilitar los procesos de gestión, requiere recursos humanos y económicos se resumen en costos elevados y esto dificulta la implementación en países en subdesarrollo. Esto implica que se deban buscar opciones económicas que estén al alcance de un gobierno local nacional, por lo que se pensó en utilizar un Sistema de Información Geográfico. Con este se pretende generar modelos que faciliten el proceso de gestión y ayuden en la toma de decisiones para intervenir pavimentos a través de metodologías basadas en parámetros y estándares de desempeño de estos y mediante el uso de tablas, gráficos y mapas que permitan, de forma visual, la comprensión de la información para los usuarios y facilite la gestión.

Para poder comprender los términos empleados en este documento, primero se presenta una definición que permita orientar al lector y mejorar la comprensión de la información, además, evitar interpretaciones distintas:

2.2. Concepto de Pavimento

De acuerdo con la Revista ARQHYS (2012), se llama pavimento a un conjunto de capas de material seleccionado conformado por diferentes granulometrías que reciben, en forma directa, las cargas del tránsito y las transmite a los estratos inferiores en forma disipada, esto para proporcionar una superficie de rodamiento que debe funcionar eficientemente.

Las capas de materiales de mayor capacidad de carga se deben colocar en las capas superiores debido a que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad.

Para su adecuado funcionamiento se necesitan cumplir con condiciones de ancho, pendientes longitudinales y transversales (trazo horizontal y vertical), adherencia adecuada entre el vehículo y el

pavimento aun en condiciones húmedas. Además, debe tener la resistencia a los esfuerzos destructivos del tránsito, cambios de temperatura y agua para evitar agrietamientos y fallas por deformación. También, es importante que los pavimentos cuenten con visibilidad y paisajismo para no provocar fatiga a los usuarios.

Existen 3 tipos de pavimentos: flexibles, rígidos y semi-rígidos.

Pavimentos flexibles: la estructura está conformada por una capa superior de material granular y materiales bituminosos o asfálticos. Abarcan pavimentos del tipo:

- Con superficies tratadas: tratamientos superficiales, *slurry seals* (Sello de Lechada Asfáltica), etc. (rutas con bajo tránsito),
- Con capas superficiales: mezcla asfáltica en caliente o en frío. (rutas con alto tránsito).

Bajo la capa superior, presentan una capa de material de algún tipo, ya sea base granular o asfáltica.

Estos pavimentos funcionan de manera que su estructura completa se flexiona. Tiene un costo inicial más bajo comparado con otros pavimentos. Requieren mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Su periodo de vida varía entre 10-25 años.

Pavimentos rígidos: la estructura está conformada por una losa superior de concreto hidráulico. Son pavimentos más robustos producto del alto módulo de elasticidad del concreto, pueden incorporar acero de refuerzo con el fin de reducir o eliminar las juntas. Tiene un costo inicial más alto comparado con otros pavimentos. Requiere mínimo mantenimiento y, comúnmente, este se realiza en las juntas de las losas. Su periodo de vida varía entre 20-40 años.

Pavimentos semi-rígidos: son estructuras combinadas, compuestos principalmente con una carpeta asfáltica, base estabilizada con cemento y subbase. Su vida útil es similar a la de los pavimentos flexibles.

*****Este trabajo se enfocará en la gestión de pavimentos flexibles ya que se desarrollará para la Municipalidad de Heredia donde su red vial cantonal es en este tipo de pavimento. Los pavimentos rígidos se encuentran en condominios (administración privada) o en rutas nacional (administración del MOPT-CONAVI).**

2.3. Ciclo de Vida de las Carreteras

Con el paso del tiempo y estudios de carreteras se ha determinado teóricamente el ciclo de vida que tienen a través de los años. Este ciclo consta de cuatro etapas que se pueden apreciar en la siguiente **Ilustración 10:**

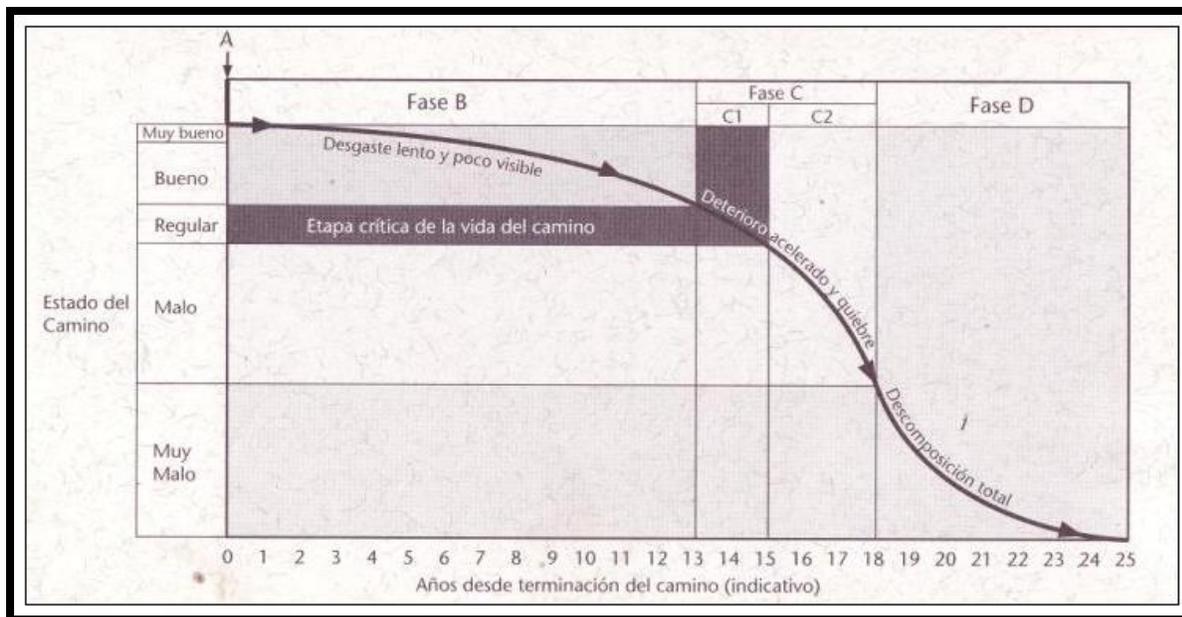


Ilustración 10. Ciclo de vida de un pavimento

Fuente: Naciones Unidas, CEPAL (1994).

A continuación, se describirán las etapas del ciclo de vida de un camino de acuerdo con lo indicado por la CEPAL, (1994). Sin embargo, es importante mencionar que la figura anterior muestra un ejemplo del comportamiento a lo largo del tiempo de un pavimento flexible, pero la idea del ciclo es igual para los demás pavimentos ya sea rígido, semi-rígido e inclusive caminos de lastre (independientemente de la superficie de rueda que se utilice).

2.3.1. Etapas del Ciclo de Vida de un Camino

De acuerdo con lo indicado por la CEPAL, (1994) las fases se describen a continuación:

2.3.1.1. Fase A: La Construcción.

Representa el inicio del ciclo de vida, el día uno que se realiza la apertura o inauguración del camino y se pone en servicio. Se le reconoce como un estado excelente, o muy bueno, ya que el proceso constructivo pudo haber sido muy sólido o con algunas deficiencias o contar con un diseño o una construcción deficiente, pero este no ha generado ningún deterioro porque no ha sufrido el paso del tránsito combinado con las condiciones climáticas.

En el momento de la apertura satisface al 100 % la necesidad del usuario por su condición.

2.3.1.2. Fase B: El Desgaste Lento y Poco Visible.

Una vez pasando el día uno (Fase A) inicia la Fase B durante los primeros años donde se da la carga de la carretera con el constante tránsito vehicular sobre esta y en combinación con condiciones climatológicas como: lluvia, cambios de temperatura, radiación solar, entre otros factores. Ocasionalmente ocasionan un desgaste y debilitamiento un poco lento que durante los primeros años se empieza a reflejar, principalmente en la capa de rodamiento, la estructura del pavimento lo sufre en un grado menor. La velocidad del desgaste también está relacionado a la calidad de la construcción del camino por factores como materiales constructivos, compactación, control de calidad, etc.

Para poder evitar y detener ese desgaste es necesario realizar frecuentemente labores de mantenimiento que ayuden a la conservación del camino como pueden ser:

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento periódico

En esta fase es difícil percibir el desgaste ya que el camino se encuentra en buen estado. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado, en el pleno sentido del término.

2.3.1.3. Fase C: Deterioro Acelerado y Falla “Quiebre”.

Después del paso de más años de uso de un camino, el pavimento, y otros elementos, están cada vez más desgastados, lo que origina que el camino entre un deterioro acelerado y con una resistencia mucho menor al tránsito que circula por él.

Al inicio de esta fase, la estructura básica del pavimento sigue intacta. Las fallas en la superficie son menores y el usuario común tiene la impresión de que el camino aún se mantiene bastante sólido; sin embargo, no es así (Véase el sector C1 de la figura anterior).

Conforme avanza la Fase C, se generan cada vez más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, que no es visible.

Estos daños comienzan siendo focalizados y luego se van extendiendo hasta que finalmente afectan la mayor parte del camino (Véase el sector C2 de la figura anterior).

La Fase C es relativamente corta, comprende un período de entre dos y cinco años. Una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada. En un esquema sano de conservación, la superficie del camino debe reforzarse al inicio de la fase C, período en el cual la condición del pavimento se torna crítica (Véase el sector C1 del gráfico). Los objetivos del refuerzo son los siguientes:

- Detener el deterioro acelerado del camino,
- Conservar intacta la estructura básica del pavimento existente,
- Asegurar la capacidad estructural del camino de modo que pueda ser apto para el tránsito durante otro período prolongado de tiempo.

En la Fase C (C1) normalmente basta con reforzar la superficie del camino.

Representa un costo relativamente bajo. En los caminos pavimentados con estructura flexible, el refuerzo suele hacerse mediante una sobre carpeta asfáltica de entre cuatro y ocho centímetros de espesor a un costo que puede alcanzar a alrededor de 10 % del valor original del camino.

Una vez realizado una reparación de reforzamiento, el camino vuelve a estar apto para su función y puede resistir al tránsito durante una buena cantidad de años más. Sin embargo, como al comienzo de la fase C las fallas no son detectables a simple vista y la marcha del vehículo no es muy incómoda, generalmente no se interviene en el momento preciso, por ello, el deterioro se agudiza.

Si se deja pasar el momento óptimo de intervención y se avanza en la Fase C (C2) se necesitan intervenciones más costosas como la rehabilitación, el simple refuerzo la superficie que pretende la Fase C1 ya no es suficiente.

Esto implicaría que primero se deban reparar los daños que se han producido en la estructura básica del camino, lo que significa demoler y levantar las partes dañadas, reemplazándolas por componentes nuevos; posteriormente se coloca el refuerzo sobre toda la superficie del camino. Cuanto más se atrase la intervención, mayores serán los daños y mayores también las reparaciones necesarias en la estructura básica del camino. Esto implica realizar una rehabilitación que contempla la combinación de reparaciones parciales en la estructura básica del camino con el refuerzo de su superficie. Al no intervenir en momento alguno durante la Fase C, el camino llega al punto de quiebre, es decir, se produce una falla generalizada, tanto del pavimento como de la estructura básica. Durante toda la Fase C, los vehículos siguen circulando y, aunque al principio lo hacen sin ningún problema, paulatinamente los usuarios van experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie: baches, grietas, depresiones y deformaciones.

De no intervenir el pavimento en la Fase C, el camino llega a un punto de quiebre, es decir, se produce una falla tanto en la superficie del pavimento como de la estructura de este. Al final de esta fase solo cabe reconstruir completamente el camino, a un costo que puede equivaler a entre 50 % y 80 % del valor de un camino completamente nuevo.

2.3.1.4. Fase D: Avanzado Nivel de Deterioro hasta la Descomposición Total.

Es la última etapa del ciclo de vida de un pavimento y puede durar varios años. Durante esta etapa lo primero que se observa es la pérdida de pavimento.

Para el caso de pavimentos flexibles, cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de capa asfáltica, hasta que al final termina siendo un camino de lastre y, a la larga, de tierra. Esto genera complicaciones a la hora de transitar disminuyendo la velocidad promedio de circulación, disminución de la capacidad de la carretera diseñada, daños mecánicos en los vehículos, entre otros problemas. Al final de la etapa ya el camino no será apto para el paso de vehículos livianos y otros tipos de vehículos podrían ir quedando fuera de servicio conforme el deterioro del camino aumenta (se hace intransitable) y la única solución que hay es reconstruir.

La idea de este SGP es mantener los pavimentos en la etapa B bajo estrategias técnicas y políticas.

2.4. Conceptos sobre la Conservación y Reconstrucción de las Carreteras de Pavimento Flexible

A continuación se mencionan los conceptos de distintas opciones de conservación y reconstrucción vial de acuerdo con el Manual MCV-2015 del MOPT:

2.4.1. Conservación Vial

Es el conjunto de actividades que permiten preservar continuamente de una forma sostenida el buen estado de las carreteras. Busca garantizar un óptimo servicio a los usuarios con el funcionamiento adecuado de una carretera o red vial al menor costo posible, lo cual permite costos razonables de operación de los vehículos, pero, sobre todo, se enfoca en evitar la pérdida innecesaria de capital ya invertido, mediante la protección física de la estructura básica y de la superficie del camino al evitar la destrucción de partes de la estructura de la carretera y la necesidad de una posterior rehabilitación o reconstrucción que aumentan los costos.

La conservación incluye actividades tales como el mantenimiento (rutinario y periódico), la rehabilitación y el refuerzo de la superficie, esto incluye el agregar capas adicionales sobre la carretera sin alterar la estructura existente. A continuación, se detallan dichas actividades:

2.4.1.1. Mantenimiento Rutinario.

Corresponde a las labores diarias de limpieza o reparaciones menores que se deben realizar durante todo el año para garantizar la operación de la vía en condiciones óptimas. Esta actividad contempla la reparación localizada de pequeños defectos en la calzada y el pavimento; nivelación de superficies sin pavimentar (sello y relleno de fisuras y grietas y bacheo); mantenimiento del sistema de drenaje, control del polvo, de la vegetación y nieve (en el caso de otros países); mantenimiento de los taludes laterales y obras

de contención o estabilización; demarcación vial, los dispositivos para control y seguridad del tránsito y otros elementos accesorios.

2.4.1.1.1. Bacheo.

Técnica de mantenimiento con mezcla asfáltica que tiene como objetivo extender el periodo de servicio del pavimento, mantener la calidad funcional del pavimento y se aplican cuando existen deterioros en pequeñas áreas por deformaciones, desprendimientos, grietas y huecos, por lo que colabora en reducir la tasa de deterioro. Esta técnica mejora la seguridad vial ya que reducen la irregularidad superficial y también se usa para preparar la superficie existente para que luego se pueda colocar una sobrecapa o tratamiento superficial.

Existen bacheos poco profundos con menos de 50mm y muy profundos mayores a 50mm. Existen varias técnicas para su implementación. A nivel superficial (poco profundos) son:

- Manual: se elimina la zona deteriorada más 30cm del pavimento en buen estado alrededor del área dañada,
- Mecanizado: utiliza equipos para tal efecto,
- Con tratamiento superficial: se aplica un nuevo tratamiento superficial similar al existente,
- Parche superficial: se coloca directamente sobre una capa de pavimento dañada y su espesor compactado debe ser mayor a 40mm.

A nivel profundos son:

- Con mezcla (en frío o caliente): considera reemplazo de base, subbase, riego de liga y mezcla,
- Con tratamiento superficial: considera remoción del tratamiento existente y capas granulares, su reposición y colocación de un nuevo tratamiento similar al existente.

Se debe considerar el costo, ya que mucho bacheo puede salir más caro que solucionar el deterioro con otro método, puede ser mejor remover toda el área de carpeta asfáltica deteriorada con un patrón generalizado y luego aplicar una sobrecapa, por ejemplo.

Existen dos tipos de mezcla asfáltica para efectuar esta técnica:

En frío:

- Usadas temporalmente o en rutas de poco tránsito,
- Almacenadas en apilamientos para ser empleadas a mediano plazo,
- Granulometría densa o abierta.

En caliente

- Colocadas inmediatamente mientras están calientes,
- Granulometría abierta.

A pesar de ser bastante usados, son técnicas que no corrigen las causas del deterioro, son de menor durabilidad que otras técnicas y puede no ser la apropiada para el tipo de deterioro.

2.4.1.1.2. Sello y Relleno de Fisuras y Grietas.

Técnica de mantenimiento que utiliza mayoritariamente materiales bituminosos que se suavizan al ser calentados y se endurecen al ser enfriados. Existen de aplicación en caliente y en frío.

De aplicación en caliente:

- Cemento asfáltico: en Costa Rica ha tenido poco éxito,
- Asfalto / caucho: muy usado (usa materiales más finos),
- Caucho / asfalto: estándar de la industria (más usado, usa materiales más gruesos),
- Asfalto con fibras: es poco usado,
- Breas asfálticas con PVC: es peligroso por su composición.

De aplicación en frío:

- Asfalto rebajado: tiene un desempeño pobre,
- Emulsión asfáltica: es susceptible a la temperatura y al desprendimiento.

El propósito de la técnica y aplicación consiste en impermeabilizar las juntas, fisuras y grietas para extender el periodo de servicio de un pavimento existente, ya que las grietas y fisuras permiten el ingreso de humedad y restos incompresibles (piedras de tamaño pequeño) que permiten la entrada de humedad en el pavimento. Determinando:

- Tendencia al daño por humedad,
- Reducción de resistencia y rigidez de las capas del pavimento, favoreciendo el agrietamiento.

Se utiliza para preparar un pavimento existente para la colocación de una sobrecapa. Se sellan grietas transversales, longitudinales, grietas que tienen movimiento por contracción y expansión y en otras que no tienen movimiento.

Es una técnica efectiva en costos como técnica de mantenimiento preventivo.

Existen dos diferentes técnicas:

- 1) Ruteo de grietas: para empleo en zonas fracturadas donde hay movimiento ante la carga (de al menos 2.5 mm de desplazamiento) se hace con el fin de acomodar suficiente material para sellar efectivamente la grieta.
- 2) Para empleo en zonas fracturadas donde no hay movimiento ante la carga (de menos de 2.5 mm de desplazamiento) se hace para reducir infiltración de agua y reforzar grietas adyacentes, generalmente se da en grietas longitudinales.

Para estos tipos primero se debe sellar y luego se rellena.

Esta técnica es recomendable su aplicación cada 2-3 años en fisuras y grietas.

A continuación, un resumen de la aplicación en la

Tabla 3:

Tabla 3. Resumen de Aplicación de Sellos de Grietas y Fisuras

Descripción	Elementos por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Previene ingreso de humedad, sellado de grietas con movimiento y llenado de grietas con poco movimiento	Todo tipo de clima pero funcionan mejor en clima seco.	No depende del TPD o % de pesados.	Funcional: fisuras longitudinales, en bloque leve y transversales. Estructural: Sin aporte, reduce ingreso de humedad.	Falla estructural (cuello de lagarto y ahuellamiento). Combinación severa con otros deterioros.
Restricciones del sitio	Ninguna			
Condiciones constructivas	Colocar en clima seco, sin lluvia ni humedad. Limpieza de fisuras para adherencia y durabilidad. Se puede usar aire comprimido caliente para limpiar.			
Vida útil esperada	2 a 6 años.			
Costos típicos	Sello de grietas 1-5\$/m y llenado de grietas 1\$/m			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

En la **Ilustración 11** se describe visualmente el tipo de sello:

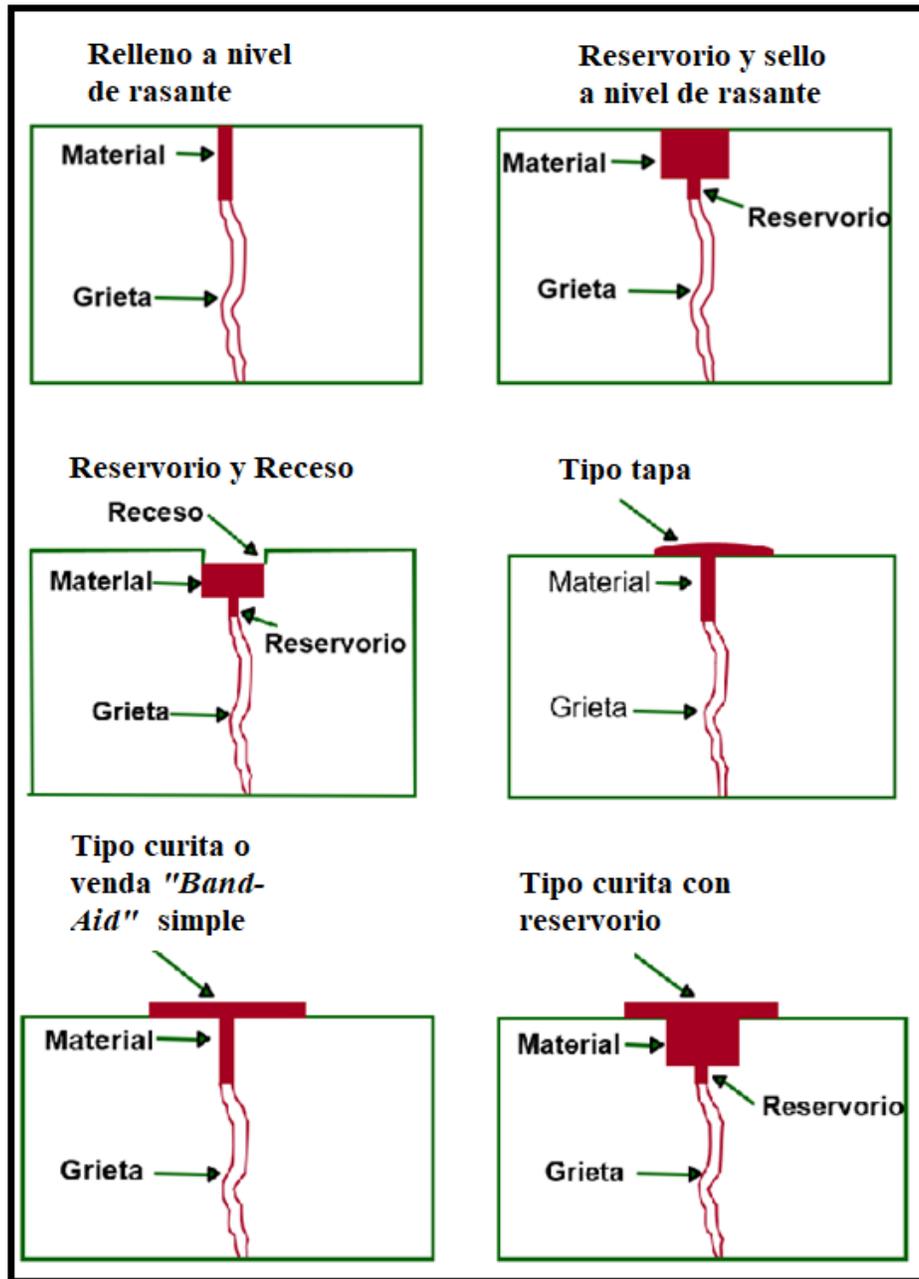


Ilustración 11. Configuraciones de colocación de sellos

Fuente: Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).

El reservorio debe ser mayor a 6mm con una profundidad de más de 20mm.

2.4.1.2. Mantenimiento Periódico.

Corresponde a las labores que se deben programar cada cierto tiempo. Pretenden renovar la condición original de la superficie de rodamiento mediante la aplicación de capas de lastre (para caminos de lastre) o tratamientos superficiales, de tal manera que no se vean afectadas las capas adyacentes de la estructura del pavimento.

2.4.1.2.1. Tratamientos Superficiales.

Es una actividad de conservación que se utiliza en caminos pavimentados para restablecer algunas características del pavimento a nivel funcional, sin formar un refuerzo estructural. Se aplica emulsión asfáltica, principalmente en combinación con agregados granulares. En caminos con pavimentos flexibles se busca mantener la durabilidad de la mezcla asfáltica y evitar que se originen fisuras y grietas. También mejorar la textura y asegurar una fricción adecuada entre el vehículo y el camino.

Desempeñan mejor en superficies de caminos con bajo volumen vehicular. Estos llegan a tener desde 1cm de espesor hasta 2.50cm dependiendo del tránsito, condiciones ambientales e importancia de la ruta.

Se aplican cuando el pavimento está en buen estado, quiere decir que alarga la vida útil del pavimento para que el deterioro no llegue a alcanzar el estado regular. Proveen una superficie regular de ruedo mejorando la capacidad friccionante y apariencia del pavimento existente y el drenaje superficial. Sellan grietas y fisuras ya que impermeabilizan la superficie, por lo que ayuda a amortiguar la tasa de deterioro y envejecimiento del pavimento. También son usados para delimitar la zona de rodamiento con el espaldón causando una delineación visual.

Existen dos clases de tratamientos, los simples y múltiples. La diferencia entre estos es el número de aplicaciones alternadas de asfalto y agregado. También existen tratamientos con solo aplicación de asfalto. A continuación, se mencionan en la siguiente **Tabla 4:**

Tabla 4. *Tratamientos superficiales solo con aplicación de asfalto*

Clase de tratamiento	Descripción
Riegos de imprimación	Aplicación inicial de emulsión asfáltica de baja viscosidad o asfalto diluido a una superficie absorbente. Se usa en la preparación de una base no tratada para recibir un riego asfáltico ligante modificándola o confiriéndole: impermeabilidad a la superficie, reducción de vacíos capilares, revestimiento y trabazón de partículas minerales sueltas, refuerzo y endurecimiento de la superficie y adhesión entre la base y la siguiente capa asfáltica.
Control de polvo	Consiste en la distribución de una emulsión asfáltica de rotura lenta o un asfalto diluido de baja viscosidad sobre una superficie no tratada. El asfalto y el diluyente penetran y

		cubren las partículas finas, mitigando temporalmente las molestias ocasionadas por el polvo.
Riegos de liga	de	Es una aplicación de ligera emulsión asfáltica sobre un pavimento existente que se utiliza para asegurar la adherencia entre la superficie asfáltica vieja y la capa nueva. Es delgado y cubre uniforme y totalmente el área por repavimentar.
Riego de neblina	de	Consiste en una aplicación muy ligera de emulsión asfáltica diluida de quiebre lento. Se emplea para renovar pavimentos asfálticos envejecidos y cerrar pequeñas grietas y huecos superficiales. Son especialmente útiles para pavimentos sometidos a un volumen de tránsito ligero. Este tipo de tratamiento también puede emplearse para sellar huecos superficiales de mezclas asfálticas nuevas hechas en planta y evitar la producción de polvo en los tratamientos superficiales después de distribuido el agregado pétreo en zonas densamente pobladas, mejorando la retención de las partículas y dando al conjunto un color oscuro uniforme.
Riego asfáltica		Es una mezcla de agregado fino bien graduado, material de relleno (<i>filler</i>) y en caso de ser necesario una emulsión asfáltica y agua distribuida sobre un pavimento, como tratamiento superficial. Se usa en el mantenimiento correctivo y preventivo de calzadas asfálticas. No aumenta la resistencia estructural del pavimento. Las lechadas asfálticas son efectivas cuando se aplican a superficies de pavimentos envejecidos. Sellan fisuras superficiales, detiene desprendimientos de agregados, impermeabilizan al agua y aire las superficies de textura abierta y mejoran la resistencia al deslizamiento. Su aplicación oportuna ayuda a reducir los peligros causados por la oxidación de asfalto y el agrietamiento.

Fuente: Solminihac, H; Echaveguren, N; Chamorro, A. (2019). Modificado por Rothe, R. (2020).

La emulsión asfáltica al ser colocada origina un rompimiento, el agua se evapora y se queda el asfalto.

Existen emulsiones se clasifican de dos formas:

Por el tipo de agregado a la que es afín:

- Catiónicas para la mayoría de los agregados
- Aniónicas para agregados calizos

Por su rompimiento:

- MS: rompimiento medio (*Medium-Setting*). (Para utilizar con agregado grueso)
- SS: rompimiento lento (*Slow-Setting*). (Para utilizar con agregado fino)
- QS: rompimiento controlado (*Quick-Setting*). (Para utilizar con agregado fino)
- RS: rompimiento rápido (*Rapid-Setting*). (Para utilizar con agregado grueso y fino)

Se representan por sufijos:

- Sufijo “1”: cuando la viscosidad Saybolt Furol 50°C =10 s- 100s
- Sufijo “2”: cuando la viscosidad Saybolt Furol 50°C =100 s- 400s
- H: Base asfáltica dura (*hard*)
- S: Base asfáltica suave (*soft*)

- P: Modificada con polímero
- L: Modificada con látex
- HF: Alta flotabilidad, permite trabajar en un mayor rango de temperatura

Tal y como se indica en la publicación especial de Tratamientos Superficiales como Alternativa en Rutas de Lastre hecha por PITRA LanammeUCR, (2017), actualmente, para los tratamientos superficiales en Costa Rica, solo se dispone de las emulsiones asfálticas CRS-1 y CSS-1h. Ante este panorama, el uso de estos se ve afectado pues se requiere de emulsiones específicas, tanto para realizar el riego de imprimación como para sujetar el agregado que constituye las capas del tratamiento. Además, la compatibilidad de los agregados con la emulsión es complicada ya que únicamente funcionan los agregados con signo opuesto a la emulsión asfáltica. Por último, se requiere de personal capacitado, lo cual es poco atractivo para las empresas contratistas y máquinas especializadas.

En este y trabajo se mencionarán diferentes tipos de T.S., pero, únicamente, se considerarán las técnicas de *Slurry Seal* y los *Chip Seals* para el SGP propuesto, las cuales si son empleadas en este país por que se adaptan a las condiciones indicadas en el párrafo anterior.

A continuación, se muestra la

Tabla 5 con los tipos de tratamientos superficiales y su emulsión típica:

Tabla 5. Tipos de tratamientos superficiales con su emulsión típica

Tipo de tratamiento superficial	Emulsión típica
<i>Fog Seal</i> - Sello de Niebla	SS-1, SS-1H, CSS-1, CSS-1h
<i>Sand Seal</i> - Sello de Arena	CRS-1, CRS-2, RS-1, RS-2, MS-1, HFMS-1
<i>Slurry Seal</i> - Sello de Lechada	CQS-1, CSS-1H, QS-1h, SS-1h
Microcapa	CSS-1h (modificada con polímero)
<i>Chip Seal</i> - Tratamiento Superficial Simple TS-1	CRS-2, RS-2
<i>Chip Seal</i> - Tratamiento Superficial Doble TS-2	CRS-2, RS-2, HFRS-2
<i>Chip Seal</i> - Tratamiento Superficial Doble Invertido	CRS-2, RS-2, HFRS-2
<i>Chip Seal</i> - Tratamiento Superficial Triple o "Sándwich"	RS-2, CRS-2, HFRS-2 (con polímeros)
<i>Cape Seal</i> - Sello del Cabo	CQS-1, CSS-1H, QS-1h, SS-1h, RS-2, CRS-2h

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).

A continuación, se explican varios tipos de tratamientos con sellos superficiales:

2.4.1.2.1.1. Fog Seal y Sand Seal (Sello de Niebla).

Se refiere a una leve aplicación de asfalto diluido o emulsificador (rompimiento lento) con arena (*Sand Seal*) o sin arena (*Fog Seal*) sobre la capa de ruedo, esto permite sellar vacíos superficiales para reducir el desprendimiento de agregados o mejorar la apariencia.

A continuación, un resumen de los sellos de niebla en la **Tabla 6**:

Tabla 6. Resumen de Aplicación de un Sello de Niebla (*Fog Seal* o *Sand Seal*)

Descripción	Elementos por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Aplicación leve de emulsión asfáltica sin agregado colocada directamente sobre la superficie del pavimento.	Todo tipo de clima. Desempeño varía según humedad y tránsito.	TPD < ilimitado (sin arena), TPD < 400 con Base Granular (con arena), TPD < 2000 con Base Estabilizada (con arena). Altos niveles reducen durabilidad.	Funcional: Fisuras longitudinales, transversales y en bloque. Desnudamiento, desprendimiento y envejecimiento. Estructural: Sin aporte.	Falla estructural (cuero de lagarto y ahuellamiento), exudación (Moderado) y agrietamiento térmico (Alto)
Restricciones del sitio	No apto cuando hay reducida resistencia al deslizamiento ya que este la disminuye más.			
Condiciones constructivas	Se usa emulsión de rompimiento lento. Requiere cierre de carretera de al menos dos horas para curado adecuado.			
Vida útil esperada	1-3 años (sin arena) y 2-6 años (con arena).			
Costos típicos	0,36-0,54 \$/m2 de pavimento			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

2.4.1.2.1.2. Slurry Seal (Sello Lechada Asfáltica).

Consisten en una mezcla de agregado fino bien graduado, relleno mineral, emulsión asfáltica (rompimiento lento “SS” o acelerado “QS” y agua).

La apertura del tránsito varía entre 1 a 3 horas en clima caliente y hasta 10 horas en clima frío. Esta técnica utiliza el mismo equipo que la técnica de micro carpetas (*micro-surfacing*), la diferencia es que se cambia la plancha de distribución.

Hay tres tipos de sellos donde lo que varía es la granulometría del agregado y los contenidos de emulsión:

- Tipo 1: finas, comúnmente se usa para parqueos. Entre 13%-18% de emulsión,
- Tipo 2: medio, comúnmente de uso general en caminos municipales. Entre 12 %-16 % de emulsión,
- Tipo 3: gruesas, autopistas y aeropuertos. Entre 10 %-15 % de emulsión.

A continuación se resume la aplicación del tipo de sello en la siguiente **Tabla 7** con respecto al TPD o carga:

Tabla 7. Tipo de sello con respecto al tipo de granulometría en relación con el TPD o carga por m²

Tipo de granulometría	Localización	Tasa de aplicación sugerida	TPD
Tipo I	Áreas de parqueo, calles urbanas y residenciales, Pistas de aeropuertos.	4,3-6,5kg/m ² (8-12 lb/yd ²)	<200
Tipo II	Calles urbanas y residenciales, pistas de aeropuertos	6,5-10,8kg/m ² (12-20 lb/yd ²)	<1000
Tipo III	Autopistas primarias e interestatales	9,8-16,3kg/m ² (10-30 lb/yd ²)	<5000

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).

En la **Ilustración 12** se observan los tipos de granulometría de uso en lechadas asfálticas:



*Ilustración 12. Tipo de agregado para Sellos de Lechadas Asfálticas (Slurry Seal)
Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019).*

En la **Tabla 8** se detalla la aplicación del *Slurry Seal*:

Tabla 8. Resumen de aplicación de un Sello de Lechada Asfáltica (Slurry Seal)

Descripción	Elementos por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Mezcla de agregado bien graduado (arena fina y relleno mineral) emulsión asfáltica que se coloca en la superficie con el esparcidor.	Todo tipo de clima. Desempeño mejor en clima seco y con bajos cambios de temperatura.	TPD < 200, TPD < 1000, TPD < 5000. Altos niveles reducen durabilidad.	Funcional: Fisuras longitudinales, transversales y en bloque. Desnudamiento, desprendimiento y envejecimiento. Estructural: Sin aporte. Relleno de roderas.	Falla estructural (cuero de lagarto y ahuellamiento). Acelera desnudamiento y agrietamiento térmico (Alto)
Restricciones del sitio	Cierres para curado del sello			
Condiciones constructivas	Superficie debe estar limpia. Agregados limpios, angulares bien graduados, uniforme y se debe evitar colocar a altas temperaturas. No se debe colocar en bajas temperaturas.			
Vida útil esperada	3-8 años (promedio 5 años) en un esquema de preservación			
Costos típicos	0,84-1,14 \$/m2 de pavimento			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

2.4.1.2.1.3. Scrub Seal (Sello Cepillado – Peinado).

Es un sello de preservación que se utiliza para superficies asfálticas. Está compuesto por cuatro capas:

- 1) Riego cepillado de emulsión asfáltica modificada con polímero.
- 2) Riego de arena y agregado fino.
- 3) Segunda capa de emulsión asfáltica modificada con polímero cepillada.
- 4) La ola de emulsión se da en función del agrietamiento de la superficie.

No se requiere sellado de grietas previo y se utiliza compactación neumática.

En la **Tabla 9** se muestra un resumen del *Scrub Seal*:

Tabla 9. Resumen de aplicación de *Scrub Seal* (Sello Cepillado - Peinado)

Descripción	Elementos por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Rejuvenece, sella fisuras y rellena vacíos.	Todo tipo de clima. Desempeño mejor en climas calientes y áridos.	TPD < 7500.	Funcional: Fisuras longitudinales, transversales y en bloque. Desnudamiento, desprendimiento y envejecimiento. Estructural: Sin aporte. Reduce ingreso de humedad.	Falla estructural (cuero de lagarto y ahuellamiento), agrietamiento térmico (Alto)
Restricciones del sitio	No aplicar en superficies selladas.			
Condiciones constructivas	Superficie debe estar limpia. Se utiliza equipo especializado para el cepillado.			
Vida útil esperada	1-3 años en un esquema de preservación			
Costos típicos	0,90-1,49 \$/m2 de pavimento			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

2.4.1.2.1.4. *Micro-Surfacing (Microcarpetas)*.

Es similar al *Slurry Seal* a diferencia de la plancha de la máquina y que esta técnica utiliza emulsión asfáltica modificada con polímeros (3 %) y agregados de mayor tamaño y durabilidad.

Permite colocar espesores entre 9mm-16mm (1.00cm-1.50cm).

En la **Tabla 10** se muestra un resumen del *Scrub Seal*:

Tabla 10. Resumen de aplicación de Microcarpetas (Micro-Surfacing)

Descripción	Elementos por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Mezcla de emulsión modificada con polímero, agregado mineral, agua y otros aditivos. Usado para inhibir desprendimientos y oxidación del pavimento. Rellena irregularidades pequeñas.	Todo tipo de clima. Desempeña mejor en climas secos con temperaturas poco cambiantes. Podría no curarse rápido en climas fríos.	TPD = ilimitado. Muy exitoso en caminos de bajo volumen y alto tránsito.	Funcional: Fisuras longitudinales, transversales y en bloque. Desnudamiento, desprendimiento, exudación (baja-media) y rugosidad (baja). Estructural: Sin aporte. Reduce ingreso de humedad.	Falla estructural (cuero de lagarto y ahuellamiento), Deterioro excesivo y puede acelerar desnudamiento. Agrietamiento térmico (Alto).
Restricciones del sitio	Ninguna			
Condiciones constructivas	Evitar colocar en climas muy calientes, puede generar exudación. Colocación en clima frío puede provocar desprendimientos.			
Vida útil esperada	4-7 años en un esquema de preservación			
Costos típicos	1,05-2,00 \$/m2 de pavimento			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

2.4.1.2.1.5. Chip Seal (Tratamientos superficiales).

Es una aplicación de emulsión seguida de una aplicación de agregado que es incrustado con compactación neumática. Se puede aplicar en varias capas (simple, doble o triple) y su espesor varía entre los 19mm-25mm (2.00cm – 2.50cm).

Funcionan como capa superficial de ruedo temporal en caminos de bajo y alto volumen de tránsito. Da resistencia a desplazamiento e impermeabiliza el pavimento.

Se pueden colocar sobre bases estabilizadas o capas de rodamiento asfáltica con un moderado deterioro.

Tipos:

- Simple (TS-1)

Se utiliza para pavimentos de bajo nivel de tráfico (TPDA < 2000). La vida útil ronda entre los 3-7 años y consiste en un riego de un ligante asfáltico seguido de una capa de agregado. Se utiliza para corregir desprendimiento en la superficie y oxidación de pavimentos. Además, provee una superficie impermeable y resistente al deslizamiento (Ver **Ilustración 13**):



Ilustración 13. TS-1

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).

- Doble (TS-2)

Se utiliza en rutas con muchas pendientes y para pavimentos de bajo nivel de tráfico (TPDA < 2000) con una vida útil de 4-8 años. Consiste en un riego de liga, agregado uniforme y una segunda aplicación de riego de liga de medio tamaño del agregado y un agregado de tamaño pequeño finalmente para sellar.

Provoca menos ruido de tráfico, es más robusto que el TS-1, más resistente a la humedad y al desgaste. (Ver **Ilustración 14**).

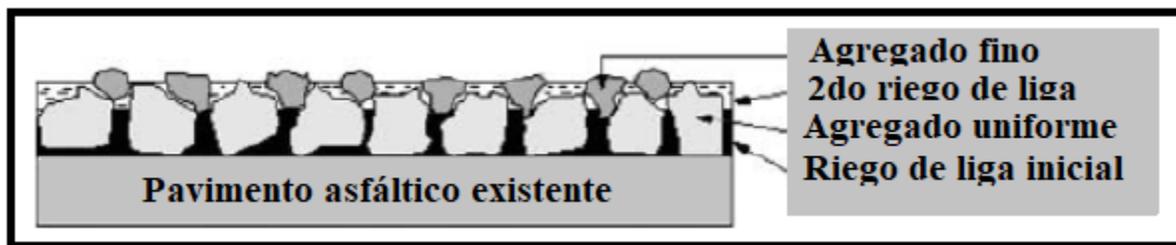


Ilustración 14. TS-2

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).

- Doble Invertido (TS-2)

Es utilizado para corregir exudación del pavimento. Se utiliza para pavimentos de bajo nivel de tráfico (TPDA < 2000) con una vida útil de 4-8 años. Consiste en un tratamiento TS-2 invertido. Por lo que sería: riego de liga, agregado de tamaño pequeño y una segunda aplicación de riego de liga de medio tamaño del agregado y un agregado uniforme.

- Tipo “Sándwich” (TS-3)

Se utiliza en superficies con desprendimientos. Se utiliza para pavimentos de bajo nivel de tráfico (TPDA < 2000) con una vida útil de 4-8 años. Consiste en la aplicación de liga, agregado grueso y última capa de agregado fino (Ver **Ilustración 15**):

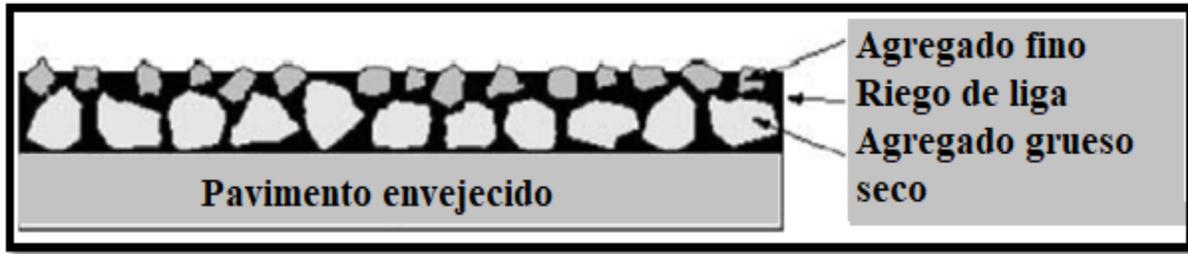


Ilustración 15. Doble Invertido (TS-2). Sándwich (TS-3)
Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019).
Modificado por Rothe, R. (2019).

En los tratamientos dobles, triple y *sándwich* son menos probable que haya defectos. En algunos casos se aplican geotextiles de refuerzo con el fin evitar infiltración del agua en el pavimento o cuando las superficies están muy dañadas por oxidación y agrietamiento (Ver **Ilustración 16**).



Ilustración 16. TS-1 con geotextil de refuerzo
Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019).
Modificado por Rothe, R. (2019).

En la **Tabla 11** se resume la aplicación de un *Chip Seal*:

Tabla 11. Resumen de aplicación de un Tratamiento Superficial de gravilla (*Chip Seal*)

Descripción	Elementos por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Emulsión asfáltica aplicada sobre superficie. Capa de agregado compactado. Tratamiento sella y mejora fricción.	Todo tipo de clima.	TPD < 2000. Pueden funcionar bien en rutas de alto tránsito con buen diseño.	Funcional: Fisuras longitudinales, transversales y en bloque. Desnudamiento, desprendimiento, exudación. Estructural: Sin aporte. Efectivo sellando grietas por fatiga.	Falla estructural (cuero de lagarto y ahuellamiento), acelerado desnudamiento. Agrietamiento térmico (Alto)
Restricciones del sitio	Se suelen evitar rutas de alto tránsito y velocidad.			
Condiciones constructivas	Superficie debe estar limpia y colocar en clima seco.			
Vida útil esperada	3-7 años TS-1 y 4-8 años TS-2 o TS-3			
Costos típicos	0,90-1,98 \$/m ² TS-1 y 1,32-1,49 \$/m ² TS-2			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

Es importante mencionar que existe escases de maquinaria, esto hace que el uso de tratamientos superficiales sea limitado.

2.4.1.2.1.6. *Cape Seal*.

Son sellos combinados, generalmente un *Chip Seal* con un *Slurry Seal* o micropavimento. Fue desarrollado en Sudáfrica. Consiste en la aplicación de un sello simple de agregado entre los 13mm-19mm (1.50-2.00cm) de tamaño máximo con un riego de emulsión y un sello *Slurry Seal* o una microcapa. Si se utiliza el agregado máximo de 19mm en *Chip Seal*, el *Slurry* se debe aplicar en dos capas (Ver Ilustración 17):

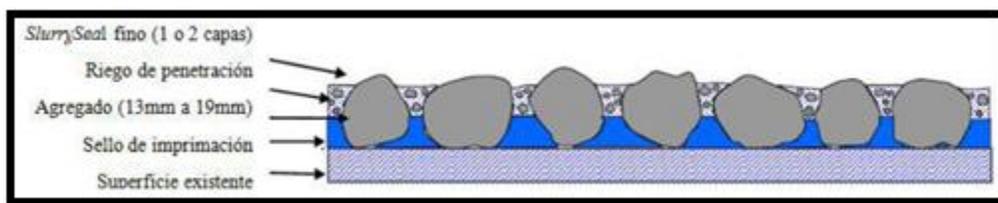


Ilustración 17. Cape Seal

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC (2019). Modificado por Rothe, R. (2019).

En la **Tabla 12** se muestra un resumen del *Cape Seal*:

Tabla 12. Resumen de aplicación de un *Cape Seal*

Descripción	Elemento por evaluar			
	Clima	Tránsito	Condición	Contraindicaciones
Desarrollado en Sudáfrica desde los años 1950.	Todo tipo de clima	TPD < 2000. Pueden funcionar bien en rutas de alto tránsito con buen diseño. Se utilizan en caminos de bajo tránsito como superficie de ruedo nueva.	Funcional: Fisuras longitudinales, transversales y en bloque (bajo). Desnudamiento o desprendimiento (remover material suelto), exudación (bajo - medio), rugosidad (baja), pérdida de fricción superficial, infiltración de humedad. Estructural: Aporte ilimitado. Reduce ingreso de humedad y sella grietas leves temporalmente. También rellena roderas leves.	Falla estructural (cuero de lagarto y ahuellamiento severo), deterioro excesivo (pavimento al final de la vida útil). Agrietamiento térmico (Alto). Falla de <i>Chip Seal</i> produce exudación o desplazamientos.
Restricciones del sitio	Luego de TS-1 se debe corregir todos los defectos para evitar exudación y desplazamientos. No colocar a menos de 10°C. Colocar en clima seco para evitar humedad atrapada entre capas.			
Vida útil esperada	7-15 años en un esquema de preservación.			
Costos típicos	1,7-3,00 \$/m2 con <i>Slurry</i> y 1,9\$/m2 con microcapa			

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. (2019). Adaptado de *Optimal Timing of Pavement Maintenance Applications (NCHRP report 523,2004)*. Modificado por Rothe, R. (2019).

2.4.1.3. Rehabilitación Vial.

La rehabilitación es devolverle al pavimento la solidez estructural y funcionalidad de la calidad de ruedo originales.

Según el MCV (2015), es la reparación selectiva y el refuerzo del pavimento o calzada con previa demolición parcial de la estructura existente. Se da cuando el pavimento entra en una etapa muy deteriorado como para soportar el incremento del tránsito a través del tiempo y condiciones climáticas, por lo que puede incluir algunos mejoramientos del drenaje. Esta actividad se hace necesaria por no haber existido una conservación adecuada. La técnica más común en esta área son las sobrecapas, pero también existe la técnica de recarpeteo y reciclado.

2.4.1.3.1. Sobrecapas.

Es la técnica de rehabilitación más popular a nivel mundial y mantenimiento preventivo en Costa Rica ya que funciona para corregir varios tipos de deterioro y aporta eficiencia funcional y estructural. Se considera una rehabilitación menor.

Se aplican generalmente alrededor de 2.50cm -20.00cm de espesor con granulometría densa. Se debe corregir previamente la carpeta existente en caso de tener deterioros que afecten la funcionalidad del pavimento y es recomendable previamente bachear, sellar o rellenar grietas, fisuras y juntas, mejorar drenajes, pre-nivelación (perfilar “escarificar” y colocar sobrecapa), todo esto como buena práctica. Cuando el deterioro es por deformación plástica, se debe revisar que esta solamente sea en la carpeta de rodamiento ya que si existe deformación plástica en las capas inferiores desde la subrasante se debe reconstruir el pavimento, no sirve una rehabilitación. Si se pueden rellenar roderas cuando son únicamente en la carpeta existente (Ver **Ilustración 18**):

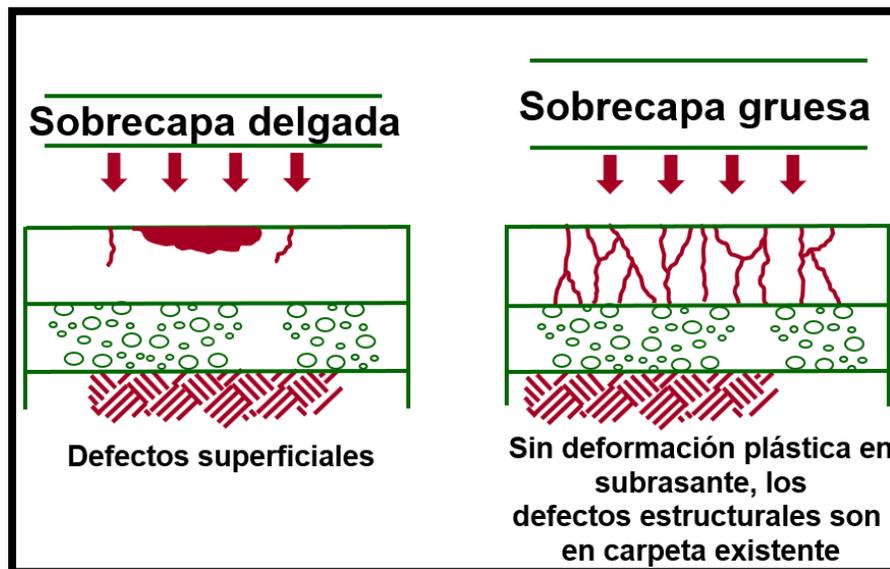


Ilustración 18. Sello Cape Seal

Fuente: *Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras de la Maestría en Ingeniería Vial del TEC.*

Modificado por Rothe. R (2019).

2.4.1.3.2. Recarpeteo.

Consiste en eliminar la capa asfáltica existente para sustituirla por una nueva. Considera técnicas de fresado, perfilado de la superficie y volver a instalar una capa asfáltica. Se considera una técnica de

rehabilitación mayor y muchas veces se deben intervenir las capas inferiores granulares. La capa asfáltica mínimo deberá tener 5cm. (Solminihaç, 2019).

2.4.1.3.3. *Reciclado.*

Técnica que se puede emplear en caliente (planta) o en frío (en sitio). Consiste en la implementación de una capa de pavimento reciclada, la cual tiene aporte funcional y estructural. Se considera una rehabilitación mayor.

Su proceso constructivo tiene una secuencia de equipos y procedimientos, por lo que se requiere mucho control de calidad y consideraciones económicas. En Costa Rica la limitación de equipos reduce la oportunidad de elaborar esta técnica, sin embargo, es importante mencionarla por posibilidades de que en un futuro se desarrolle. El reciclado en la Municipalidad de Heredia se limita a reutilizar el material perfilado asfáltico en ciertas actividades como suelos adecuados y seleccionados de mejor calidad en la obra. Este no acostumbra a reutilizarse en fabricación de nuevas mezclas asfálticas y se podría considerar.

Tiene la gran ventaja de que al ser reciclado se pueden determinar cuáles deterioros se presentaron previamente para mejorar las condiciones agregando aditivos, etc. y reciclarla de forma mejorada para que dure más.

La diferencia con el reciclado en caliente es que en frío después de colocar la carpeta reciclada se coloca encima una capa de ruedo o tratamiento superficial.

2.4.2. *Reconstrucción*

De acuerdo con el MCV (2015), es la que mayor costo representa en una intervención vial ya que consiste en renovar completamente la estructura de pavimento, por lo que se sale del concepto de conservación vial debido a que no se conserva el pavimento existente, sino que implica la demolición parcial o completa de un camino para poder reconstruir la estructura de pavimento nueva que se lleva a cabo con el objetivo de subsanar las consecuencias por falta de conservación, consecuencia de un descuido a lo largo del tiempo. También puede ser consecuencia por un deficiente proceso constructivo. Esta actividad se realiza cuando la rehabilitación ya no es posible.

En esta etapa se debe considerar investigación, análisis profundos y detallados por medio de métodos mecanístico empíricos para poder revisar, deformaciones, desplazamientos, esfuerzos en la estructura del pavimento, por lo que implica pruebas de laboratorio y combinar el diseño de materiales con el diseño estructural del pavimento.

A continuación en la **Ilustración 19** se muestra un resumen de los conceptos antes mencionados:

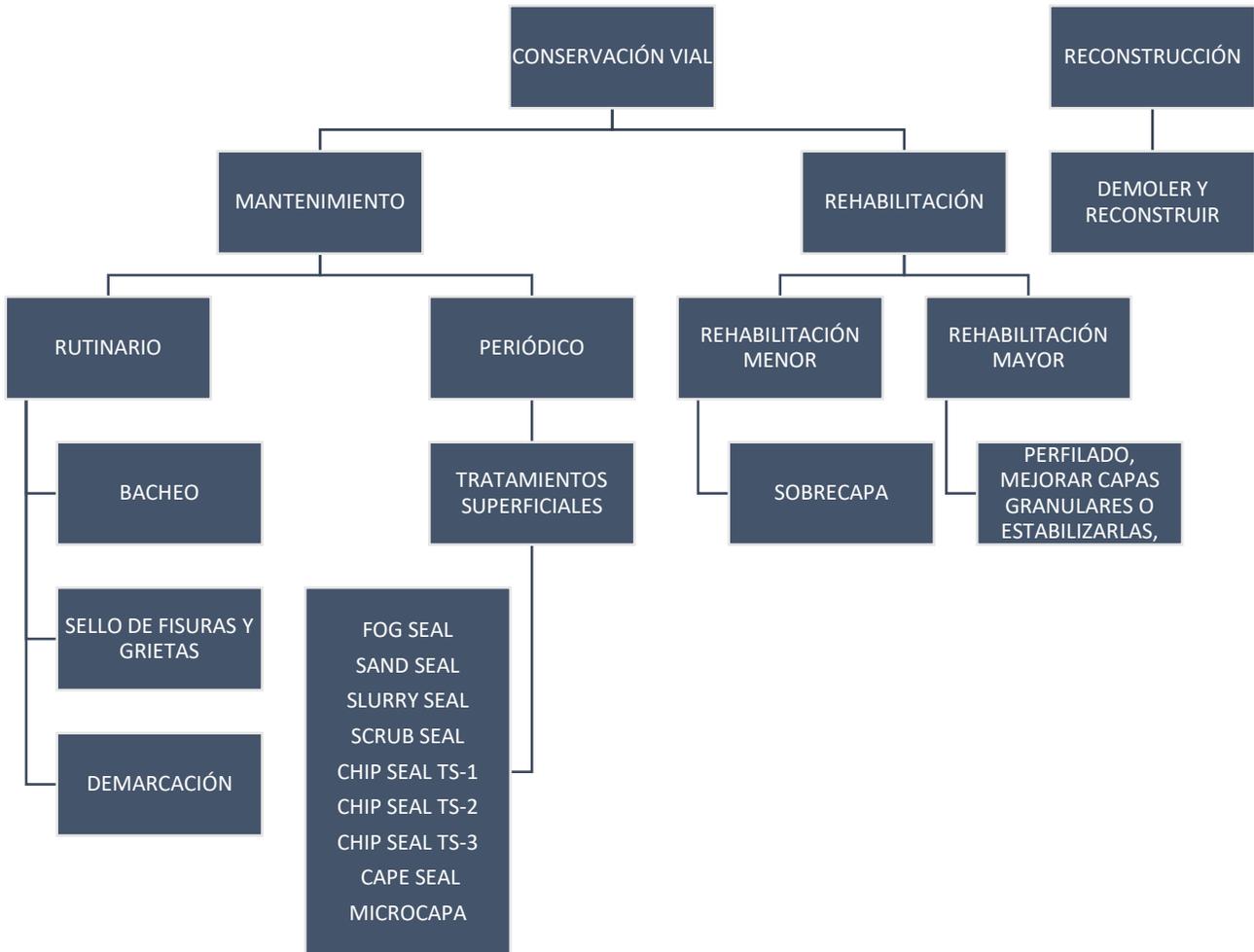


Ilustración 19. Resumen de los tipos de intervención vial

Fuente: elaboración propia (2019).

2.5. Proceso de Gestión de Infraestructura Vial Municipal

Para establecer un sistema de gestión de infraestructura vial es necesario delimitar todas sus fases y destacar, de manera adecuada, los productos asociados a cada una de ellas, tal y como lo muestra el siguiente flujograma (**Ilustración 20**) para el proceso de gestión vial en el ámbito municipal:



Ilustración 20. Esquema de proceso de gestión vial municipal
Fuente: LanammeUCR (2017).

Cuando se elabora el diagnóstico de la red vial cantonal (RVC), el producto principal es la base de datos ya que permite determinar el estado actual de la red, insumo necesario para establecer políticas de priorización, criterios de selección de las diferentes opciones para el mantenimiento vial y planes de conservación y rehabilitación de las vías del cantón con el fin de optimizar el presupuesto.

Es importante mencionar que el diagnóstico de la red vial incluye todos los activos viales como pavimentos, aceras, ciclovías, pasos, rutas peatonales, áreas verdes y de ornato, elementos de infraestructura de seguridad vial, el señalamiento vertical y horizontal, puentes, túneles, estructuras de drenaje, retención y las obras geotécnicas o de otra naturaleza asociadas con los caminos ubicadas dentro del derecho de vía. Sería ideal administrar todos estos activos viales por medio de un sistema global conocido como un Sistema de Gestión de Activos (SGA), pero para efectos de este proyecto solamente se enfocará en los pavimentos flexibles de la Red Vial Cantonal de Heredia que representan después de los puentes el elemento más importante de la red vial a nivel funcional, pero los más importantes a nivel patrimonial (considerando que representan el mayor costo de los activos viales). Un SGP se encuentra dentro de un SGA, por lo que se

pueden considerar un subsistema para a futuro conformar un sistema más completo con todos los elementos viales.

2.6. Concepto de un Sistema

De acuerdo con Solminihaç (1998), un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que funcionan como un todo para lograr objetivos. Son útiles en instituciones que trabajan en un ambiente que está en constante cambio ya que le permiten ahorrar procesos y generar funciones de manera eficaz y económicamente.

A continuación, se muestra un modelo general de un sistema en la **Ilustración 21**:

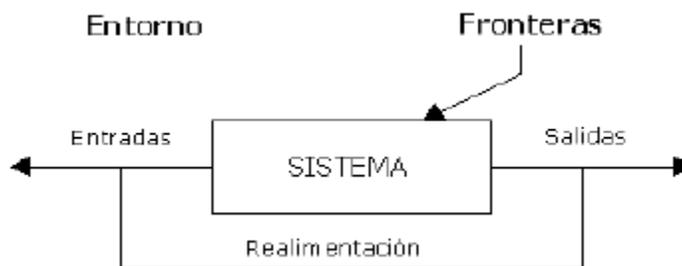


Ilustración 21. Modelo General de un Sistema

Fuente: Solminihaç, (1998).

La figura anterior posee los siguientes elementos involucrados:

- Entorno: medio donde se encuentra el sistema,
- Fronteras: restricciones o limitaciones que diferencian el sistema del entorno que lo rodea, también define lo que pertenece a él y lo que no,
- Entradas: elementos que ingresan necesariamente para que el sistema alcance sus objetivos,
- Salidas: son los resultados conseguidos basados en los objetivos,
- Proceso: actividad que transforma las entradas en salidas,
- Retroalimentación: información que recibe el sistema del entorno una vez que se han dado las salidas.

Estos términos pueden resultar confusos, sin embargo, para el enfoque en la gestión vial de pavimentos, las entradas pueden ser los factores que componen los elementos de demanda como las medidas de las cargas del tránsito promedio diario (TPD), las medidas del desempeño, tanto funcional como estructural de los pavimentos (IRI, FWD, PCI), jerarquización vial, factores sociales, ambientales, técnicos, económicos,

necesarios para poder resolver los problemas relacionados con la infraestructura vial y las salidas son esas conclusiones o decisiones tomadas con respecto a las entradas y análisis, según el proceso en el que funciona el sistema, donde se pueden determinar acciones por tomar y dichas acciones vuelven a ser entradas para el mismo sistema generando un ciclo retroalimentándose y mejorando con el paso del tiempo. Todo lo anterior garantizando resultados óptimos para una entidad.

2.7. Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP)

De acuerdo con el Dr. Ing. Pedro Castro Fernández, MBA, MSc. (2019), se define como una herramienta que mediante un conjunto de procesos permite y facilita la toma de decisiones económicamente efectivas para administrar los pavimentos.

Se enfocan en dos niveles:

- Nivel de red vial
- Nivel de proyecto

Está formado por los siguientes componentes fundamentales:

- Inventario de datos (Base de datos)
- Medidas de desempeño de los pavimentos (Parámetros de medida)
 - Desempeño funcional
 - Desempeño estructural
- Predicción de condición futura. (Metodología y análisis técnicos)
- Herramientas de análisis para la gestión. (Políticas de decisión, software, hardware)

La herramienta requiere recursos humanos tanto técnico como administrativo, económicos, estándares, parámetros de desempeño, políticas de planeamiento de presupuesto, políticas sociales y ambientales.

Los SGP están a cargo de organismos que se encargan de administrar una red de carreteras. Estos pueden hacer las siguientes funciones:

1. Almacenar datos de inventario vial.
2. Resumir la condición actual de la red vial.
3. Estimar la condición futura de la red.
4. Proponer proyectos candidatos y planificación de estos, considerando los 3 niveles de gestión: operativo, táctico y estratégico ya que se podría planificar a través del tiempo con planes anuales, quinquenales y hasta de 20 años plazo.
5. Optimizar estrategias de presupuesto.

6. Promover la comunicación con la administración.
7. Promover la comunicación con el público bajo un principio de transparencia.
8. Procesos de mejora conforme pasa el tiempo.
9. Realimentarse con la experiencia generada con el tiempo dado que permite generar modelos de deterioro ya que se estaría conociendo el deterioro año a año recopilando información en tramos homogéneos (misma jerarquía, tránsito similar, similares condiciones ambientales, uniformidad de condiciones estructurales y funcionales).

A continuación, en las siguiente **Ilustración 22** e **Ilustración 23** se muestran unos diagramas de la estructura general de un SGP y otra por niveles:



Ilustración 22. Estructura General de un SGP

Fuente: Adaptado por LanammeUCR (2017), Tomado de Haas, 1993.

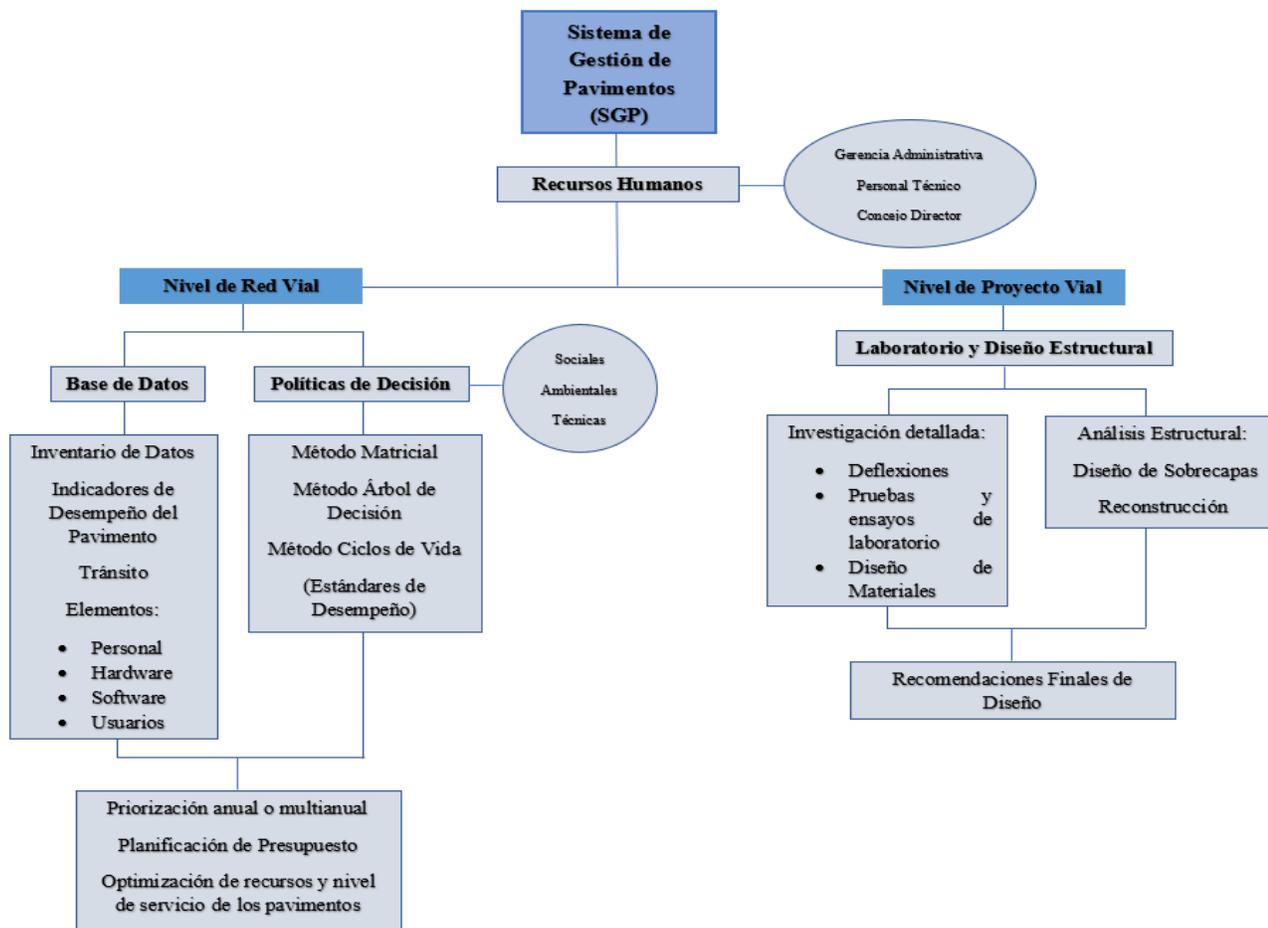


Ilustración 23. Estructura Por Nivel de un Sistema de Gestión de Pavimentos
Fuente: elaboración propia (2019).

2.7.1. Requerimientos Esenciales de un SGP

Para aplicar el SGP de manera eficaz, es necesario que este cuente con los siguientes requerimientos esenciales:

1. Ser fácil de usar y que permita agregar, actualizar y modificar el sistema con nueva información; en otras palabras, capacidad de tener datos de entrada, salida y retroalimentarse.
2. Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
3. Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
4. Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
5. Capacidad de llevar un control del cambio en las condiciones de la red.
6. Posibilidad de mejorar con la experiencia.

Los pavimentos son estructuras complejas que se ven afectados por diferentes variables: frecuencia y peso de los vehículos que lo transitan, ambiente, materiales usados, formas de construcción, y mantenimiento. Es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y mantenimiento, esto con el fin de poder hacer una apropiada gestión de pavimentos.

2.7.2. Involucrados del Sistema

Al ser un proyecto la implementación de un sistema, los involucrados son todos los participantes de los que depende el funcionamiento del sistema en sí. Según indica Yamal Chamoun, en su libro Administración Profesional de Proyectos: para cumplir los objetivos de este primero se deben identificar los involucrados claves.

Es importante definir involucrados a las organizaciones y personas que serán afectados o beneficiados por el desarrollo del sistema. Además, es fundamental para la cimentación del balance entre el alcance, costo y tiempo. Pues un sin número de proyectos fracasan por deficiencias en la selección e integración del equipo. A continuación, se muestra la

Ilustración 24 donde se consideran estos:



Ilustración 24. Involucrados de un Sistema

Fuente: elaboración propia (2020).

Estos dos grupos de involucrados mencionados anteriormente tiene funciones respectivas, para este caso se detallan a continuación:

2.7.2.1. Cliente (Directo: Municipio e indirecto: la población).

El cliente directo es el desarrollador del sistema, quien: autoriza, define el alcance y establece lineamientos y criterios de aceptación del SGP, pero, en este caso, el cliente que se debe satisfacer es el contribuyente ya que son a quienes se les brinda indirectamente el servicio de carreteras en buen estado por lo que la importancia se enfoca en ese objetivo.

2.7.2.2. Patrocinador (Alcalde).

Es la persona a cargo de la dirección del sistema en la empresa quien: asegura la toma de decisiones a tiempo, apoya la asignación de recursos, supera conflictos y barreras organizacionales para una mejor realización del sistema, asigna y apoya al gerente del proyecto y provee la dirección estratégica al gerente del sistema.

2.7.2.3. Gerente o Director del Sistema.

Es el encargado del sistema quien: lidera al equipo del sistema para alcanzar los objetivos, asegura la comunicación entre la administración y otras organizaciones y asegura que los problemas del sistema sean identificados y resueltos a tiempo y adecuadamente.

2.7.2.4. Miembros del Equipo (UTGV).

Están a cargo del gerente del proyecto y son los organizadores, el staff y los proveedores quienes: elaboran la planificación de los proyectos que genera el sistema, ejecutan y controlan siguiendo dicha planificación y colaboran en la integración de los equipos para lograr los objetivos del sistema.

2.7.2.5. Involucrados Indirectos.

Son el público en general (población) que se verá beneficiado, indirectamente, a la hora de generar un sistema en una institución que le brinda servicios.

Estos participantes deben tener un perfil con responsabilidades claves. Para esto se deben detallar los actores principales en la implementación del sistema.

Existen herramientas para poder planear los recursos humanos, como los son:

- Diagrama Organizacional del Sistema

Es una representación gráfica que se utiliza para definir la línea de autoridad, dependencia y toma de decisiones. Incluye personas, compañías y dependencias organizacionales (se relaciona con el diagrama organizacional de la entidad). Deben considerarse todas las organizaciones involucradas, tanto internas como externas, directivos y ejecutores. Se utiliza durante el desarrollo de la planificación del sistema y se actualiza a lo largo del funcionamiento de este.

- Matriz de Roles y Funciones

Herramienta que ayuda a planear y lograr dicha integración. Está basada en el WBS (*Work Breakdown Structure* o Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), (se explica en la próxima sección) que integra a los involucrados claves donde se requiere que apliquen sus conocimientos y habilidades con el fin de lograr el mejor aprovechamiento del equipo. Incluye todo el trabajo expuesto en el WBS y las personas claves, sus roles y funciones. Se diseña durante el desarrollo de la planificación del sistema y se actualiza a lo largo del funcionamiento de este.

2.7.3. WBS (*Work Breakdown Structure*) o Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)

Al existir varios participantes en la implementación de un sistema, es necesario crear una estructura de administración del recurso humano para lograr mejor desempeño de los involucrados:

Según Yamal Chamoun (2002), la planeación del recurso humano está ligado al WBS (*Work Breakdown Structure*) o desglose estructurado de trabajo, el cual contempla un desglose de los entregables del sistema hasta llegar a un nivel de control en el que cada elemento pueda ser asignado a una persona o empresa responsable, programado, costado y monitoreado. En resumen, es una estructura o agrupación de entregables de lo general a lo particular para fines de control. Se puede representar de forma tabular o gráfica.

Esta herramienta sirve para organizar y definir el alcance total del sistema mediante una estructura orientada a entregables, que incluye a todos los elementos del sistema. El trabajo ajeno al WBS está por fuera del sistema y, por lo tanto, no será realizado o considerado.

El WBS incluye:

1. Fases del Sistema
2. Entregables, sub-entregables, sub-sub-entregables, etc. donde cada nivel inferior de la estructura representa una descripción detallada de los elementos del proyecto.

3. Se utiliza cuando se desarrolla el sistema y se actualiza a lo largo del proyecto, en caso de que cambie el alcance.

Si no se incluyen ciertos trabajos en el WBS, estos no podrán ser asignados a ningún integrante del equipo por eso su importancia.

2.7.4. Comunicación del Sistema

El objetivo es lograr una comunicación efectiva entre los involucrados y asegurar la oportuna y apropiada generación, recolección, distribución, archivo y disposición final de la información del sistema.

Para esto existen herramientas como la matriz de comunicación, calendario de eventos, estatus semanal y reporte mensual.

2.7.4.1. Matriz de Comunicación.

Se utiliza para mantener informado a los involucrados y asegurar una comunicación efectiva. Facilita la toma oportuna de decisiones y la tranquilidad de los involucrados claves. Incluye: lista de reportes de avance y contenidos, documentos de planeación relevantes y contenidos, lista de distribución, periodicidad de distribución, medio de la distribución de la información y responsable de emitir el reporte. Es importante definir machotes u opciones de formatos para que los reportes se reciban con la información que se requiere recibir por parte del equipo.

2.7.5. Base de Datos

Es el corazón del sistema ya que contiene el registro de la información y depende de que esta se alimente para que el sistema puede realizar los procesos y lograr los alcances a través del software y recurso humano. Existen elementos críticos de información de los que se compone la Base de Datos.

2.7.5.1. Inventario de Datos.

Datos de carácter permanente en una red vial que solo se cambia por actividades muy localizadas. Por ejemplo: número de ruta, tipo de calle (jerarquía), longitud, tipo de pavimento, número de carriles, ancho de calzada, derecho de vía, entre otros.

2.7.5.2. Desempeño del Pavimento.

Indicadores o parámetros de medición a nivel funcional y estructural (se detallan más adelante) con varios parámetros ingenieriles que provienen de métodos y modelos matemáticos ya desarrollados, brindados por el cálculo de equipos automatizados de laboratorio que sirven para diagnosticar la red vial.

- Parámetros funcionales: indicador que mide la percepción del usuario respecto a la habilidad de servicio, confort, rugosidad y seguridad para el público,
- Parámetros estructurales: indicador que mide la habilidad del pavimento para soportar la acción combinada del tránsito (cargas) y ambiente.

No se recomienda usar muchos datos (parámetros o indicadores) porque saturan el sistema y retrasan el procedimiento innecesariamente y tampoco muy pocos porque sesgan el proceso de decisión. Según criterio de expertos como el Dr. Ing. Pedro Castro Fernández, MBA, MSc. (2019) quien considera que con al menos 2 y máximo 3 parámetros en total se puede realizar un proceso de gestión adecuado.

2.7.5.2.1. Insumos para la Toma de Decisiones en el Desempeño de los Pavimentos.

En el mercado existen diferentes parámetros que facilitan la gestión de los pavimentos e indicadores que permiten medir y determinar la calidad de los pavimentos a través de su nivel de deterioro y facilitar estudios técnicos, diseños y procesos constructivos. Existen indicadores individuales y combinados, para efectos de este trabajo se utilizarán indicadores combinados. A continuación, se mencionan varios de estos:

2.7.5.2.1.1. Tránsito Promedio Diario (TPD).

El TPD es un parámetro que da una medida del tránsito fundamental. Se define como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido, representa el volumen de tránsito promedio en un día y este es dinámico a través del tiempo. Debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar y, además, prever con la debida anticipación la actuación de las diferentes cargas aplicadas en los pavimentos por los diferentes tipos de vehículos que los transitan y para tener control futuro del tránsito como una labor preventiva, así como para aplicar técnicas de conservación vial. El conteo de vehículos se puede realizar de forma manual con recurso humano o sino con equipos especializados que ahorran tiempo, dinero, recurso humano y generan información importante como pesos reales de los vehículos y, por ende, facilita la clasificación de estos por tipo de vehículo.

Para este caso se utilizarán equipos contadores neumáticos y automáticos de tránsito vehicular (conocidos como contadores de manguera) (Ver **Ilustración 25**):

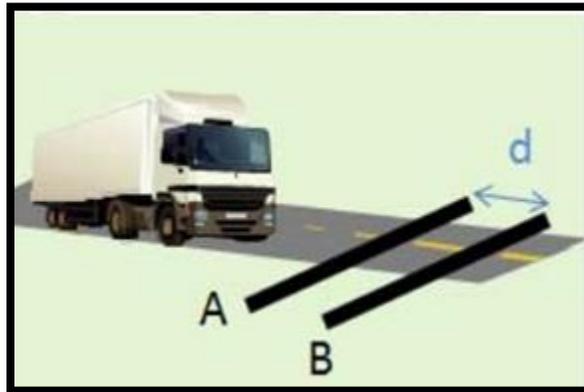


Ilustración 25. Contadores Neumáticos de Tránsito

Fuente: LanammeUCR (2017).

El TPD es importante para clasificar la red vial cantonal por jerarquía en este caso primarias, secundarias y terciarias. A continuación se muestran los rangos para esto en la **Tabla 13**:

Tabla 13. Rangos de Clasificación de Jerarquía Vial de la RVC por TPD

Jerarquía	Rangos TPD
Primarias	7000-15000
Secundarias	1000-7000
Terciarias	0-1000

Fuente: LanammeUCR (2014).

La Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes indica que “El conteo del tránsito es una de las funciones más básicas e importantes en la gestión y planificación de las carreteras. Se utiliza una gran variedad de estadísticas para el análisis del tránsito” (Zúñiga y Torres, 2011, p.1).

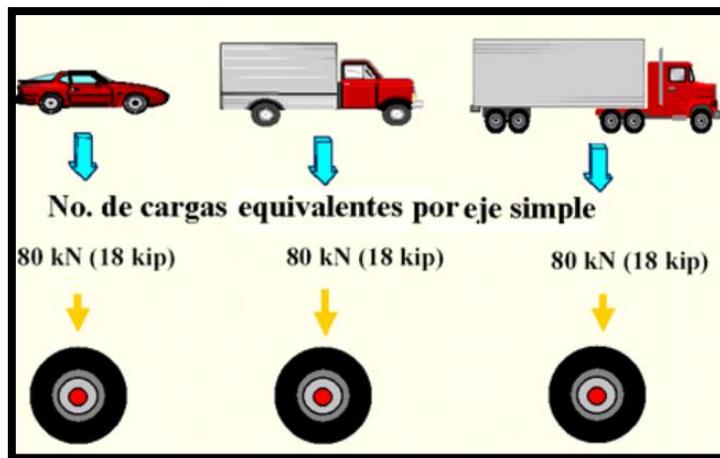
Los datos de tránsito recolectados pueden ser usados para la planificación estratégica de largo plazo, diseño estructural, diseño funcional, análisis económico y financiero u otros análisis (MOPT, 2013).

También la AASHTO indica que los datos de volumen de tránsito de vehículos pesados son esenciales para el diseño y análisis estructural de pavimentos (AASHTO, 2008). Sin embargo, para poder realizar diseños y estudios es necesario convertir todas las pasadas de diferentes vehículos en un número de pasadas de un tipo único (pasadas de ejes equivalentes). La Guía de Diseño AASHTO de 1993 explica claramente este proceso, el cual se detalla en la siguiente sección.

2.7.5.2.1.2. Ejes Equivalentes (EEq).

Otro parámetro donde se convierte el número de pasadas de diferentes vehículos en un número de pasadas de un tipo único. Generalmente se usan para conversión a un tipo único, los ejes equivalentes simples o duales de 8200kg y, además, se debe tener en cuenta un nivel de confianza ya que al ser una metodología probabilística los parámetros de diseño tienen un nivel de dispersión asociada que influyen en la cantidad de cargas para alcanzar el nivel de servicio terminal.

La AASHTO (1993) ha definido 13 grupos de vehículos diferentes. Los factores de conversión de un tipo de carga a un eje equivalente estrictamente hablando dependen de: tipo de pavimento, tipo de eje: (simple, tándem, triple), número estructural (SN) y carga por eje. Con este parámetro se pueden hacer estudios y análisis por porcentaje de distribución vehicular por carril de diseño, cargas por eje, porcentajes de crecimiento, entre otros. El factor de conversión de un tipo de eje con una carga específica a un eje equivalente se denomina Factor de Equivalencia de Carga (LEF) y representa la razón del número de pasadas de un eje equivalente para causar una reducción unitaria en PSI entre el número de pasadas de ejes simples de 8200kg para causar la misma reducción unitaria en PSI. A continuación una descripción mediante la **Ilustración 26**:



*Ilustración 26. Interpretación de la conversión de ejes equivalentes (EEq) de 18kips (8200kg)
Fuente: Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras de la Maestría en Ingeniería Vial del TEC.
Modificado por Rothe. R (2019).*

2.7.5.2.1.3. Índice de Servicio de la AASHTO (PSI).

Indicador combinado que nace de la metodología AASHTO (1993). Se basa en una escala que juzga la condición del pavimento en un instante dado en el tiempo donde un PSI de 5.0 indica que el pavimento

es perfecto y un PSI de 0.0 se asocia a un pavimento intransitable. Se realiza por auscultación visual y se calculan los deterioros de acuerdo con la metodología donde a través de un modelo de regresión lineal múltiple (ecuaciones AASHTO) para pavimentos flexibles o rígidos se le puede asignar una nota al pavimento.

La clasificación para juzgar el pavimento es la mostrada en la **Tabla 14**:

Tabla 14. Clasificación del Pavimento de acuerdo con el PSI

Índice de Servicio (p)	Rangos TPD
0-1	Muy Malo
1-2	Malo
2-3	Regular
3-4	Bueno
4-5	Muy Bueno

Fuente: Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras de la Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).

De acuerdo con la curva de vida de un pavimento vista anteriormente en el ciclo de vida de estos y sus fases, un pavimento se debe intervenir constantemente con actividades de conservación (mantenimiento rutinario, periódico y rehabilitación) mientras pasa el tránsito y tiempo para alargar su vida útil; esto se hace constantemente hasta que el pavimento llegue a de alcanzar un PSI terminal en estado regular (2-3) como se muestra en la **Ilustración 27**:

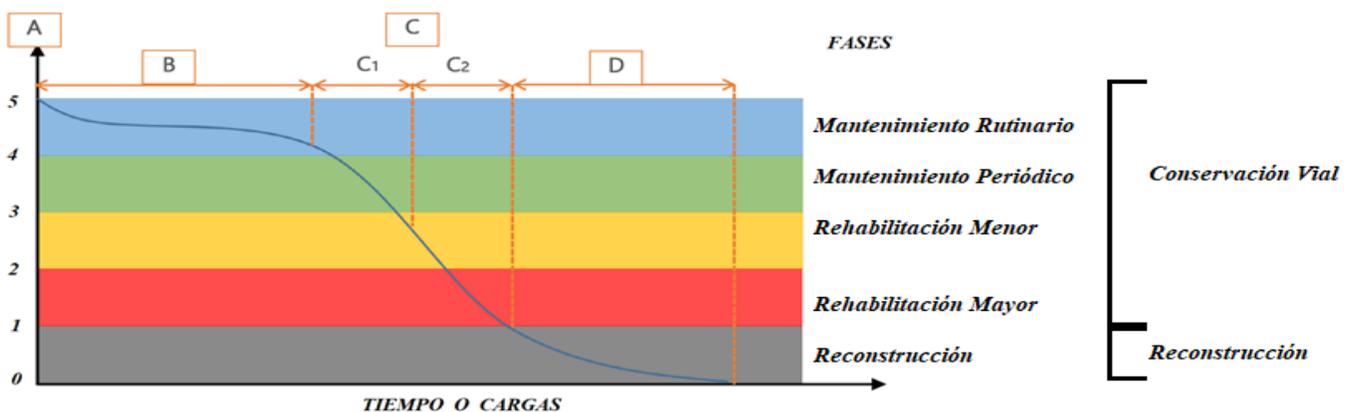


Ilustración 27. Ciclo de vida y fases de un pavimento en función del PSI vs tiempo o cargas
Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).

Es importante mencionar que este parámetro no se utilizará en el SGP, pero se menciona ya que teóricamente el municipio trabajaba con una metodología dispuesta por el MOPT bajo el Decreto N° 38578 para evaluar caminos cantonales que nace de esta metodología AASHTO, pero su aplicación se limitaba al criterio ingenieril para calificar el pavimento sin calcular los diferentes tipos de deterioro y aplicar la ecuación de regresión lineal respectiva al tipo de pavimento. Situación que se mencionó en la sección de antecedentes y planteamiento del problema. Para el SGP se utilizarán otros parámetros para evaluar la condición del pavimento a nivel funcional y estructural como el IRI, FWD, *Grip Number* y PCI.

2.7.5.2.1.4. Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

De acuerdo con la AASHTO (1993), es un indicador combinado funcional que permite evaluar la regularidad superficial de la carretera y refleja el confort y seguridad de los usuarios, sin embargo, garantiza indirectamente el desempeño estructural del pavimento.

Este parámetro resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de un camino en un auto de pasajeros típico; además, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80 - "Reference Average Rectified. Slope" con sus siglas en inglés) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. El IRI aumenta conforme la rugosidad aumenta, como se presenta a continuación en la **Ilustración 28**:

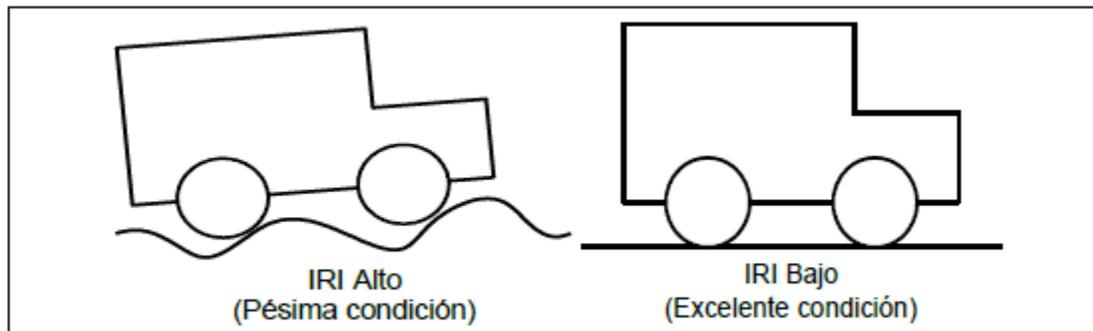


Ilustración 28. Representación física del IRI

Fuente: LanammeUCR (2017).

Para cualquier entidad que se encargue de gestionar pavimentos es importante su aplicación ya que permite conocer la megatextura de un pavimento, su regularidad o irregularidad superficial percibida por el usuario, esto desde el inicio de periodo de servicio de una carretera o en cualquier momento de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación necesarias en el momento pertinente.

Este índice es geográficamente transferible, repetible y estable con el tiempo, por lo que se ha convertido en una medición atractiva y conveniente para el control de calidad de los pavimentos.

Para este caso se utilizará el equipo Perfilómetro Inercial Láser, equipo representado en la siguiente **Ilustración 29**:

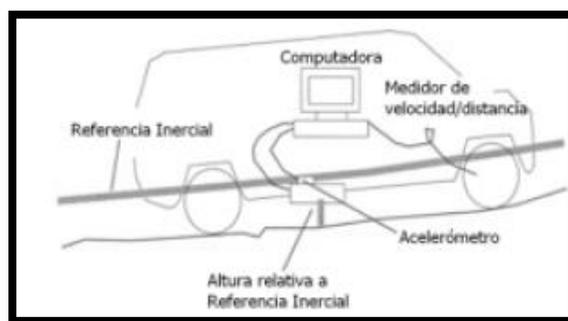


Ilustración 29. Perfilómetro Inercial Láser

Fuente: LanammeUCR (2017).

Para obtener resultados de análisis es indispensable tomar medidas cada cierta distancia y cada cierto tiempo (para un municipio según expertos se considera cada 2 años y cálculos cada 25m) y, de esta forma, evaluar la red vial. Los resultados de estas mediciones se deben clasificar según la calidad funcional en cuatro rangos, tal y como lo muestra la **Ilustración 30**:

Condición	IRI (m/km)
Bueno	< 3,6
Regular	3,6-6,4
Malo	6,4-10
Muy malo	> 10

Ilustración 30. Categorización del IRI

Fuente: LanammeUCR (2017).

2.7.5.2.1.5. Condición Estructural por Deflectometría de Impacto (FWD).

De acuerdo con la AASHTO (1993), es un indicador combinado estructural que sirve para conocer la capacidad de un pavimento. Permite determinar la respuesta que este tendrá ante las cargas de tránsito a las que se encuentra expuesto y es posible determinarla mediante la utilización de equipos como el Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés), equipo de impacto dinámico que mide deflexiones en la estructura del pavimento.

El FWD es un parámetro que se utiliza para el análisis estructural del pavimento al realizar un análisis mediante el retrocálculo de módulos, donde se determina si la estructura de pavimento cumple satisfactoriamente con la capacidad de soporte para la cual fue diseñada, o donde se determina la deformada máxima y con esta se diseñan sobrecapas para técnicas de rehabilitación y reconstrucción.

El procedimiento para la aplicación de este equipo consiste en dejar caer una carga de impacto estándar sobre el pavimento y medir las deflexiones en nueve puntos a diferentes distancias respecto del punto exacto donde se aplicó la carga. A continuación, en la **Ilustración 31** se muestra el equipo de medición y los puntos donde se miden las deflexiones teóricamente.

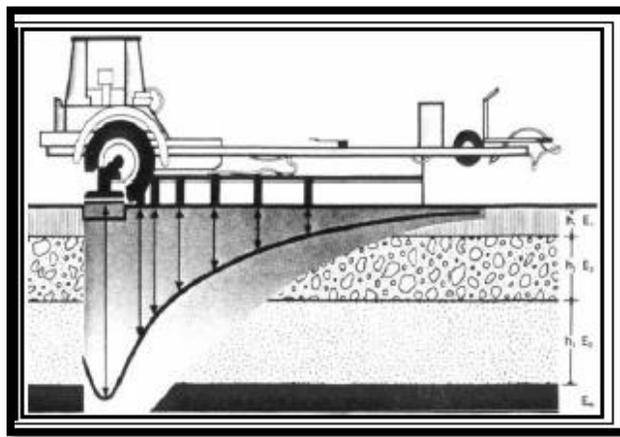


Ilustración 31. Representación del Equipo de Deflectometría de Impacto y Curva de Deflexiones en la Estructura de Pavimento

Fuente: LanammeUCR (2017).

Además, este parámetro puede proporcionar información más precisa que la que brindan los ensayos tradicionalmente utilizados para realizar el control de calidad durante la construcción del pavimento. Sin embargo, es importante considerar que aunque este tipo de ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo rápidamente, y con una mayor frecuencia de muestreo que la mayoría pruebas tradicionales, también pueden tener sus propios inconvenientes, por ejemplo, en el caso de materiales granulares, los cambios en el contenido de humedad u otros factores que ocurren después la construcción puede afectar las deflexiones y, por ende, los resultados y las conclusiones que se extraen del análisis de esos datos.

Por las razones anteriores, un enfoque ideal para el "control total de la calidad" en la construcción de obras nuevas podría ser una combinación de los procedimientos más tradicionales y los más recientes (FWD u otras metodologías de ensayos no destructivos).

Para los valores obtenidos por Deflectometría se puede utilizar la clasificación utilizada para estructuras con base granular de un estudio realizado por el LanammeUCR en el 2014 donde en el informe del Proyecto LM-PI-GM-03-2014 “Clasificación de los resultados obtenidos por el Deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal”. A continuación, la **Ilustración 32** con los rangos de clasificación de FWD de una red vial cantonal:

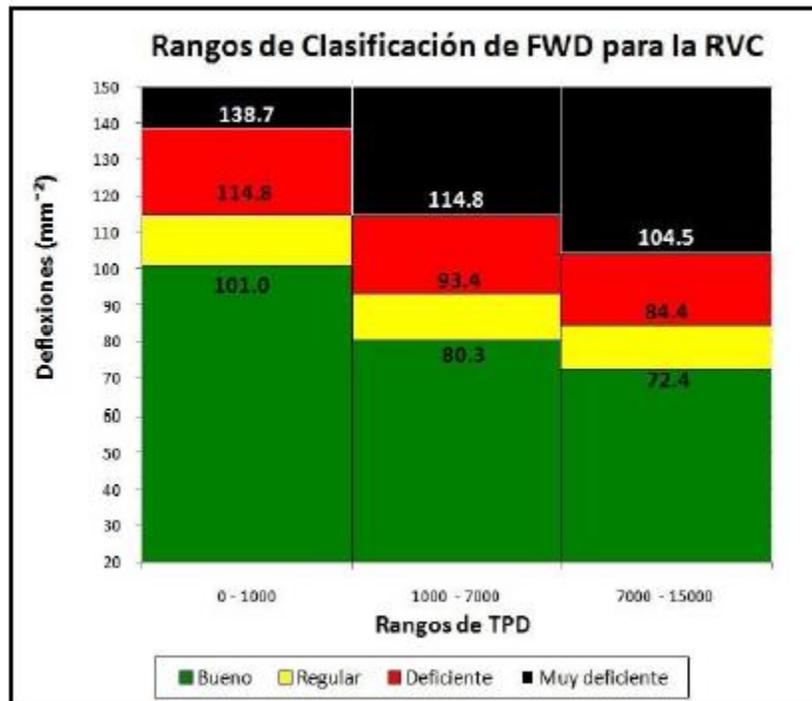


Ilustración 32. Rangos de Clasificación de FWD para RVC de acuerdo con el TPD
Fuente: LanammeUCR (2014).

Para la RVC se considera aplicar mediciones cada 50m y cada 4 años mínimo con el fin de monitorear el comportamiento de estas. Al existir TPD tan bajos, no se deforman los pavimentos como sí sucede a nivel de rutas nacionales por los altos TPD y cargas. Esto hace que sea mejor a nivel cantonal mantener el IRI en buenas condiciones y no enfocarse en deflectometría a nivel de red sino utilizarla a nivel de proyecto, principalmente cuando sea necesario.

2.7.5.2.1.6. Índice de Condición del Pavimento (PCI).

El indicador combinado de condición del pavimento (PCI) es un parámetro funcional y una de las metodologías de evolución de vías más usado en el mundo. Tanto para pavimentos flexibles como rígidos. Se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición funcional de la superficie.

La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

Según el LanammeUCR (2017), el método consiste en seleccionar unidades de muestra, se analiza en sitio los daños en la vía, nivel de severidad del daño, se mide la extensión del daño y se analizan para determinar el PCI que consiste básicamente en una clasificación en una escala de 0-100, donde a partir de los deterioros que son visibles y medibles en la superficie de pavimento se le asignan puntos que restan al índice total de acuerdo con la severidad, extensión y tipo de daño observable. De esta manera, una vía con un PCI de 100 está excelente mientras que uno de 0 es una vía considerada fallada completamente. Este diagnóstico se puede aplicar a nivel de red o proyecto. Sin embargo, su medición requiere tiempo y recurso humano, por lo que a nivel de red es indispensable utilizar equipos especiales como el Geo3D. Consiste en un vehículo con 6 cámaras de alta definición que logran captar imágenes de forma consecutiva abarcando la totalidad de la vía que permite mediante softwares identificar los deterioros de la carretera evaluada. A continuación, una **Ilustración 33**:



Ilustración 33. Geo3D del LanammeUCR

Fuente: LanammeUCR (2017).

La escala utilizada para la clasificación de vías se desprende de la norma ASTM-6433-11, la cual se utiliza para definir los rangos en los cuales se clasifican las vías con base en el resultado de PCI, a continuación la **Ilustración 34** con su escala:

Condición	PCI
Excelente	>85
Muy bueno	70-85
Bueno	55-70
Regular	40-55
Malo	25-40
Muy malo	10-25
Fallado	<10

Ilustración 34. Clasificación del pavimento por PCI (Escala de Valores Deducidos)

Fuente: Norma ASTM-6433-11, (2019).

Esta metodología tiene una ventaja la cual es que se puede aplicar sin necesidad de equipo de laboratorio siguiendo la norma ASTM-D6433 que consiste en auscultación visual del pavimento. Se debe considerar el uso del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016.

2.7.5.2.1.7. Grip Number o Número de Adherencia (Capacidad Friccionante).

El indicador *Grip Number* o Capacidad Friccionante es un parámetro funcional que mide la habilidad de la superficie de rodamiento de dar adherencia a las llantas de los vehículos por medio de fricción. Especialmente en presencia de humedad. Los factores que más se relacionan con la resistencia al resbalamiento son:

- La rugosidad de la superficie (nivel macro)
- La rugosidad del agregado (nivel micro)
- El contenido de asfalto

Además, los agregados deben ser capaces de resistir el pulimiento (los agregados calizos son más fácilmente pulibles que los de origen silíceo). El exceso de ligante asfáltico determina alta tendencia al resbalamiento de los vehículos.

Para medir este *Grip Number* se puede utilizar un equipo conocido como *Grip Tester*, consiste en un simple sistema de transmisión que frena al 15 % la rueda de medición, la carga y resistencia a la rodadura sobre dicha rueda se miden constantemente. El equipo puede viajar para hacer el ensayo a una velocidad entre los 5km/h y 130km/h, dependiendo de la necesidad del cliente o aplicación. El coeficiente de fricción

(carga / resistencia a la rodadura) se transmite a un ordenador situado en la cabina del vehículo remolcador que recoge los datos. Este ensayo se recomienda hacer en superficie seca (Ver **Ilustración 35**):



Ilustración 35. Grip Tester
Fuente: LanammeUCR (2017).

Su evaluación es complicada, costosa y requiere tiempo. Se puede aplicar, sin embargo, en investigaciones localizadas (nivel de proyecto). A continuación, se muestra en la **Ilustración 36 e Ilustración 37** la clasificación del pavimento según el Grip Number y la propuesta para evaluar la lisura de un pavimento:

Coeficiente de fricción Transversal (CFT) medido con SCRIM*	Valor de Grip Number	Condición	Nivel			Tipo de pavimento evaluado	Porcentaje evaluado*** (%)
			Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentalidad **		
Menor a 0.36	menor a 0.5	Malo	Deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo	12.2
0.36 a 0.45	0.5 a 0.6	Regular	Potencialmente deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y pérdida de textura	12.1
0.45 a 0.60	0.6 a 0.78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura	41.0
Mayor a 0.60	mayor a 0.78	Muy Bueno	Muy poco deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas	34.7

Ilustración 36. Clasificación del Pavimento Según el Grip Number
Fuente: LanammeUCR (2017).

Categoría	Deslizamiento	Peligrosidad	Rango
Malo	Deslizante	Muy peligroso	Menor que 0.5
Regular	Potencialmente deslizante	Peligroso	De 0.5 a 0.6
Bueno	Poco deslizante	Moderado	De 0.6 a 0.78
Muy Bueno	Muy poco deslizante	Seguro	Mayor que 0.78
90 % capa de rodamiento nueva			Mayor que 0.75
100 % capa de rodamiento nueva			Mayor que 0.65

Ilustración 37. Propuesta por LanammeUCR para evaluar la lisura de un pavimento
Fuente: LanammeUCR (2017).

Para efectos de este trabajo, el *Grip Number* no se midió en el caso de estudio porque estaba fuera del alcance, pero se incorporó dentro de los insumos para utilizarlo principalmente en rutas primarias de mayor velocidad, facilitar la toma de decisiones y que el SGP-SIG cuente con este indicador.

2.7.5.3. Tramos Homogéneos en Carreteras.

Es una segmentación de la red vial en tramos de diferentes longitudes basándose en criterios de semejanza que consideran varios parámetros donde sus características son similares, por ejemplo: velocidades, tránsito, jerarquía de la ruta, número de carriles, tipo de pavimento, región climática, similitud a nivel de desempeño funcional, estructural, entre otros.

Se pueden determinar bajo el método de diferencias acumuladas establecido por la AASHTO (1993) a partir de los parámetros mencionados.

Estos tramos son de gran importancia para poder realizar estudios y análisis a nivel de red ya que los equipos de laboratorio utilizados para medir los parámetros mencionados como el TPD, IRI, FWD, PSI y PCI se obtienen en diferentes puntos de la red vial generando datos cada cierta distancia de los cuales, al final, manualmente se deben hacer cálculos y análisis comparativos para promediar según condiciones de homogeneidad y de acuerdo a su objetivo que es seccionar las calles para aplicar una solución única por tramo. Esto facilita obtener resultados para lograr la gestión vial de una red de carreteras a nivel táctico, operativo y estratégico. Además, es un método que facilita la interpretación de los resultados obtenidos en campo.

2.7.5.4. Políticas de Decisión a Nivel de Red y Proyecto Vial (Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción (M.R.R.)).

Son los alcances en las que se rige el sistema establecidos bajo las políticas de la administración del sistema, misión, visión y su definición o razón de ser que permiten facilitar la priorización y planificación del presupuesto en las diferentes actividades que realiza el administrador del sistema (Departamento UTGV): mantenimiento general de las vías a nivel de red, proyectos focalizados, pruebas y ensayos de laboratorio (control de calidad), funciones diarias del departamento, compra de suministros, equipos, herramientas, mantenimiento de equipos, maquinaria, combustibles, etc. Además de las políticas técnicas se consideran políticas ambientales, sociales y económicas.

Con estas políticas se garantiza la utilización correcta y óptima de los recursos.

2.7.5.5. Estándares de Desempeño y Calidad.

Son estándares que limitan lo que aceptará el administrador del sistema (Departamento en Gestión de Pavimentos) para tomar decisiones entre las diferentes opciones de técnicas de conservación y reconstrucción vial. Estas se basan en las políticas definidas para gestionar a nivel de red o de proyecto y utilizan los indicadores o parámetros de desempeño de los pavimentos como funcionales, estructurales o mixtos definidos en el sistema para medir la condición de estos.

Son elegidos por medio de métodos que facilitan las tomas de decisiones como los siguientes:

2.7.5.5.1. Método Matricial.

Es un método que funciona a través de una matriz que conjuga o asocia entre filas y columnas el conjunto de fallas o deficiencias en el pavimento con la política de conservación o reconstrucción vial que permita corregir la mayoría de los problemas presentados. La asignación de los procedimientos óptimos de decisión se basa en la experiencia y juicio ingenieril. El LanammeUCR aplica esta metodología para clasificar la condición de la red vial nacional utilizando unas notas de calidad llamadas “notas Q” donde combinan los parámetros de desempeño a nivel funcional (IRI) y estructural (FWD), asignando una nota Q a cada tramo homogéneo y de esta forma elegir un tipo de intervención.

Para efectos de este trabajo, se utilizará esta metodología formando una Matriz MRR, donde a través de indicadores funcionales y estructurales se clasificará separadamente a nivel de proyecto o red dándole importancia a la condición del pavimento y otros factores para priorizar cualquier tipo de intervención. Esto a sabiendas de que existen otras metodologías las cuales se mencionan a continuación.

2.7.5.5.2. Método Árbol de Decisiones.

La asignación de la alternativa de decisión óptima involucra la combinación de la clasificación funcional y tipo de fallas o deficiencias del pavimento. Se basa en la premisa de una carretera de alto

volumen de tránsito (primaria) no puede permitirse el mismo nivel de deterioro que una carretera secundaria. La experiencia y juicio ingenieril juegan parte importante del proceso ya que se selecciona la alternativa que satisfaga la peor condición de la sección en cuestión.

2.7.5.5.3. Método de Ciclos de Vida.

Se evalúan diferentes alternativas de decisión considerando el tiempo y dinero como variables. Se usan diferentes modelos de desempeño con base en modelos determinísticos y probabilísticos con el objetivo de seleccionar la opción de conservación o reconstrucción vial de menor costo global. La experiencia y juicio ingenieril juegan parte importante del proceso ya que debe considerar el periodo de diseño y de análisis. Quiere decir, el menor costo de construcción en el plazo de análisis y menor costo para la economía (incluyendo costos de operación).

La estructura de costos involucra conocer lo siguiente:

- Costo inicial de construcción (año 0).
- Costos unitarios por tipo de material y actividad constructiva.
- Cantidades de cada tipo de material y actividad constructiva.
- Costos de mantenimiento rutinario.
- Costos anuales de todas las actividades que afecten directamente el desempeño.
- Valor de rescate (porcentaje definido del costo inicial de construcción en función de la condición del pavimento al final de su vida útil y periodo de análisis).
- Costos de Operación: Tiempo de viaje, demoras, operación de vehículos, accidentes, etc.

El método utiliza técnicas de análisis económicas y financieras como costo – beneficio (concesionarios), efectividad – costo, valor presente neto, tasa interna de retorno (concesionarios) y costo anual uniforme equivalente (CAUE).

Al final, para determinar la mejor alternativa de decisión para una sección de pavimento depende de la condición actual del pavimento, adecuación del tratamiento (intervención) para las condiciones de este, vida útil del tratamiento y costo de aplicar y mantener el tratamiento seleccionado.

Por falta de información a través del tiempo en la base de datos del municipio, no se tiene cómo desarrollar modelos determinísticos ni probabilísticos, por lo que se deberán desarrollar con el paso de los años y experiencia.

2.8. Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

Es un método de análisis económico utilizado en evaluación de proyectos de inversión y corresponden a todos los ingresos y desembolsos convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente en valor presente que es la misma cada periodo. En las siguientes ecuaciones se muestra como calcular el CAUE:

Ecuación 1. Cálculo del CAUE

$$CAUE = VA * i \%$$

Donde CAUE → Costo Anual Uniforme Equivalente

VA → Valor Actual

I % → tasa de interés anual

n → Vida útil

Ecuación 2. Cálculo del VA

$$VA = [INVERSIÓN INICIAL] + \left[MONTA MANT. ANUAL * \frac{(1 - (1 + i\%)^{-n})}{i\%} \right] - [VR * (1 - I\%)^{-n}]$$

Donde VR → Valor Residual (no aplicable en este proyecto académico) porque no se posee información a lo largo del tiempo para poder estimar un valor de rescate de las carreteras del cantón. Se podrá implementar en futuros análisis, momentáneamente está sesgado. Es por esto que en este proyecto se utilizará el cálculo del CAUE para la gestión a nivel de proyecto únicamente y se omitirá el valor residual.

El concepto se aplicará a nivel proyecto, ya que el CAUE sería el costo que le representaría al municipio anualmente para poder pagar la intervención en el plazo de análisis. Por lo que si un proyecto se compara con otro y existe un criterio donde se le dé prioridad al que tiene menor CAUE se podría intervenir la red de una forma más ordenada e inteligentemente considerando la vida útil de las distintas intervenciones viales, haciendo lo que sale más barato hoy y durará lo mismo que algo que saldría más caro teniendo el mismo nivel de importancia.

2.9. Sistema de Información Geográfico (SIG)

La definición de un Sistema de Información Geográfico (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías, esto con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas. Los mapas representan colecciones lógicas de información geográfica como capas de mapa. Constituyen una metáfora eficaz para modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas. Asimismo, los

mapas SIG interactivos ofrecen la interfaz de usuario principal con la que se utiliza la información geográfica. El objetivo de SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente (Esri, 2019).

Un SIG requiere de alto nivel de calidad, precisión y detalle en los datos, así como de un buen equipamiento en cuanto a hardware y software, además de personal que tenga el conocimiento y compromiso necesarios para el mantenimiento de dicho sistema.

Esto quiere decir que al ser un sistema se integran y relacionan diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, el almacenamiento, la manipulación, el análisis y la modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, lo cual facilita la incorporación de infraestructura vial considerando aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz. Es por lo que se han convertido en una forma muy práctica de manejar la información. De esta forma, dicha información se vuelve visualmente fácil de entender y se le puede asociar múltiples atributos. Además de mapas permite generar tablas y gráficos, lo cual facilita la interpretación de la información para cualquier persona y permitiría trabajar bajo el principio de que se conocen las cantidades de los datos que se tienen (inventario), dónde está y cómo está lo que existe.

Un SIG se puede implementar solo si se cumplen los siguientes pasos:

- 1) Conocer las necesidades: debe incluir las necesidades de los usuarios, lo cual depende de quiénes lo usarán y para qué, así como el nivel de conocimiento que estos posean. La frecuencia con la que van a estar usando el SIG y la ubicación física de estos. Deben determinarse también las fuentes de datos que van a alimentar al sistema y las necesidades de información, así como el tipo y precisión que deben tener los atributos, la cobertura geográfica, frecuencia de actualización, entre otros.
- 2) Diseño: esta etapa implica el diseño de las aplicaciones que se utilizarán o la decisión de qué software comercial se adquirirá, diseñar las bases de datos (formato de capas, elementos individuales y atributos), se debe incluir “Metadatos” los cuales contienen la información de los datos para los usuarios meta. Esto último permite compartir la información vía web con otros usuarios, que pueden revisar los atributos de las capas y saber de antemano si les son de utilidad. Esta etapa también contempla la implementación de técnicas, métodos y procedimientos para convertir distintos tipos de datos a bases geográficas. Se debe también diseñar un plan de implementación, que incluya un cronograma.

- 3) Plan piloto: este debe incluir la elaboración de una base de datos piloto, los prototipos de aplicaciones prioritarias a implementar, capacitación a personal clave (usuarios prioritarios y administradores), hacer sesiones de prueba y revisiones por medio de reuniones o evaluaciones que incluyan a los usuarios y documentar todo el proceso.
- 4) Producción: se finaliza la elaboración e instalación del software y las técnicas para el control de calidad, la conversión de todos los datos, se debe tener todo el software y hardware necesarios, documentar los procedimientos que se aplicarán para mantenimiento del sistema y para los usuarios finales, entrenar a los usuarios.
- 5) Desarrollo: instalación de todo el equipo y entrenar tanto a usuarios, como al personal que se encargará del mantenimiento, hacer pruebas para verificar el buen funcionamiento del sistema y aplicar el sistema, tomando en cuenta la transición de sistemas anteriores

De acuerdo con Centro de Recursos de ArcGIS, de la empresa Esri. El uso de Sistemas de Referencia Lineal es ideal para facilitar la actualización y recolección de datos, así como su almacenamiento y visualización. Estos son especialmente útiles para entidades que se encarguen redes viales o transportes, pues permiten almacenar datos referidos a una ubicación según la longitud de las vías o rutas (Esri, 2019).

2.10. Propuesta de un SGP a través de un SIG

Conociendo que la necesidad de las municipalidades de Costa Rica es que la gestión se realice bajo una metodología que permita el seguimiento y evaluación de los pavimentos de manera que pueda brindar seguridad y comodidad a los usuarios y obtener mayor rentabilidad posible en el dinero invertido, sujetos a restricciones técnicas, económicas, políticas y ambientales; y conociendo que la planificación y administración de pavimentos requieren el uso de herramientas tecnológicas que faciliten el trabajo y garanticen una optimización del uso de recursos, así como una mayor capacidad de respuesta en la toma de decisiones, es por lo que se propone implementar un SGP a través de un SIG que trabaje bajo parámetros funcionales como el IRI, *Grip Number* y PCI para gestionar a nivel de red y proyecto y que considere, adicionalmente, parámetros estructurales como FWD para nivel proyecto.

Lo anterior debido a que al ser Costa Rica un país en vías de desarrollo, su TPD en rutas cantonales no superan los 15000 vehículos, por lo que la estructura de los pavimentos casi no se deforma y se evidencian en los estudios de deflectometría. Son casos esporádicos que ocupan intervenciones a nivel estructural, por lo que se atienden focalizadamente a nivel proyecto. Es por esta razón que el SGP debe dar énfasis a los parámetros funcionales para gestionar a nivel de red ya que son los que sí se ven afectados con el tiempo, factores ambientales y cargas a las que se exponen. Esto genera críticas a nivel social y disconformidades

contra las municipalidades del país al ser las responsables de mantener sus carreteras en buen estado y esto porque los daños a nivel funcional se reflejan de manera que generan perspectivas negativas en el observador.

Los SIG tienen la ventaja de responder varias preguntas e identificar de forma clara la información requerida por lo que un SGP a través de un SIG podría responder las preguntas que se mencionan en la siguiente **Ilustración 38**:

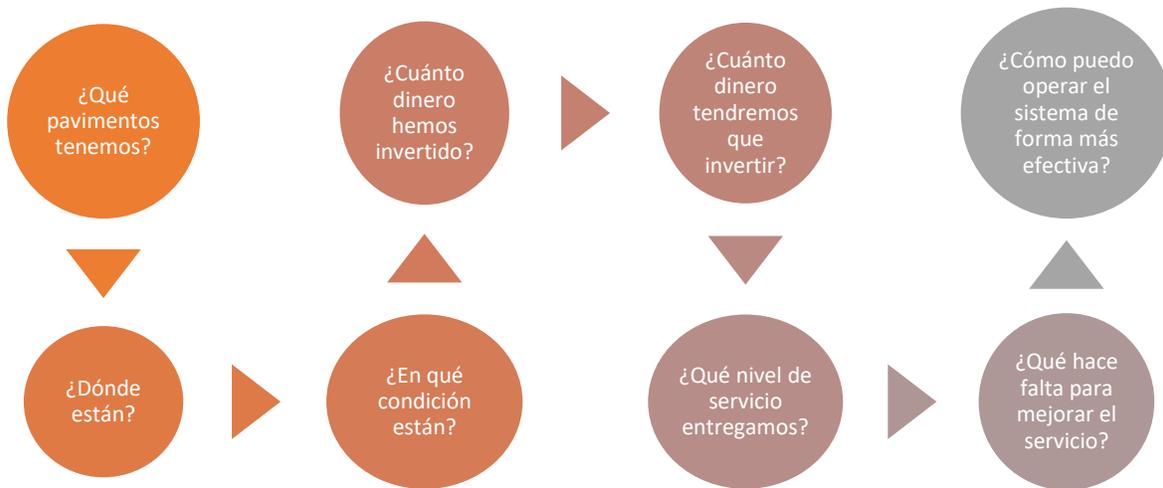


Ilustración 38. Preguntas que responde un SGP a través de un SIG
Fuente: Cruz, W., Pabón, C. (2016). Modificado por Rothe. R.

Nótese que la ventaja de tener un sistema conformado por medio de un SIG es que este se realimenta con la experiencia y el tiempo ya que se puede determinar donde se está fallando o lo que falta por mejorar. Por lo que con toda su información este permite ir mejorando su efectividad y permite predecir más fácil el desempeño de los pavimentos a futuro mediante el análisis en el tiempo y alimentación de la base de datos. Además, satisface las necesidades de cualquier administrador en la Gestión Vial.

Según afirma Díaz (2013): La recolección de datos es una de las tareas más valiosas y costosas dentro de los programas de gestión de pavimentos. Cada rato requiere, tiempo, esfuerzo del recurso humano y dinero para ser recopilado, almacenado y recuperado. Todo implica costos muy elevados que muchos de los gobiernos locales no son capaces de cubrir y tampoco cuentan con los equipos de laboratorio necesarios para evaluar la red cantonal (p.225).

Ahora bien, con el avance de la tecnología hay países en vías de desarrollo donde se están implementando nuevos métodos tecnológicos que facilitan la implementación de un SGP a través de un

SIG, la cual se fundamenta en la fusión de conceptos de arquitectura de computadoras y de sistemas operativos para generar automáticamente registros de los daños presentes en las vías, así como en la conformación de mapas de deterioro vial a través de plataformas WEB donde se describen los puntos con requerimientos de intervención y se vuelve visualmente fácil de entender para poder realizar análisis (Moya, 2015).

A pesar de que los SIG se han convertido en una forma muy práctica de manejar la información porque se conoce su distribución y ubicación geográfica exacta, en Costa Rica no existe ninguna municipalidad que tenga un SGP. Según las fuentes consultadas y especialistas del tema, un SGP debería estar totalmente georreferenciado y con una buena base de datos. Este tipo de sistema se facilita implementarlo en una Municipalidad de Costa Rica ya que no representa costos tan altos comparado con otras opciones del mercado que utilizan otros softwares especializados directamente para Gestión Vial. Además, las municipalidades ya cuentan con una Unidad Técnica de Gestión Vial establecida para que se encargue de su funcionamiento, alimentación y control. Las limitaciones se dan con:

- La disposición política a nivel administrativo para que apoye su implementación con la metodología de planes de inversión, políticas del sistema y se pueda desarrollar un proceso de gestión proactiva sin que esta se vea interrumpida por cambios de intereses a nivel político o continuidad de gobiernos,
- La disposición de una plataforma SIG y personal capacitado para su uso,
- El recurso humano necesario para que dé abasto la administración del sistema,
- La dependencia de laboratorios externos para diagnosticar la red con sus diferentes equipos y ensayos,
- La dependencia de subcontratos de empresas que tengan la capacidad para construir las diferentes técnicas y alternativas de intervención vial. También la disponibilidad de maquinaria especializada para efectuar ensayos de laboratorio y labores en carreteras o dependencia de subcontratos para esto también.

Los expertos dicen que en los casos donde no existe un mecanismo de gestión apoyado en procesos objetivos de obtención de información, se correría el riesgo de formular planes de poco alcance, reduciendo su efectividad, especialmente en países en vía de desarrollo, donde los recursos son escasos (Macea, Márquez, Morales, 2015). Es sumamente importante mantener en buen estado la infraestructura vial para evitar sobre costos de operación en el transporte de personas y bienes. Se dice que un país que permita el deterioro de su infraestructura vial tendrá sobre costos de operación vehicular en un rango que se puede ubicar entre 1 % y 3 % de su Producto Interno Bruto nacional (PIB). (Bull, 2003).

En resumen los SGP son herramientas importantes de análisis que interactúan el uso de la información de la base de datos, aplicando criterios y algunos de los métodos ingenieriles con los recursos estratégicos: estándares de desempeño, políticas ambientales, sociales, técnicas de conservación y reconstrucción vial se pueden lograr criterios de priorización para tomar decisiones, planificar el presupuesto e invertir en las diferentes funciones que representan la gestión vial y así estimular la industria, comercio y turismo.

La creación de un sistema de estos crea la oportunidad de comenzar con un plan piloto de generar subsistemas de gestión que formen en un futuro un Sistema de Gestión de Activos (SGA) donde se consideran los demás elementos que se encuentran dentro del derecho de vía público.

Estos sistemas no deben limitarse solamente a la conservación y reconstrucción vial, sino que se deben definir proyectos de mejoramiento, ampliación de carreteras y nuevos proyectos carreteros.

Para evitar que se den estas limitaciones, se pueden implementar planes y técnicas que consideren transformar las limitaciones en oportunidades y que estas sean respetadas por las políticas institucionales, misión y visión. Además, en Costa Rica existe un orden jurídico el cual es el conjunto de normas que determinan el comportamiento social, económico, político y jurídico de los individuos de un país. Su incumplimiento, o desacato, implica sanciones por parte de las autoridades correspondientes. En la siguiente sección se explicará un poco el marco legal.

2.11. Marco Legal Costarricense aplicado a la Gestión de Vías Cantonales

De acuerdo con lo que indica el Art. 6 de Ley General de la Administración Pública de este país, Ley N° 6227 del 02 de mayo de 1978. En Costa Rica el orden jerárquico de estas normas se ajusta y sujeta a la pirámide propuesta por el profesor austriaco Hans Kelsen con el siguiente orden mostrado en la **Ilustración 39**:



Ilustración 39. Orden Jerárquico Legal de Costa Rica

Fuente: Poder Judicial de Costa Rica (2019).

También, la Ley N° 7494 “Ley de Contratación Administrativa” del 02 de mayo de 1995. Bajo la cual trabajan las municipalidades de este país e indica en el artículo 3 el Régimen Jurídico: “La actividad de contratación administrativa se somete a las normas y los principios del ordenamiento jurídico administrativo” (p. 2).

Esto determina, a nivel jurídico, que los acuerdos del Concejo Municipal o decisiones políticas estarían en la sección de Normas sujetas a los anteriores reglamentos, por debajo de la Constitución Política, Tratados o Convenios Internacionales, Leyes, Decretos y Reglamentos del Poder Ejecutivo y Estatutos Institucionales.

Esto aclara el panorama y marco legal en el que se encuentran las responsabilidades de una Municipalidad de Costa Rica. A continuación, se mencionan importantes artículos de las diferentes leyes que norman el tema de gestión vial:

La Gestión Vial en las Municipalidades de Costa Rica se basan en los principios de las leyes N° 5060, 8114 y 9329. Además, los Decretos Ejecutivos 38578 MOPT, 40137 MOPT, 40138 MOPT y 40139 MOPT.

La Ley 5060 (1972) llamada Ley General de Caminos Públicos indica en el artículo 1:

RED VIAL CANTONAL: Corresponde su administración a las municipalidades. Estará constituida por los siguientes caminos, no incluidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes dentro de la Red vial nacional: a) Caminos vecinales: Caminos públicos que suministren acceso directo a fincas y a otras actividades económicamente rurales; unen caseríos y poblados con la Red vial nacional, y se caracterizan por tener bajos volúmenes de tránsito y altas proporciones de viajes locales de corta distancia. b) Calles locales: Vías públicas incluidas dentro del cuadrante de un área urbana, no clasificadas como travesías urbanas de la Red vial nacional. c) Caminos no clasificados: Caminos públicos no clasificados dentro de las categorías descritas anteriormente, tales como caminos de herradura, sendas, veredas, que proporcionen acceso a muy pocos usuarios, quienes sufragarán los costos de mantenimiento y mejoramiento. (p.1).

La Ley 8114 (2001) llamada Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias indica en el artículo 5:

Del producto anual de los ingresos provenientes de la recaudación del impuesto único sobre los combustibles, se destinará un cuarenta y ocho coma sesenta por ciento (48,60%) con carácter específico y obligatorio para el Ministerio de Hacienda, el cual, por intermedio de la Tesorería Nacional, se lo girará directamente a cada una de las siguientes instituciones:

a) Un veintiuno coma setenta y cinco por ciento (21,75%) a favor del Consejo Nacional de Vialidad (Conavi) para la atención de la red vial nacional, los cuales se destinarán exclusivamente a la conservación, el mantenimiento rutinario, el mantenimiento periódico, el mejoramiento, la rehabilitación y la construcción de obras viales nuevas de la red vial nacional.

b) Un veintidós coma veinticinco por ciento (22,25%) a favor de las municipalidades, para la atención de la red vial cantonal, monto que será priorizado conforme a lo establecido en el plan vial de conservación y desarrollo (quinquenal) de cada municipalidad. Dicha red vial está compuesta por todos los caminos y calles bajo administración de los gobiernos locales, inventariados y georeferenciados como rutas cantonales por estas, y que constan en los registros oficiales del Ministerio Obras Públicas y Transportes (MOPT), así como por toda la infraestructura complementaria, siempre que se encuentre en terrenos de dominio público y cumpla los requisitos de ley.

Asimismo, se considerarán como parte de la red vial cantonal las aceras, ciclovías, pasos, rutas peatonales, áreas verdes y de ornato, que se encuentran dentro del derecho de vía y demás elementos de infraestructura de seguridad vial entrelazadas a las calles locales y caminos cantonales, el señalamiento vertical y horizontal, los puentes y demás estructuras de drenaje y retención y las obras geotécnicas o de otra naturaleza asociadas con los caminos.

La totalidad de la suma correspondiente a este veintidós coma veinticinco por ciento (22,25%) será girada directamente a las municipalidades por la Tesorería Nacional, de acuerdo con los siguientes parámetros:

i. El cincuenta por ciento (50%), según la extensión de la red vial de cada cantón inventariada por los gobiernos locales y debidamente registrada en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

ii. El treinta y cinco por ciento (35%), según el Índice de Desarrollo Social Cantonal (IDS) elaborado por el Ministerio de Planificación y Política Económica (Mideplán).

Los cantones con menor IDS recibirán proporcionalmente mayores recursos.

iii. El quince por ciento (15%) restante será distribuido en partes iguales a cada una de las municipalidades. La ejecución de estos recursos se realizará bajo la modalidad participativa de ejecución de obras. El destino de los recursos lo propondrá, a cada concejo municipal, una junta vial cantonal o distrital, en su caso, nombrada por el mismo concejo, la cual estará integrada por representantes del gobierno local y de la comunidad, por medio de convocatoria pública y abierta, de conformidad con lo que determine el reglamento de la presente ley. (p.5)

Lo subrayado anteriormente no es del texto original, sin embargo, se resalta de los párrafos anteriores la evidencia de la gestión de pavimentos que tienen los gobiernos locales en rutas cantonales, la importancia de la junta vial y la georreferenciación de la red vial junto con su inventario.

La Ley 9329 (2015) llamada *Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal* indica en el artículo 2:

La atención de la red vial cantonal, de forma plena y exclusiva, será competencia de los gobiernos locales, a quienes les corresponderá planear, programar, diseñar, administrar, financiar, ejecutar y controlar su construcción, conservación, señalamiento, demarcación, rehabilitación, reforzamiento, reconstrucción, concesión y operación, de conformidad con el plan vial de conservación y desarrollo (quinquenal) de cada municipio. (p.1)

Lo subrayado en el párrafo anterior no es del texto original, sin embargo, resalta la gestión que le compete a un municipio en la red vial cantonal.

El Decreto Ejecutivo 40137 MOPT (2017) llamado Reglamento a la Primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal, indica en el artículo 5 lo siguiente:

Las municipalidades deberán ejercer, al menos, las siguientes funciones para el adecuado desempeño de sus competencias en gestión vial, las cuales deberán ser

ejecutadas por personal profesional o técnico idóneo con la organización y características que definan de acuerdo con la normativa que las regula:

a) Elaborar y ejecutar los Planes Viales Quinquenales de Conservación y Desarrollo.

b) Incorporar a los planes y presupuestos anuales municipales, los componentes de los Planes Viales Quinquenales de Conservación y Desarrollo que correspondan para cada ejercicio económico.

c) Promover la modalidad participativa de ejecución de obras, a través del fortalecimiento de las organizaciones locales y su vínculo con otras instancias afines, con el propósito de propiciar trabajos conjuntos de conservación de las vías públicas y el control social de los proyectos que se realicen.

d) Realizar y actualizar el inventario de la red de calles y caminos del cantón.

e) Utilizar y mantener actualizado un Sistema de Gestión Vial Integrado o similar para la administración de la infraestructura vial cantonal.

f) Garantizar el cumplimiento de las disposiciones técnicas oficializadas por el MOPT en su condición de rector técnico, incluyendo la implementación de un programa permanente de aseguramiento de la calidad.

g) Aplicar y garantizar la incorporación del componente de seguridad vial en todas las obras, en coordinación con el Consejo de Seguridad Vial y la Dirección General de Ingeniería de Tránsito.

h) Mantener un expediente de cada uno de los caminos del cantón, que contenga el inventario vial, el inventario de necesidades, la lista de colindantes, las intervenciones e inversiones realizadas, así como las organizaciones comunales involucradas, entre otros.

i) Mantener, adicionalmente al expediente de caminos, expedientes de proyecto que contengan la documentación generada por cada intervención vial que se realice.

j) Priorizar los proyectos viales a ejecutar dentro de las respectivas jurisdicciones, tomando en consideración los criterios técnicos. Tal priorización deberá sustentarse en la evaluación socioeconómica de las diferentes vías a intervenir que cuantifique los beneficios a sus usuarios. Dichas evaluaciones involucrarán parámetros como conectividad y concepto de red, tránsito promedio diario, acceso a servicios en las comunidades, densidad de población y volumen de producción. Complementariamente se podrá utilizar el Índice de Viabilidad Técnico-Social (IVTS), establecido por la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPT.

k) Controlar los derechos de vía de la red vial cantonal y asegurar su defensa y restitución en caso de invasiones o afectaciones, en concordancia con el artículo 231 de la Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres y Seguridad Vial, No. 9078 y demás disposiciones de la Ley General de Caminos Públicos que regulan la materia.

l) Reglamentar la previsión vial, la obtención de derechos de vía mediante donaciones y la colaboración de las organizaciones comunales en la vigilancia del derecho de vía.

m) Establecer un sistema de prevención, mitigación y atención de emergencias en las vías del cantón.

n) Velar por la aplicación de lineamientos técnicos emitidos por el MOPT, en materia de inventario, clasificación y referencia de la red vial cantonal, y suministrar dichos inventarios periódicamente al MOPT. La actualización de los inventarios deberá realizarse como mínimo cada cinco años.

o) Proponer al Concejo Municipal la reglamentación que considere pertinente para la efectiva gestión vial cantonal. Elaborar y someter a aprobación del Concejo Municipal los convenios de cooperación con organizaciones comunales o de usuarios, u otras personas o entidades públicas o privadas, nacionales o extranjeras, en materia de gestión vial.

p) Proponer al Concejo Municipal la suscripción de convenios de cooperación con el Consejo Nacional de Vialidad para colaborar en la atención inmediata de carreteras de la red vial nacional que sean de interés municipal y que se encuentren ubicadas en la jurisdicción cantonal.

q) Elaborar los estudios previos, así como la resolución administrativa que, conforme a la Ley de Construcciones No. 833, deberá someterse a conocimiento del Concejo Municipal, para la declaratoria oficial de caminos públicos en la red vial cantonal.

(p. 6)

Lo subrayado anteriormente no es del texto original, sin embargo, resalta funciones en gestión vial que deben cumplir los gobiernos locales. Aspectos súper importantes de control, planificación, priorización, mantenimiento del inventario vial, monitorear pavimentos para garantizar su buen estado y funcionalidad, considera intervenciones de acuerdo con métodos de conservación de pavimentos y habla de generar una base de datos con bastante información que le llaman expediente de caminos. Todo lo anterior se considera en lo que representa la definición de un SGP.

El Decreto N° 38578 MOPT (2014) estableció el Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal de la Dirección de Planificación Sectorial Departamento Medios de Transporte del MOPT donde se implementa una metodología de evaluación de pavimentos completamente a criterio ingenieril sin explicar cómo calcular la magnitud del deterioro basándose en parámetros técnicos que consideren los diferentes tipos de deterioros. Dicha metodología se basa en calificar el estado de la superficie de ruedo y drenaje con la escala anterior mencionada a juicio ingenieril, lo cual genera un nivel de incertidumbre a la hora de realizar una intervención vial, pudiendo ser no la óptima creando preocupaciones máximo si se habla de inversiones económicas ya que se pueden despilfarrar fondos públicos.

El Decreto Ejecutivo 40138 MOPT (2017) llamado Reglamento al inciso b) del artículo 5 de la Ley No. 8114, indica en el artículo 3 lo siguiente:

A las municipalidades les corresponde, conforme a su autonomía constitucional, la administración y ejecución de los recursos que establece el inciso b) del artículo 5 de la Ley No. 8114 para atender la red vial cantonal de su respectiva jurisdicción territorial. Las municipalidades deberán asumir, de pleno derecho, la responsabilidad por la correcta ejecución de los recursos transferidos. Lo anterior contempla la necesidad de contar con el recurso humano técnico y profesional que ellas consideren adecuado, encargado del desarrollo de las competencias de gestión vial. Dicho recurso humano, en su función asesora, proporcionará el criterio y los insumos técnicos a la Junta Vial para el cumplimiento de sus competencias y a las autoridades municipales para el desempeño de las funciones establecidas en el artículo 5 del reglamento a la primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal. (p.6)

Este Decreto 40138 MOPT reglamenta la obligación del recurso humano a cargo de la gestión vial cumplir con funciones de asesoría, proporcionar criterios e insumos técnicos a la Junta Vial y autoridades municipales para el cumplimiento de sus competencias y funciones establecidas en el artículo 5 de la ley 8114.

Por último, existe el Decreto 40139 MOPT (2017) llamado Oficialización de la Norma Técnica para el Desarrollo y Conservación de la Red Vial Cantonal, indica en el artículo 2 lo siguiente: “La versión oficial de la “Norma técnica para el Desarrollo y la Conservación de la Red Vial Cantonal” se publica como anexo al presente Decreto Ejecutivo y estará asimismo publicada en la página de Internet del MOPT (www.mopt.go.cr)” (p.1).

Esta norma posee la normativa aplicable a vías cantonales para el diseño o definición de las actividades de conservación, reconstrucción o construcción de obra nueva.

Entonces, teóricamente a sabiendas de lo indicado en todos los incisos de las leyes anteriores que hablan de obligaciones de las municipalidades del país que se pueden resumir y cubrir mediante la implementación de un SGP. Se podría generar un sistema y recomendarlo al Concejo Municipal para que

este se reglamente como una herramienta de uso obligatorio para la UTGV y sea de conocimiento para los demás involucrados, en el caso de Heredia (ESPH, AyA, ICE, CNFL, MOPT, CONAVI, INCOFER, entre otras entidades) y cómo va fundamentado bajo parámetros técnicos, sociales, ambientales, económicos, principios institucionales y cumpliendo con el marco legal costarricense ya que se estaría mejorando un proceso que es el proceso de evaluación de pavimentos (área de la gestión vial) costaría que un criterio técnico no tenga peso sobre una decisión política, por lo que se podría lograr implementar el sistema. Si este no se reglamenta se puede generar una directriz interna por parte de la alcaldía como un nuevo procedimiento donde se obligue a utilizar el sistema por parte de la UTGV con el fin de mejorar la gestión de los pavimentos y optimizar los recursos. Además, la misma ley indica mediante el decreto N°40137 en el inciso o) “Proponer al Concejo Municipal la reglamentación que considere pertinente para la efectiva gestión vial cantonal”.

Esto podría servir de igual forma para incorporar recurso humano, comprar maquinaria, equipos entre otras necesidades que tienen las UTGV de las Municipalidades de este país.

Con este SGP se podrá facilitar el proceso de evaluación de pavimentos mencionado en el Decreto 38578, el cual tiene carencias técnicas de evaluación de los pavimentos basadas en parámetros de desempeño que miden la capacidad de estos a nivel funcional y estructural.

3. CAPÍTULO III - MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se despliega el proceso metodológico utilizado para el desarrollo del proyecto. La semilla del proyecto proviene de un diagnóstico vial aplicado en las carreteras cantonales de Heredia donde se aplicaron pruebas y ensayos a los pavimentos para medir el tránsito, estado funcional y estructural de los pavimentos flexibles de los cinco distritos que corresponden a la jurisdicción de la Municipalidad Heredia. Para llevar a cabo los estudios, obtener los datos semilla y los que seguirán alimentando el SGP se utilizaron equipos de laboratorio sobre toda la red vial cantonal como lo son: contadores automáticos vehiculares, deflectómetro de impacto, Geo3D y el Perfilómetro Inercial Láser, equipos y ensayos subcontratados a laboratorios externos de los cuales dependen los municipios de Costa Rica por falta de equipos propios.

El SGP se diseñó de acuerdo con los conocimientos adquiridos por medio de las fuentes y sujetos de información investigadas donde se indican las partes básicas que debe tener dicha herramienta, la cual se implementó mediante un SIG como instrumento que facilita almacenar la base de datos de forma actualizada y con sus beneficios y aplicaciones se pueden desarrollar muchas funciones necesarias para gestionar.

Con los estudios y ensayos de laboratorio se procedió a aplicar una metodología base de evaluación de pavimentos flexibles que mediante parámetros e indicadores de desempeño conjunto a criterios de priorización y políticas de orden técnico, social, ambiental, económico se puede priorizar, planear y tomar decisiones de intervención vial mediante técnicas de conservación y reconstrucción. De esta forma funciona el sistema de gestión propuesto para la UTGV.

A continuación, se muestra una **Ilustración 40** con el diagrama que describe el flujo metodológico empleado para diseñar el Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles para el Municipio Herediano por pasos:

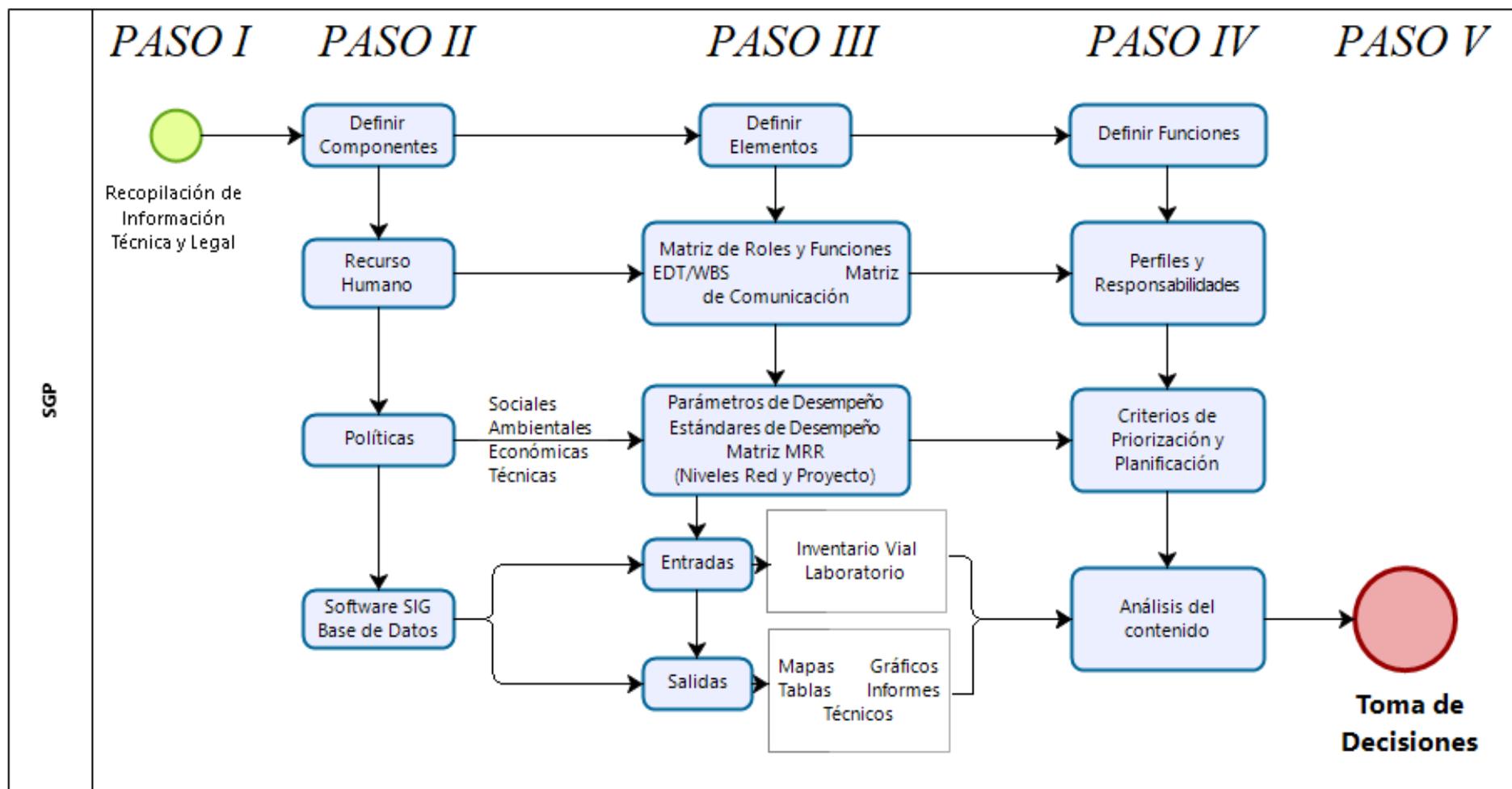


Ilustración 40. Flujo del proyecto de investigación
 Fuente: elaboración propia (2020).

De acuerdo con el diagrama anterior, se procede a explicar textualmente los pasos que se siguieron para lograr el desarrollo este proyecto:

PASO I: se debió recopilar toda la información legal y técnica para poder hacer un análisis integral de esta y de la situación municipal para proceder a diseñar el SGP.

PASO II: una vez revisada toda la información recopilada, se procedió a definir todos los componentes del SGP:

- Recurso humano,
- Políticas sociales, ambientales, económicas y técnicas,
- Herramienta del software SIG para generar base de datos y otras aplicaciones.

PASO III: se definieron los elementos para cada uno de los componentes del paso anterior.

- Recurso humano:
 - Matriz de roles y funciones para cada uno de los involucrados del SGP,
 - Matriz de comunicación del SGP,
 - EDT o WBS del proyecto SGP-SIG.
- Políticas sociales, ambientales, económicas y técnicas:
 - Se definieron los insumos para tomar decisiones (parámetros y estándares de desempeño),
 - Se determinó la matriz MRR con diferentes opciones de intervención para nivel de proyecto y nivel de red.
- Herramienta del software SIG para generar base de datos y otras aplicaciones.
 - Se definieron las entradas de la base de datos del SGP con la información del inventario vial municipal, informes del diagnóstico vial realizado por el Laboratorio LanammeUCR y a través de la herramienta del SIG se logró alimentar la base de datos con la información semilla para así obtener las salidas deseadas y poder gestionar los pavimentos analizando el contenido.

PASO IV: se definieron las funciones del recurso humano mediante perfiles y responsabilidades para cada involucrado. Se determinaron los criterios de priorización y planificación para poder gestionar los pavimentos analizando el contenido.

PASO V: se realizó un caso de estudio con el contenido y así tomar decisiones con el fin de demostrar la utilidad del SGP-SIG.

A continuación, se muestra la **Ilustración 41** con el diagrama que describe el flujo de cómo funciona el Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles propuesto para el municipio herediano:

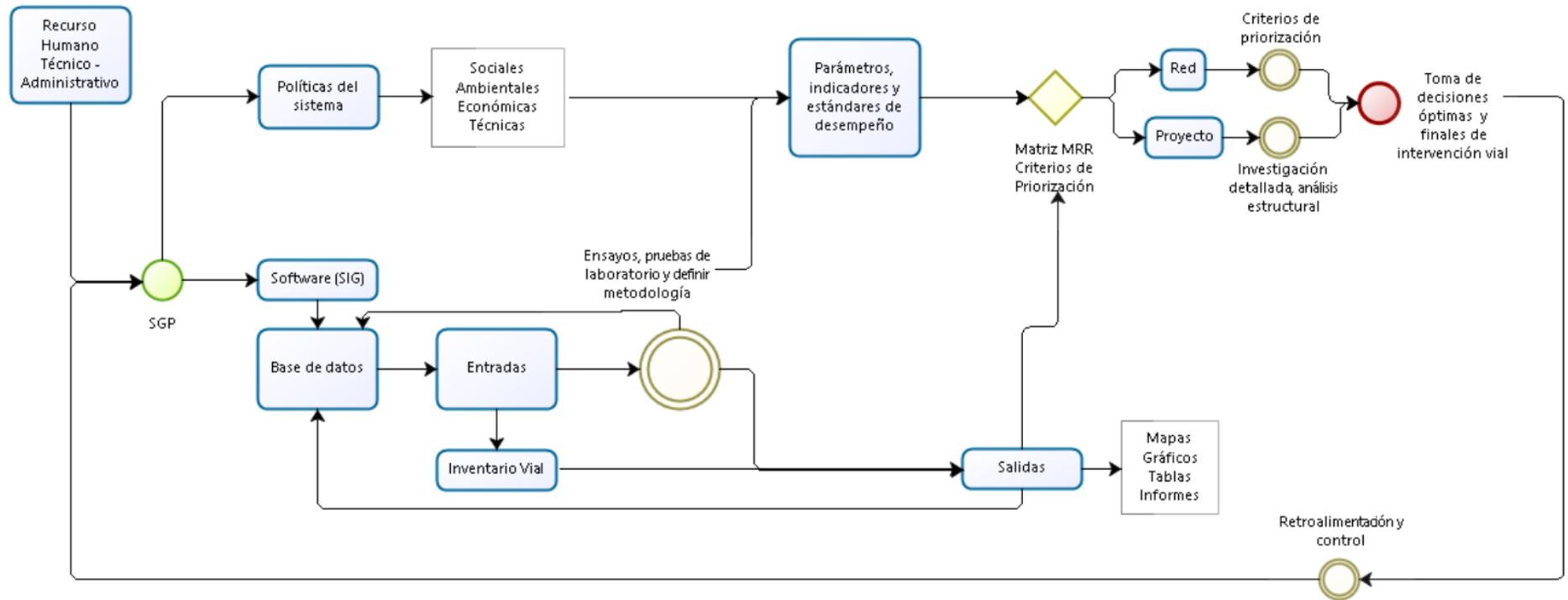


Ilustración 41. Flujograma de Funcionamiento del SGP Propuesto

Fuente: elaboración propia (2020).

3.1. Tipo de Investigación

Es una investigación cualitativa de tipo teórica fundamentada. Esto porque tiene un diseño sistemático con un procedimiento de generación de teoría que permite la toma de decisiones. Los resultados de las mediciones realizadas en campos categorizaron y clasificaron según la teoría de forma cualitativa basándose en parámetros de desempeño y sus rangos de clasificación. De esta forma, se puede elegir la alternativa óptima para intervenciones viales según sea el estado de condición de la carretera junto con una serie de políticas y criterios establecidos que conforman el SGP. A continuación, se detalla:

Los primeros datos de inmersión de la investigación fueron las anotaciones, con lo cual se desarrolló un estado de la cuestión y, posteriormente, se profundizó la investigación para obtener anotaciones más completas y focalizadas. Estos datos fueron obtenidos de una recolección de documentos, materiales y charlas de especialistas en la materia.

Los datos recolectados para el análisis se prepararon y se analizaron bajo teoría fundamentada y por medio de diferentes herramientas como matrices, diagramas, mapas, gráficos y esquemas. Técnica conocida como análisis del contenido. Esta labor se efectuó con la ayuda de herramientas como un SIG y programas de optimización como Excel.

Finalmente, se obtuvo el diseño final del SGP por medio del cual se obtuvieron los resultados que son el conjunto de herramientas funcionando de forma integral y que permiten facilitar la toma de decisiones para optimizar las inversiones de acuerdo con la condición de los pavimentos del cantón de Heredia. Esto permite regresar al campo por más datos, determinar el cumplimiento de los propósitos de análisis y realimentar el sistema.

3.2. Fuentes de Investigación

Como parte del desarrollo del proyecto, se utilizaron las siguientes fuentes:

3.2.1. Primarias

Las fuentes primarias de información consisten en libros relacionados con la materia, informes de investigación y una serie de experiencias nacionales e internacionales como: conferencias, congresos, revistas, tesis y artículos técnicos de distintos autores y expertos en materia de gestión de pavimentos a través de SIG en distintos países. Además de la información recopilada en algunos de los cursos impartidos por el programa de Maestría Vial del TEC. A continuación, se mencionan:

- Solminihac, H; Echaveguren, N; Chamorro, A. (2019). *Gestión de Infraestructura Vial*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile,

- Solminihaç Tampier, Hernán E. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile,
- Libro de las Naciones Unidas, CEPAL (1994). *Caminos. Un Nuevo Enfoque Para La Gestión y Conservación de Redes Viales*. Santiago de Chile, Chile,
- Chamoun, Y. (2002). *Administración Profesional de Proyectos La Guía*. México: McGraw-Hill Interamericana,
- Municipalidad de Heredia, Dirección Financiera, Informes de Labores (2009-2019): Inversiones en Pavimentos. Heredia, Costa Rica (2019),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. Proyecto: LM-PI-GM-03-2014: Clasificación de los resultados obtenidos por el Deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal. San José, Costa Rica. (2014),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-11-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Heredia. San José, Costa Rica. (2017),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-11-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Heredia (2017),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-10-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Ulloa de Heredia (2017),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-09-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Vara Blanca de Heredia (2017),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-08-2016: Diagnóstico de la red vial cantonal de San Francisco de Heredia (2016),
- LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-03-16: Diagnóstico de la red vial cantonal de Mercedes de Heredia (2016),
- Cruz, W. & Pabón, C. (2016). *Gestión de Pavimentos a través de los SIG. 18 Conferencia Colombiana de Usuarios Esri*. Bogotá, Colombia,
- Rodríguez, J. (2017). *Gestión de Pavimentos: decisiones, estrategia y planificación de largo plazo*. I Congreso Infraestructura de Transporte, San José, Costa Rica,
- Moya, L. (2015). *El uso de Sistemas de Información Geográfica para la planificación y gestión de infraestructura*. San José, Costa Rica,
- Macea, L., Márquez, L., Morales, L. (2015). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVII (número 2), 223-235,

- Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR / ISSN: 2215-3705 (2016),
- Revista Gerencia Tecnológica Informativa (GTI) / Universidad Industrial de Santander/ ISSN: 2027-8330 (2013),
- Revista Recursos Naturales e Infraestructura / Naciones Unidas CEPAL / ISSN: 1680-9025. (2003),
- Información del Curso Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por la Ing. Fabiola Miranda Arguello, Msc. (2019),
- Información del Curso Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por el Dr. Ing. Pedro Castro Fernández, MBA, MSc. (2019),
- Información del Curso Sistemas de Información Geográfica Aplicado a Obras Viales del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por la Ing. Cassia Soto Montoya (2019),
- Arguello, A. (2006). *Plan piloto de sistema de administración de pavimentos para el cantón de Belén*. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica,
- Castellón, S. (2007). *Sistema de Gestión de Pavimentos en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós* (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica,
- Zamora, L. (2001). Watson, L. (2009). *Desarrollo de una metodología de evaluación de caminos vecinales para la conservación vial (MOPT)*. (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica,
- Vásquez, S. (2009). *Desarrollo de un piloto sistema de administración de pavimentos a nivel de red para las rutas nacionales*. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica,
- Watson, L. (2009). *Desarrollo de una metodología de evaluación de caminos vecinales para la conservación vial (MOPT)*. (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica,
- Rodríguez, J. (2012). *Plan de inversión a nivel estratégico en pavimentos flexibles de la Red Vial Nacional*. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica,
- Velásquez, J., Vera, E. (2013). *Sistema de administración de pavimentos*. (Tesis de posgrado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

3.2.2. Secundarias

Las fuentes secundarias de información consisten en guías, catálogos y manuales que contienen información relacionado con el desarrollo de proyectos, desempeño de pavimentos y técnicas de conservación vial:

- Project Management Institute, PMBOK (2019). *Guía de los Fundamentos Para La Dirección de Proyectos PMBOK*. 6ta edición. Pennsylvania, Estados Unidos,

- AASHTO (1993). *AASHTO Design of Pavement Structures Guide*. [Guía de diseño de estructuras de pavimento] Washington D.C. Estados Unidos de América,
- AASHTO (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. A Manual of Practice*. [Guía de diseño de pavimento empírico-mecanicista. Manual de Práctica] Washington D.C. Estados Unidos de América,
- *Federal Highway Administration. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Program*. [Manual de deterioros] Washington D.C. Estados Unidos de América. (2003),
- Manual Esri, ArcGIS I: Introducción a los SIG. (2019),
- Manual Esri, ArcGIS II: Flujos de Trabajo Esenciales. (2019),
- Manual Esri, ArcGIS III: Ejecutando Análisis. (2019),
- MOPT. Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos Carreteras y Puentes MCV-2015. (2015),
- MOPT. Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal. (2014),
- MOPT. Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. (2010),
- SIECA. Manual Centroamérica de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (2011).

3.2.3. Terciarias

Se utilizaron bases de datos en red y sistemas bibliotecarios nacionales como:

- Base de datos de la Municipalidad de Heredia
- Biblioteca del TEC desde el sitio WEB en la sección de recursos electrónicos
- Repositorio TEC
- Repositorio del SIBDI-UCR
- Google Académico
- Sinalevi (SCIJ) Sistema Costarricense de Información Jurídica de la Procuraduría General de la República
- American National Standards Institute (ANSI), Normas ASTM (American Society for Testing and Materials)

3.3. Sujetos de Información

Los sujetos de información para desarrollar este proyecto fueron:

- a) Municipalidad de Heredia: Institución interesada y beneficiada donde se implementará el SGP.
- b) LanammeUCR: por medio de esta entidad colaboradora se ejecutaron las mediciones en campo con sus equipos y ensayos técnicos especializados para obtener los datos e información semilla del estado de todos los pavimentos cantonales de Heredia a través del IRI, FWD y PCI.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Investigación

3.4.1. Revisión Documental

Se revisó el material recopilado de las fuentes mencionadas con el fin de obtener información técnica y legal selecta para el desarrollo del proyecto.

3.4.2. Revisión de Factores Sociales, Ambientales y Técnicos del Cantón de Heredia

La investigación consideró un estudio del personal disponible en la Municipalidad de Heredia, donde la fuente de información es el Departamento de Recursos Humanos y su base de datos para determinar el recurso humano que gestionará y administrará el sistema. También se consideraron factores del cantón a nivel social, ambiental, económico, junto con factores técnicos con el fin de determinar las políticas y estándares de desempeño del sistema. Estos factores fueron considerados de forma muy general ya que cada uno de estos requiere investigaciones profundas y estudios que se salen del alcance de este proyecto. En este caso, únicamente se consideraron para realizar un Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) *Analytic Hierarchy Process* (ATH) con el fin de determinar pesos a la importancia de los distintos factores por distrito y, de esta forma, determinar los porcentajes de inversión por distrito.

3.4.3. Proceso de Análisis de Jerarquía (PAJ) Analytic Hierarchy Process (AHP)

De acuerdo con Solminihaç, Echaveguren y Chamorro (2019), el método PAJ o AHP es de análisis multicriterio que permite combinar índices o valores cualitativos y cuantitativos que constituyen criterios de decisión, de manera tal que se puede construir un índice de priorización equivalente a la suma lineal de criterios ponderados por su importancia. La importancia se estima con base en el peso relativo de cada criterio sobre un índice de prioridad. La complejidad del método radica justamente en la estimación de dichos ponderadores, que habitualmente se obtienen por juicio experto.

Para priorizar intervenciones viales, es necesario pensar más allá del estado o condición del pavimento ya que existen varios factores que influyen en la gestión de estos como lo son la distribución de usos de suelo que potencian la industria, turismo, comercio, vivienda y generan que el fluido del tránsito se mueva de acuerdo con el desarrollo y crecimiento de un lugar específico, en este caso el cantón de Heredia. Además, las condiciones ambientales que afectarán la condición de los pavimentos y qué tan transitables están y, por

supuesto, no se puede dejar de lado la cantidad de población que vive en la zona ya que es la que más se moverá a lo largo de esta y que desean sus carreteras en buen estado.

Este procedimiento PAJ es mediante el cual se descompone el objetivo de priorizar los recursos económicos en los distintos distritos de Heredia de múltiples factores o atributos más relevantes que intervienen en esta decisión. De acuerdo con el Departamento de Procesos y Sistemas PS4161 Gestión de la Producción I de la Universidad Simón Bolívar (2020), cada uno de estos atributos recibe una ponderación relativa que mide su importancia en la consecución del objetivo general para el que se quiere el análisis (objetivo complejo) con lo que, a la vez, se establecen valoraciones relativas entre los atributos que conforman el conjunto. En relación con estos atributos se establecen criterios de satisfacción que son valorados por medio de escalas, que pueden ser de distinta naturaleza, tales como escalas cardinales, ordinales, nominales, dicotómicas. Precisamente, esta diversidad de escalas es la que permite capturar el grado de satisfacción de criterios sustantivamente diferentes, sean cuantitativos o cualitativos.

En otras palabras, para este proyecto la planificación de los recursos económicos para intervenciones nacerá de este proceso PAJ, para lo cual se establecerán las políticas económicas donde se deben combinar los factores como: jerarquía vial, usos de suelo, población, geología, precipitación y temperatura. Método que determinará en qué orden distrital se invertirán los recursos bajo la importancia de la jerarquía vial ya que, si no se hace de esta forma, los distritos tienen igual importancia ante el municipio, pero los factores son los que afectan directamente a estos a través de sus variables, por lo que se debe considerar esta afectación para realmente determinar el nivel de importancia según las condiciones de cada factor con las respectivas variables mencionadas.

Conociendo todo lo anterior, el método se desarrolla mediante los siguientes pasos:

Paso 1. Estimación de la importancia relativa de los factores que influyen en la decisión de intervención del pavimento flexibles por distritos. La jerarquía se construye de modo tal que los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud (en este caso los distritos) y puedan relacionarse con algunos o todos los elementos del siguiente nivel (ver **Tabla 15**).

Tabla 15. Nivel de importancia para cada distrito del cantón de Heredia

Distritos	Nivel de importancia
Heredia	Igual importancia para los 5 distritos
Mercedes	
San Francisco	
Ulloa	
Vara Blanca	

Fuente: elaboración propia (2020).

Paso 2. Elaborar una escala de comparación por pares de atributos o factores, mediante un arreglo matricial. En este caso la escala es de 1 a 5, ver **Tabla 16:**

Tabla 16. Escala de importancia para la comparación de atributos

Descripción	Escala
Igualmente, en importancia	1
Moderadamente más importante	3
Mucho más importante	5

Fuente: elaboración propia (2020).

Por ejemplo: se comparan los distritos que tienen igual nivel de importancia para el municipio contra sus factores o atributos que influyen. En este caso se compararán los siguientes factores con la razón de peso indicada en la siguiente **Tabla 17:**

Tabla 17. Factores que intervienen en la toma de decisiones de intervención vial y razones de peso

Factor	Factores o atributos	Razón de peso otorgado
Distritos <i>Comparados contra los diferentes factores o atributos</i>	Jerarquía Vial: Primarias	Distrito con mayor número de km de rutas primarias equivale a mayor importancia
	Jerarquía Vial: Secundarias	Distrito con mayor número de km de rutas secundarias equivale a mayor importancia
	Jerarquía Vial: Terciarias	Distrito con mayor número de km de rutas terciarias equivale a mayor importancia

Uso de suelo comercial	Distrito con mayor cantidad de usos de suelo comercial equivale a mayor importancia	Factores técnicos
Uso de suelo industrial	Distrito con mayor cantidad de usos de suelo industrial equivale a mayor importancia	
Uso de suelo turístico	Distrito con mayor cantidad de sitios turísticos, focos o centros de atracción equivale a mayor importancia	
Uso de suelo habitacional/ vivienda	Distrito con mayor cantidad de usos de suelo habitacional / vivienda equivale a mayor importancia	
Población	Distrito con mayor cantidad de población equivale a mayor importancia	Factor social
Geología	Distrito con geología de mejor consistencia de suelo equivale a mayor importancia	Factores ambientales
Precipitación	Distrito con mayores cantidades de precipitaciones promedio equivale a mayor importancia	
Temperatura	Distrito con mayor temperatura intermedio promedio equivale a mayor importancia	

Fuente: elaboración propia (2020).

De acuerdo con el ejemplo de método PAJ de la Universidad Simón Bolívar el resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada Matriz de comparaciones pareadas, de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del objetivo considerado. A modo de ejemplo, en este paso se obtiene para cada criterio una matriz como la que se muestra a continuación, donde se han comparado tres elementos: a, b y c (asumiendo que son 3 distritos) en una escala de 1 a 9, ver **Tabla 18**.

Tabla 18. Matriz de comparación de componentes contra los factores objetivos

	a	b	c
A	1	3	2
B	1/3	1	7
C	1/2	1/7	1

Fuente: Universidad Simón Bolívar (2020).

Según la matriz, el elemento c es dos veces más importante que a, de acuerdo con la razón comparativa (razón de peso otorgado), en tanto que el a es tres veces más importante que b.

Paso 3: Sumar por columnas

Realizada la comparación de los factores en la matriz y asignados los juicios de valor entre pares de factores, es necesario realizar el cálculo de peso (w_j) para cada factor, el cual describe en forma precisa las características de los juicios de valor considerados.

El procedimiento utilizado para obtener el vector principal consiste en completar la matriz de comparación con los valores de juicio de valor y se suma cada columna (Ver **Tabla 19**).

Tabla 19. La matriz de comparación con los valores de juicio de valor y se suma cada columna

	a	b	c
A	1	3	2
B	1/3	1	7
C	1/2	1/7	1
Total	1.83	4.14	10.00
1/total	0.55	0.24	0.10

Fuente: Universidad Simón Bolívar (2020).

Paso 4. Se normaliza la matriz de comparación, dividiendo cada elemento entre el total de su columna.

El procedimiento utilizado para obtener el vector principal consiste en generar una matriz auxiliar en la que se completa cada celda con el resultado de la división cada valor de juicio por la sumatoria de la columna correspondiente. Finalmente, se promedian los valores normalizados de las filas. Este promedio corresponde al vector principal.

El resultado obtenido se puede normalizar, mediante dos procedimientos. El utilizado en el ejemplo, considerado como el más sencillo, normaliza la matriz sumando los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas, se determina el inverso de cada columna y se lo multiplica por cada elemento de la matriz y la resultante se denomina matriz de comparaciones normalizada.

Paso 5. Se estima la importancia relativa de los atributos, estimando el promedio por fila (vector de prioridades).

Sumando cada fila se determina el cálculo del peso o vector principal de cada factor.

A continuación, se calcula la razón de consistencia para verificar los resultados de la asignación de juicios de valor que más allá de las reglas claras y neutrales que puedan establecerse pueden estar afectados por una cuota de subjetividad.

Una vez construida la escala jerárquica de objetivos, realizadas las comparaciones pareadas, concluido el análisis de consistencia y obtenido el vector de prioridades, se cuenta con una valoración de la importancia relativa de cada uno de los criterios considerados (Ver **Tabla 20**).

Tabla 20. *Matriz Normalizada y Resultado de la Importancia Relativa o Vector de Prioridades*

Matriz Normalizada					Importancia relativa o Vector de Prioridades
	a	b	c	Total	
A	0,55	0,72	0,20	1,47	0,49
B	0,18	0,24	0,70	1,12	0,37
C	0,27	0,03	0,10	0,41	0,14
SUMA				3,00	1,00

Fuente: Universidad Simón Bolívar (2020).

Del ejemplo anterior se obtiene la importancia relativa o vector de prioridades (para cada distrito en este caso):

a: 0,49

b: 0,37

c: 0,14

Paso 6. Lo anterior se hará para todos los factores o atributos a comparar por distrito y los promedios obtenidos se agregarán en una matriz resumen.

Paso 7. Luego se debe ponderar cada factor por distrito multiplicando su importancia relativa por el factor de importancia de a, b y c que corresponde, en este caso, a 3 distritos y se suman obteniendo los pesos por factores.

Ya contando con los factores de importancia por distrito se podría distribuir los recursos económicos para intervenir las carreteras de dichos distritos. Conociendo los pesos de importancia por distrito y considerando los factores técnicos, sociales y ambientales, se puede proceder a priorizar por el estado o condición de los pavimentos para optimizar los recursos que se asignaron por medio del PAJ para cada distrito y esto permitiría generar planes de inversión a futuro.

3.4.4. Equipos de Laboratorio y Ensayos

Los equipos de laboratorio y ensayos que se utilizaron para la elaboración de este proyecto y para alimentar la base de datos fueron los que se mencionarán en este apartado. Sin embargo, es importante aclarar y reiterar, tal como se indicó en el marco teórico, en la sección del *Grip Number* (capacidad de fricción), que en el alcance de este proyecto no se midió el *Grip Number*, por lo que no hay resultados de esto y no se consideró en el caso de estudio, pero sí se incluyó este indicador como insumo en la toma de

decisiones del SGP-SIG, para que este cuente con dicho parámetro y a futuro sea utilizado para rutas primarias por sus altas velocidad.

3.4.4.1. Contadores Neumáticos y Automáticos de Tránsito Vehicular (conocidos como contadores de manguera).

Son los equipos portátiles que se utilizaron para medir los flujos vehiculares en las carreteras cantonales. Además, con estos contadores se pudo obtener la clasificación de la flota vehicular y las velocidades de operación. En este caso el equipo pertenece al LanammeUCR. A continuación, se demuestra en la Ilustración 42.



Ilustración 42. Contadores Neumáticos de Tránsito del LanammeUCR
Fuente: LanammeUCR (2017).

También, con los resultados del TPD se pudo clasificar la red vial cantonal por jerarquía, en este caso primarias, secundarias y terciarias bajo los rangos indicados anteriormente.

Además, con este parámetro se pudo calcular la cantidad de ejes equivalentes para cada tipo de carretera donde al municipio le servirá a futuro para poder aplicar metodologías mecánico empíricas de diseño de pavimentos y análisis estructural.

3.4.4.2. Perfilómetro Inercial Láser.

Equipo que se utilizó para medir el IRI. Consiste en la medición de la regularidad del perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella que se mide a través del Perfilómetro Inercial Láser, en este caso del LanammeUCR. A continuación, se representa en la Ilustración 43.

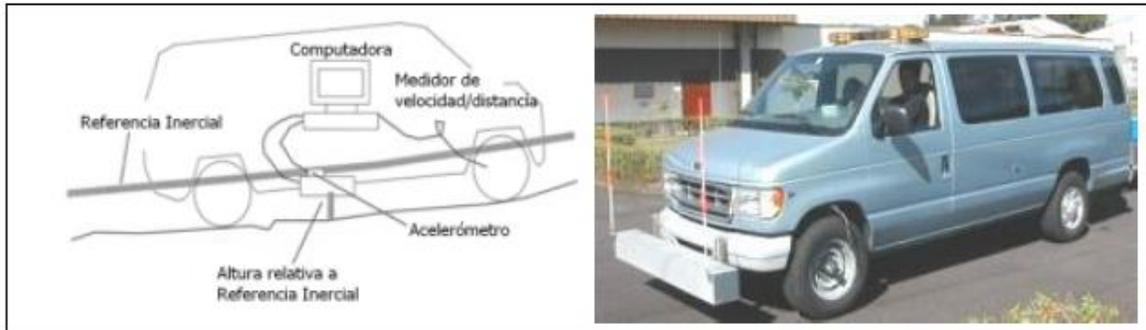


Ilustración 43. Perfilómetro Inercial Láser del LanammeUCR

Fuente: LanammeUCR (2017).

Los resultados de estas mediciones se clasificaron según la calidad funcional en cuatro rangos, tal y como se mostró en la **Ilustración 30**. Dichos rangos determinan el nivel de regularidad del pavimento a nivel funcional (confort del usuario).

3.4.4.3. Deflectómetro de Impacto (FWD, por sus siglas en inglés).

Es el equipo con el que se realizó el ensayo de impacto dinámico para medir las deflexiones en la estructura del pavimento y así conocer su capacidad estructural, la respuesta ante las cargas que se encuentran expuestos. En este caso igual es el del LanammeUCR.

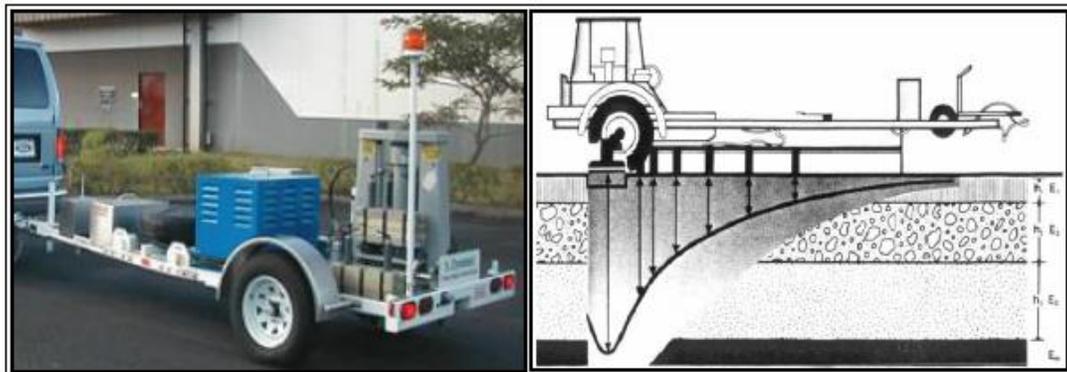


Figura 1. Equipo de Deflectometría de Impacto del LanammeUCR

Fuente: LanammeUCR (2017).

Los resultados de Deflectometría se clasificaron según los parámetros del tránsito que se obtuvieron de la red vial cantonal, tal y como se mostró en la **Ilustración 32**.

Es importante usar varios indicadores que reflejen los sensores del equipo en distintas posiciones, al menos tres de estos, D1, D3, D4, D8, D9.

3.4.4.4. GeoRadar 3D.

Consiste en el uso de vehículo del LanammeUCR que cuenta con 6 cámaras de alta definición que logran captar imágenes de forma consecutiva abarcando la totalidad de la vía. Usando estas imágenes, el programa de manejo de imágenes en combinación con programas de optimización tipo Excel se procedió a calcular el PCI. Con este equipo lo que se logra es sustituir la presencia de inspectores para la auscultación y el cálculo del Índice de Condición del Pavimento se realizó en oficina optimizando recursos económicos, humanos y tiempo. A continuación, se muestra en la Ilustración 44 una imagen del programa utilizado mediante el Geo3D.

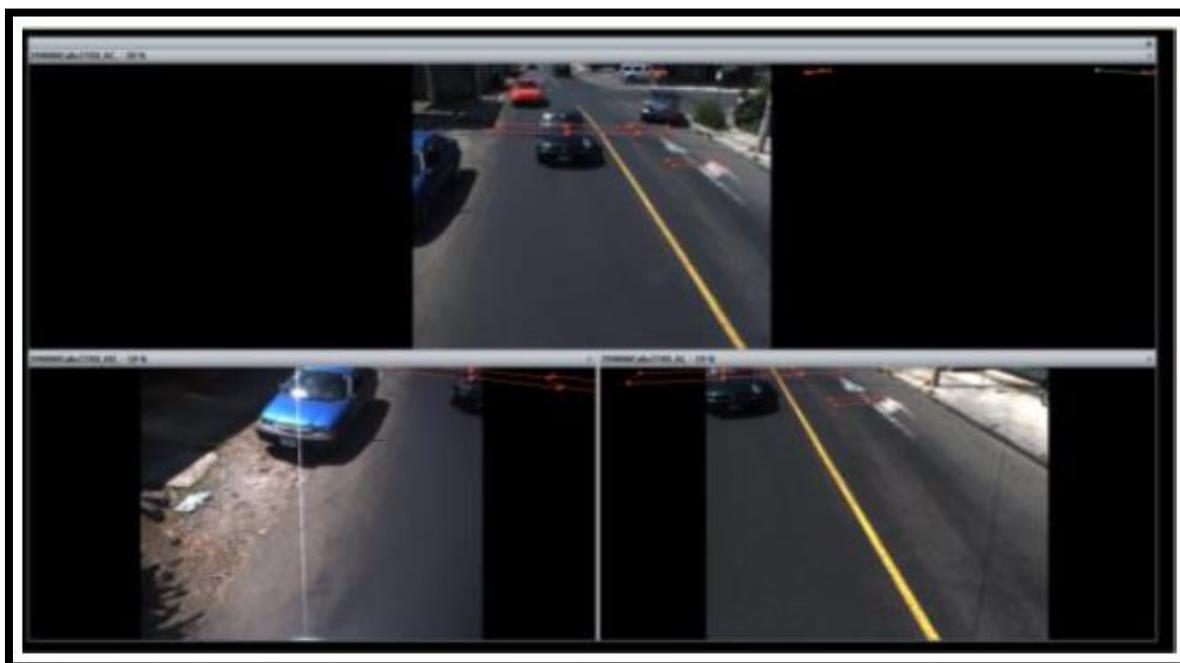


Ilustración 44. Visualización del procesamiento de datos para el cálculo del PCI

Fuente: LanammeUCR (2017).

La escala que se utilizaron para la clasificación de vías se desprende de la norma ASTM-6433-11, la cual se utilizaron para definir los rangos en los cuales se clasificaron las vías con base en el resultado de PCI, clasificado según escala mencionada en la **Ilustración 34**.

3.4.5. Incorporación del SIG

Una vez determinados los perfiles y funciones del recurso humano junto a las políticas del SGP se procedió con la implementación del software SIG. En este caso, será el SIG municipal que corresponde al servicio que le brinda la empresa Esri a través de la plataforma ArcGIS.

Se creó una base de datos a través de la herramienta del SIG municipal (plataforma de la empresa Esri: ArcGIS) considerando el inventario vial del municipio junto a los parámetros, indicadores de desempeño y los resultados obtenidos bajo los estudios y ensayos de laboratorio realizados en campo, con el fin de generar los datos semilla de la condición actual de los pavimentos del cantón de Heredia para mejorar el proceso de toma de decisiones y poder seguir alimentando dicha base de datos. Además, generar a futuro un histórico con el paso del tiempo que permita desarrollar futuros modelos de desempeño de los pavimentos del cantón, implementar metodologías mecánicas empíricas para diseño y análisis estructural de estos y también generar planes estratégicos de inversión a largo plazo basados en modelos de desempeño.

El SIG representa el software principal del sistema donde se almacena la base de datos de la cual el recurso humano gestionará a través de este los pavimentos del cantón. Este sistema tiene componentes auxiliares como matrices realizadas con programas de optimización tipo Excel que conjugados permiten tomar óptimas decisiones de intervención vial.

3.4.6. Análisis del Tránsito, PCI y Notas de Calidad Jerárquica “J” (IRI-TPD)

Al ser un sistema que debe siempre estar en constante funcionamiento se incorporaron al menos 3 parámetros que ayudan a gestionar los pavimentos de la red vial cantonal de Heredia y consideró un cuarto parámetro estructural (FWD) para gestionar a nivel de proyecto. También se consideraron 2 opciones o metodologías con el fin de poder garantizar el funcionamiento de este ya que existen limitaciones que podrían darse en casos esporádicos. La metodología I es a través del uso de equipos de laboratorio como fuente de información primaria y, en caso de no ser posible por razones económicas, tener disponibilidad de equipos, laboratorios u otras se propuso otra metodología II, la cual consiste en realizar un proceso de auscultación visual manual bajo el procedimiento normado del PCI y que depende solo del recurso humano y criterio ingenieril.

Mediante el registro de los diferentes parámetros de desempeño medidos como IRI, PCI y TPD se realizó un análisis de la red por medio de tramos homogéneos. Para evaluar los parámetros determinados se aplicó la metodología I. El *Grip Number* no se midió, pero se incorpora dentro de las metodologías del SGP.

3.4.6.1. Metodología I: Incluye Medición del IRI, TPD, PCI, *Grip Number* y FWD.

Esta metodología para que el usuario pueda elegir evaluar los pavimentos por medio de los resultados que otorguen los equipos de laboratorio para medir la regularidad de los pavimentos a nivel funcional y a nivel de red, el tránsito en general y las deflexiones para casos donde haya que analizar a nivel de proyecto en un sector de la red focalizado. Para efectos de evaluación de la red solamente se utiliza la combinación del parámetro IRI, (*Grip Number solamente para rutas primarias*) y TPD ya que las condiciones

estructurales en estos pavimentos cantonales se mantienen, casi no se deforman por las pocas cargas a los que son sometidos, el tránsito pesado viaja por las rutas nacionales generalmente y las deflexiones en las rutas cantonales son mínimas por lo que el FWD se puede considerar a nivel proyecto, pero a nivel de red solamente se considera la combinación del tránsito y el parámetro funcional que es más juzgado por la población porque es el que verdaderamente se ve y genera una perspectiva que permite criticar los pavimentos, por lo que para cualquier municipalidad de este país es mejor mantener el IRI a nivel de megatextura (percepción del usuario) en estado bueno o excelente a nivel de red y hacer mejoras focalizadas a nivel proyecto cuando se requieran.

Esta metodología es ideal para diagnosticar la condición general de la red vial y gestionar a nivel de red.

3.4.6.1.1. Método Matricial (MRR) de acuerdo con los Rangos IRI, Grip Number, PCI y Jerarquía Vial (Notas Jerárquicas “J”).

Es un método matricial propuesto para realizar la Evaluación de la Red Vial Cantonal Pavimentada de Costa Rica. Este método considera las técnicas de conservación e intervención vial, las cuales son claves para el funcionamiento del sistema de la mano con las políticas sociales, técnicas, económicas y ambientales que se definieron específicamente para el cantón de Heredia.

Se basa en los principios del método de notas Q que utiliza el LanammeUCR para evaluar la red vial nacional pavimentada combinando criterios entre parámetros técnicos, pero, en este caso, solamente funcionales como el IRI, PCI, (*Grip Number solamente para rutas primarias*) e intervenciones viales. A diferencia de las notas Q es que este método no combina parámetros estructurales como el FWD para evaluar a nivel de red ya que las Notas Q juzga al pavimento combinando criterio a nivel funcional y estructural, el cual generaliza un tramo de pavimento y podría brindar la solución que no sea la óptima y a nivel de costos puede afectar el presupuesto municipal. Máximo que estos no se deforman mucho porque mantienen poca carga a lo largo del tiempo. La mayor parte de la carga transita por las rutas nacionales pertenecientes a MOPT-CONAVI.

Es por lo que se determinó en este método calificar cada una de las secciones de control “tramo homogéneo” por su condición funcional y de resistencia al deslizamiento midiendo su regularidad superficial. Para esto es necesario utilizar los rangos de IRI para rutas cantonales propuestos por LanammeUCR y *Grip Number*, propuesto por dicha institución también. Además, la metodología contempla utilizar únicamente el parámetro estructural FWD para analizar a nivel de red parcialmente y nivel proyecto, secciones localizadas detalladamente.

La metodología propuesta combina dichos valores de los rangos IRI y Grip Number con la jerarquía de la ruta establecida por el TPD para definir una calificación, que es conocida como la nota jerárquica llamada “Notas J”, donde, finalmente, se establece el diagnóstico de la sección y se le asigna una estrategia general de intervención. A continuación, se muestra en la **Tabla 21**,

Tabla 22 e Ilustración 45.

Tabla 21. Rangos IRI y Categorías de las Notas Jerárquicas "J"

	TPD	7000-15000	1000-7000	0-1000
RANGOS A NIVEL FUNCIONAL	IRI	PRIMARIA	SECUNDARIA	TERCIARIA
EXCELENTE O MUY BUENO	0-1	J1-E	J2-E	J3-E
BUENO	1-3,6	J1-B	J2-B	J3-B
REGULAR	3,6-6,4	J1-R	J2-R	J3-R
MALO	6,4-10	J1-M	J2-M	J3-M
MUY MALO O FALLADO	>10	J1-F	J2-F	J3-F

Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla 22. Rangos Grip Number y Categorías de las Notas Jerárquicas "J"

	TPD	7000-15000
RANGOS A NIVEL FUNCIONAL	GRIP NUMBER	PRIMARIA
EXCELENTE O MUY BUENO	≥ 0.78	J1-E
BUENO	0.6-0.78	J1-B
REGULAR	0.5-0.6	J1-R
MALO	<0.5	J1-M
MUY MALO O FALLADO	>10	J1-F

Fuente: elaboración propia (2020).

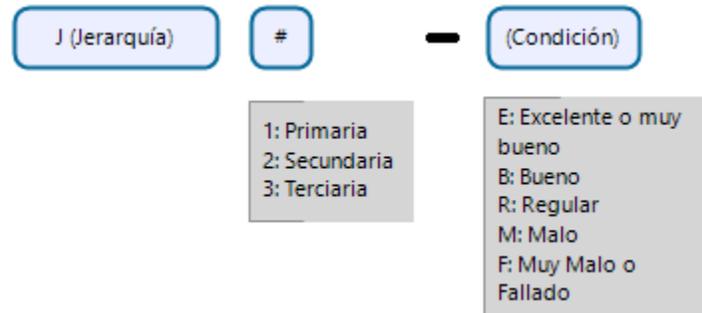


Ilustración 45. Composición de Nota "J"

Fuente: elaboración propia (2020).

A continuación, se define cada una de las “Notas J” del cuadro anterior:

J#-E: es la condición ideal de un pavimento de ruta primaria, secundaria o terciaria desde el punto de vista funcional donde sus defectos rondan entre un 0-10 % del área del tramo homogéneo, son pavimentos que brindan un excelente o muy buen servicio al usuario y se mantienen con bajos costos de operación vehicular. En general, este valor solamente se obtiene al inicio de la vida útil de un pavimento, por lo que en su vida útil se encuentra en la fase A de una curva de deterioro teórica. En ocasiones puede realizarse en la primera etapa de la fase B donde todavía se brinda un buen servicio al usuario. Es por esto que entre el 10 %-20 % existen las dos opciones entre realizar mantenimiento rutinario o periódico, lo cual es definido por la dependencia de la magnitud del deterioro focalizado y costos de intervención por alternativa. Esta calificación permite hacer obras de mantenimiento rutinario como:

- Demarcación vial
- Construcción de drenajes
- Bacheo
- Sello de fisuras y grietas

J#-B: El nivel de regularidad superficial de una ruta primaria, secundaria o terciaria se ha desplazado a una condición buena, donde la baja en su calidad puede representar problemas para altas velocidades de tránsito. Representan defectos entre un 10 %-40 %. Su vida útil se encuentra en la fase B de una curva de deterioro teórica. Esta calificación permite hacer obras de mantenimiento periódico como:

- Tratamiento superficial tipo *Fog Seal*. (Lo menciona el CR-2010 pero casi no es aplicable en Costa Rica),
- Tratamiento superficial tipo *Slurry Seal*. (Lo menciona el CR-2010 pero casi no es aplicable en Costa Rica),
- Tratamiento superficial tipo *Chip Seal TS-1* (Lo menciona el CR-2010 y es aplicable en Costa Rica),

- Tratamiento superficial tipo *Chip Seal* TS-2 (Lo menciona el CR-2010 y es aplicable en Costa Rica),
- Tratamiento superficial tipo *Chip Seal* TS-3 (Lo menciona el CR-2010 y es aplicable en Costa Rica),
- Tratamiento superficial tipo Microcapa. (Lo menciona el CR-2010 pero casi no es aplicable en Costa Rica).

Estas técnicas mencionadas son explicadas en la división 400 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010). Sin embargo, tal y como se mencionó en la sección de tratamientos superficiales de este documento y de acuerdo con las limitaciones, el alcance se compromete a que en este proyecto se consideren únicamente dichos tratamientos superficiales como implementación de técnicas de intervención en el municipio herediano.

Se debe valorar bien el deterioro del pavimento y su magnitud ya que si la solución es muy focalizada puede que se solucione con un mantenimiento rutinario como bacheo o sello de grietas, tal y como se indicó en la nota anterior: entre el 10 %-20 % existe las dos opciones entre realizar mantenimiento rutinario o periódico, lo cual es definido por la dependencia de la magnitud del deterioro focalizado y costos de intervención por alternativa.

J#-R: Existe una pérdida de la capacidad funcional de un 40 % a un 60 % de la vida remanente de una ruta primaria, secundaria o terciaria, por su parte, su capacidad funcional presenta deterioros hasta el punto de afectación en la velocidad de operación, puede existir presencia de grandes baches y grietas profundas, ahuellamientos y agrietamientos por fatiga. Su vida útil se encuentra en la fase C1 de una curva de deterioro teórica. Esta calificación permite hacer obras de rehabilitación menor como:

- Sustitución de capa asfáltica
- Sobrecapa

J#-M: Pavimentos de ruta primaria, secundaria o terciaria que deben estar sujetos a un análisis más detallado a nivel de proyecto, se analizan debido a que existe una pérdida de la capacidad funcional entre un 60 % y 100 %, además, los tramos colindantes que puedan brindar cierta información. Situación de deterioro extremo a nivel funcional que compromete la capacidad estructural del pavimento, se reducen notoriamente las velocidades de operación y se derivan problemas a la hora de manejar. Tanto la capacidad funcional se caracteriza por una disminución de forma acelerada que puede afectar capacidad estructural del paquete estructural (su vida útil se encuentra en la fase C2 de una curva de deterioro teórica). Se caracterizan por presentar agrietamiento transversal, longitudinal y por fatiga.

Esta calificación permite hacer obras de rehabilitación mayor como:

- Fresado, perfilado, recarpeteo, reciclado reforzado y sustituir bases granulares estabilizadas,

J#-F: Pavimento de ruta primaria, secundaria o terciaria intransitable porque tiene altísimos niveles de deterioro, donde la transitabilidad es tan inferior que no son aceptables para una vía pavimentada y ya generaron daño en la capacidad estructural. Existe un riesgo importante para el usuario. Su vida útil se encuentra en la fase D de una curva de deterioro teórica. Esta calificación permite hacer obras como:

- Demolición y reconstrucción

Una vez definida la descripción de las “Notas J” y teniendo en cuenta que estas se basan en valores de IRI y TPD (Jerarquía Vial), a continuación, se agrupan y organizan con el fin de que, con dicha información, se esquematice y se proceda a asignar una estrategia de acción para cada una de estas, a continuación se muestra en la **Ilustración 46**.

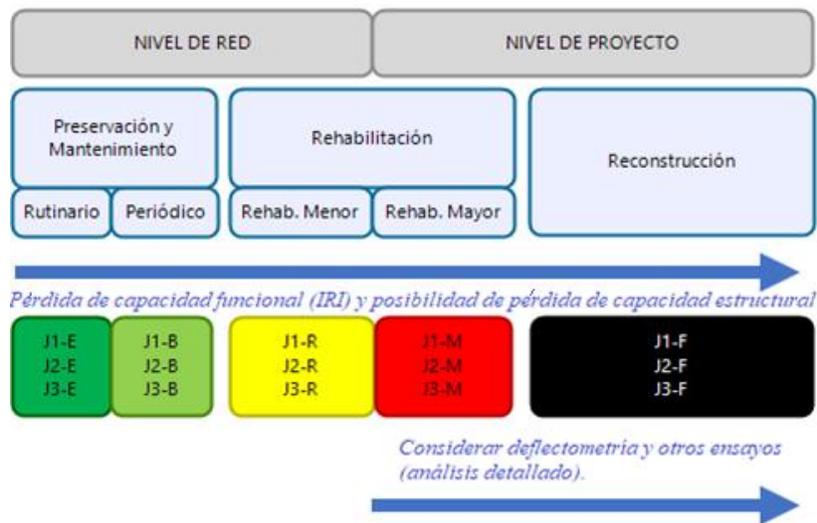


Ilustración 46. Tipos de Estrategia Según las Notas "J"

Fuente: elaboración propia (2020).

A nivel proyecto, o en casos donde a nivel de red amerite, se deben considerar las deflexiones de acuerdo con la clasificación de rutas cantonales que propuso el LanammeUCR, la cual se representa en la **Tabla 23** de la siguiente manera:

Tabla 23. Rangos y Categorías de las Deflexiones (FWD) en Rutas Cantonales

	TPD	7000-15000	1000-7000	0-1000	NOT A "J"
RANGOS A NIVEL ESTRUCTURAL	JERARQUÍA A	PRIMARI A	SECUNDARI A	TERCIARI A	
EXCELENTE O BUENO	FWD (mm ²)	0-72,4	0-80,3	0-101	-
REGULAR		72,4-84,4	80,3-93,4	101-114,8	-
MALO		84,4-104,5	93,4-114,8	114,8-138,7	J#-M
MUY MALO O FALLADO		>104,5	>114,8	>138,7	J#-F

Fuente: elaboración propia (2020).

A nivel estructural, se debe considerar la condición regular y mala como clasificación J#-M y muy malo o fallado la clasificación J#-F. Donde las soluciones son técnicas de rehabilitación mayor o reconstrucción, las mencionadas según compete. La clasificación excelente/ bueno estado solo se harán intervenciones superficiales en la carpeta asfáltica (labores de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y rehabilitación menor para recuperar la regularidad del pavimento, recuperación de IRI).

3.4.6.1.2. Metodología I: PCI utilizando Equipo de Laboratorio.

Esta se aplicó utilizando el equipo de laboratorio Geo3D. Ahorrando tiempo, recurso humano y económico en el levantamiento de deterioros de la red vial cantonal. Posteriormente se calculó el PCI con el procedimiento normado por la ASTM-D6433 y se clasificó según su escala los tramos homogéneos y con base en el procedimiento indicado en el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016.

Esta metodología es ideal para diagnosticar la condición general de la red vial y gestionar a nivel de red.

3.4.6.2. Metodología II: Incluye Método de PCI por Norma ASTM-D6433.

Esta metodología se diseñó para que el usuario pueda evaluar los pavimentos por auscultación visual y criterio ingenieril por medio de los rangos de PCI donde aparte de realizar todo el proceso de evaluación en campo deberá aplicar el procedimiento normado por la ASTM-D6433 para calcular y clasificar el PCI, según su escala y según los tramos homogéneos.

Esta metodología es ideal para diagnosticar la condición general de un tramo y gestionar a nivel de proyecto.

3.4.6.2.1. Metodología II PCI – ASTM-D6433 (de forma manual).

Se seleccionan unidades de muestra a nivel de red o proyecto, se analiza en sitio los daños en la vía, nivel de severidad del daño, se mide la extensión del daño y se analiza para determinar y clasificar el PCI con base en la escala de valores deducidos. Se revisan factores de semejanza de las unidades de muestra y se segmentan los tramos homogéneos para facilitar la selección de intervenciones más adecuadas. Se debe considerar el uso del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016.

3.4.6.2.1.1. Unidades de Muestreo (UM).

Se deben definir fracciones de carretera, designadas con el propósito de inspeccionar el pavimento por auscultación visual. De acuerdo con lo indicado en el Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016; a continuación, se muestra la siguiente Ilustración 47, un diagrama de flujo para la definición de las UM.

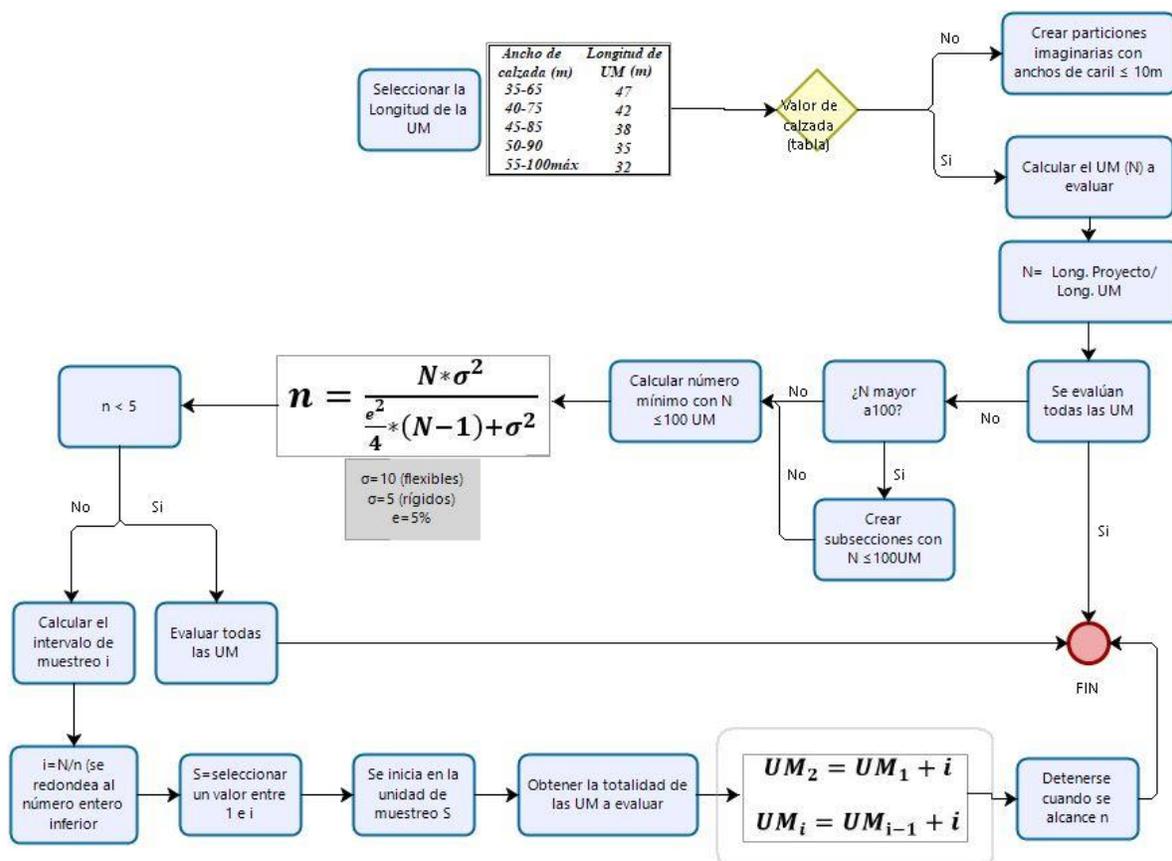


Ilustración 47. Diagrama de flujo para el cálculo de las UM

Fuente: elaboración propia (2020).

3.4.6.2.1.2. Inspección en Sitio (Auscultación Visual).

Se realiza mediante inspección visual de campo donde se va llenando en un registro de datos específicos de fallas superficiales del pavimento. En la siguiente Ilustración 48 se muestra el registro de campo utilizado acorde con la norma.

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA		
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO				
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m ²)				
INSPECCIONADA POR		FECHA				
No.	Daño	No.	Daño			
1	Piel de cocodrilo.	11	Parcheo.			
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.			
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.			
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.			
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.			
6	Depresión.	16	Desplazamiento.			
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)			
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.			
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.			
10	Grietas long y transversal.					
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido

Ilustración 48. Ejemplo de boleta de registro de campo para la evaluación de carreteras mediante metodología PCI

Fuente: Vásquez, L. (2002). Modificado por Rothe, R. (2019).

3.4.6.2.1.3. Determinación del PCI de las UM basado en Valores Deducidos.

El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en “valores deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad (medida y severidad reportada).

Los valores deducidos se entienden como un rango de valores de 1-100, que castigan un tipo de deterioro superficial. Estos valores, como se mencionó, se obtienen de la norma ASTM-D6433. A continuación, se muestra en la siguiente **Ilustración 49** un flujograma para el cálculo del PCI en una UM.

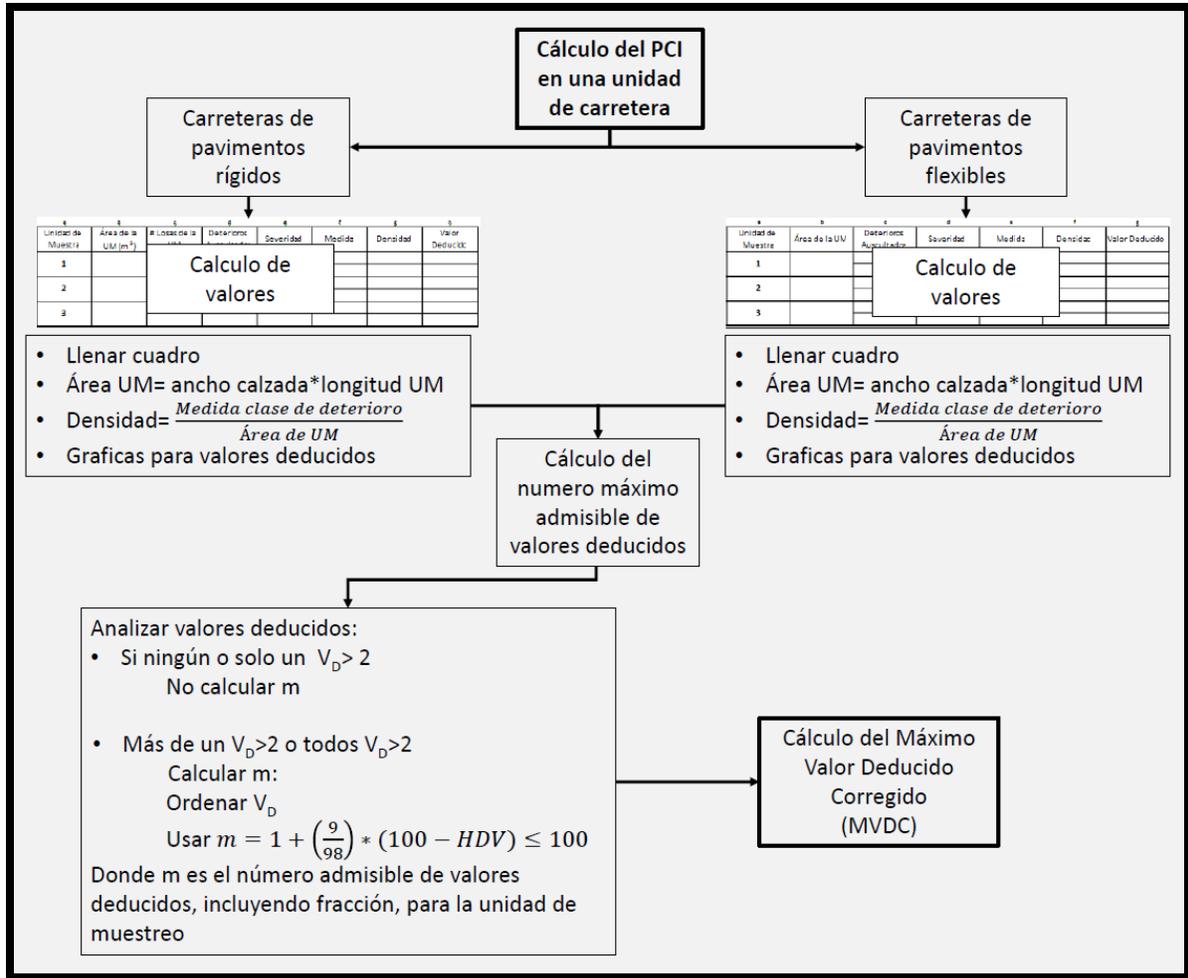


Ilustración 49. Flujoograma para el cálculo del PCI en una UM

Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).

Es importante mencionar que la norma posee una gráfica de valor deducido para cada tipo de deterioro, por ejemplo, el de la **Ilustración 50**.

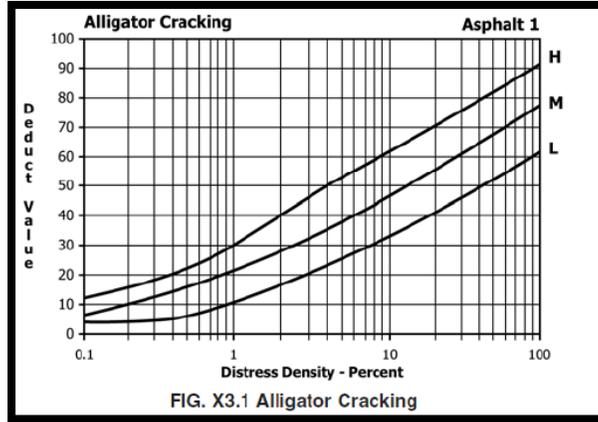


Ilustración 50. Gráfico de Valor Deducido de PCI para deterioro: Agrietamiento tipo "Piel de Cocodrilo" (Ejemplo)

Fuente: Norma ASTM-D6433 (2019).

En la **Ilustración 51** se muestra un resumen:

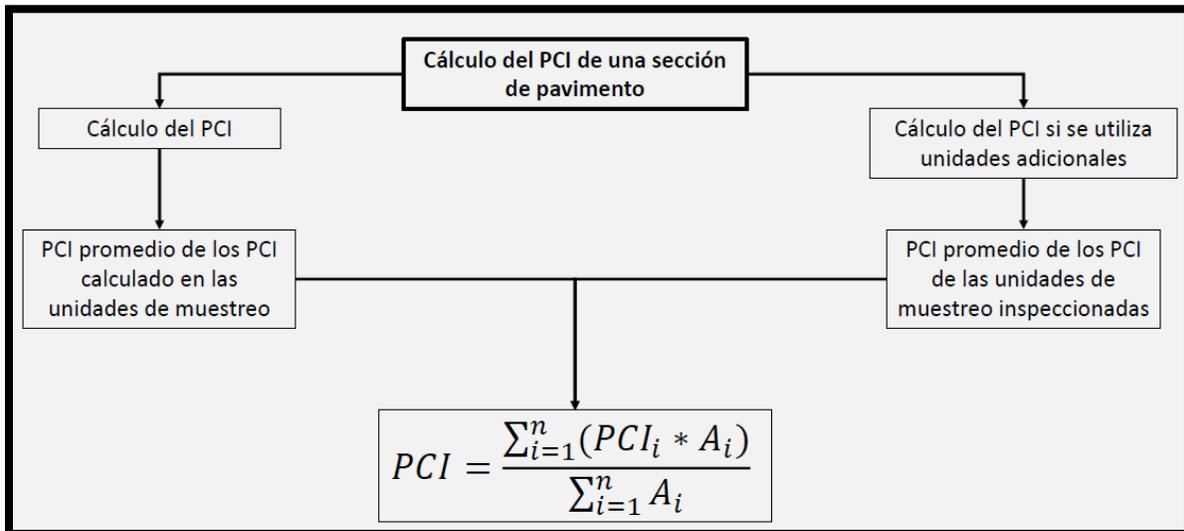


Ilustración 51. Flujograma resumen para el cálculo del PCI en una UM
Fuente: Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC. Modificado por Rothe, R. (2019).

3.4.6.2.1.4. Segmentación de Tramos Homogéneos, Secciones de control.

El tramo de red seleccionado debe ser pequeño, no mayor a 1km. De esta forma se puede disminuir el riesgo de que las condiciones del tramo cambien mucho y que, probablemente, compartan condiciones climatológicas, geometría similar, materiales constructivos similares y mismo TPD. Además, se debe verificar e identificar los deterioros por medio de auscultación y proceder a hacer el cálculo del PCI. Cuando

se determinen semejanzas entre las UM, se promedia el PCI de estas y se realiza la segmentación homogénea que facilitarán la selección de intervenciones adecuadas por medio de la MRR para cada tramo.

3.4.7. Análisis de Contenido

Este método de investigación se empleó para deducir conclusiones válidas y confiables de datos respecto de su contexto. Este análisis se nutre de la información obtenida en la revisión documental y se utilizó para analizar la información obtenida por medio de las mediciones en sitio del TPD, IRI, FWD y PCI e implementación del SIG para tomar decisiones de planificación y priorización de intervenciones de conservación vial del cantón de Heredia con un método matricial y visual.

3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

3.5.1.OE1

“Diseñar la estructura del SGP considerando la información disponible, componentes, elementos e involucrados para que a través de un SIG se puedan realizar procesos de gestión”.

Se definieron los componentes y elementos del sistema:

3.5.1.1. Componente: Recursos Humanos. Elementos:

- Se definieron los involucrados (perfil y responsabilidades) - Matriz de roles y funciones,
- Se definió la EDT (WBS),
- Se definió el Plan de Gestión de Comunicación para el funcionamiento del Sistema – Matriz de comunicación.

3.5.1.2. Componente: Políticas del Sistema. Elementos:

- Se realizó un análisis PAJ de acuerdo con la importancia de los diferentes factores que representa la gestión de pavimentos (ambientales, sociales y técnicos) lo anterior para priorizar las inversiones por distrito y establecer las políticas del SGP,
- Se definieron las políticas generales del sistema a nivel de red y proyecto,
- Se definieron las políticas sociales del sistema a nivel de red y proyecto,
- Se definieron las políticas ambientales del sistema a nivel de red y proyecto,
- Se definieron las políticas técnicas del sistema a nivel de red y proyecto,

- Se definieron las políticas económicas del sistema a nivel de red y proyecto,
- Se definieron los umbrales de calidad del sistema a nivel de red y proyecto,
- Se definieron los estándares de calidad del sistema a nivel de red y proyecto.

3.5.1.3. Componente: Parámetros de Desempeño. Elementos:

- Se determinaron los parámetros o indicadores de desempeño que utiliza el sistema (TPD, IRI, PCI, *Grip Number* y FWD).

3.5.1.4. Componente: Base de Datos. Elementos:

- Se determinaron los campos de información a almacenar en la base de datos considerando el inventario de caminos del municipio, parámetros e indicadores de desempeño medidos con equipos de laboratorio y ensayos,
- Se definieron las entradas del sistema (resultados de laboratorio e inventario),
- Se definieron las salidas del sistema (mapas, tablas, gráficos e informes técnicos),
- Se creó y alimentó la base de datos con la información semilla (mediciones con equipos de laboratorio y ensayos).

3.5.2. OE2

“Aplicar una metodología matricial que mediante parámetros técnicos se pueda gestionar a nivel de red vial a través del tiempo y que permita elegir una alternativa de solución de intervención vial y priorizar estas intervenciones, basándose en el nivel de deterioro del pavimento, políticas y recursos económicos”.

Se aplicarán dos metodologías de evaluación de pavimentos.

El sistema funciona con el uso de cualquiera de las dos metodologías ya que este dependerá de factores externos que pueden comprometer la generación de la información para alimentar la base de datos, por lo que se pretende tener siempre al menos de una de las dos metodologías disponibles:

- Metodología I. Utilizando ensayos y equipos de laboratorio,
- Metodología II. Por procedimiento de auscultación visual sin utilizar ensayos de laboratorio y equipos.

Ambas metodologías con el fin de obtener resultados para tomar decisiones de intervención vial basados en métodos de conservación de pavimentos ligados al momento justo de intervención para alargar la curva de vida teórica del pavimento.

El usuario definirá cual metodología implementará de acuerdo con su disponibilidad de recursos (económicos, tiempo y recurso humano).

3.5.2.1. Matriz de Decisiones MRR (Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción).

- Se creó la matriz MRR en Excel considerando las técnicas de intervención vial (con los criterios de decisión de las notas J) y se determinaron las políticas para tomar criterios de decisión de intervención vial,
- Se realizó un caso de estudio donde se compararon alternativas de intervención para una solución en Calle San Isidro de Mercedes Norte y se aplicó la metodología económica del costo anual uniforme equivalente (CAUE) para seleccionar la mejor alternativa después de haber realizado todo el filtro de priorización mediante el análisis PAJ y considerando todas las políticas del SGP.

3.5.3. OE3

“Priorizar intervenciones viales formando listas de proyectos, basándose en el nivel de deterioro del pavimento, políticas y recursos económicos”.

- Basado en el caso de estudio se obtuvieron listas de proyectos para poder priorizar según las condiciones de los pavimentos, umbrales, estándares de calidad y políticas establecidas.

3.5.4. OE4

“Incorporar otras técnicas o alternativas de intervención vial en la Municipalidad de Heredia basadas en los conceptos de conservación vial de los pavimentos flexibles que existen y actualmente no se aplican”.

- Basado en las políticas sociales, ambientales, económicas, técnicas y considerando la gestión a nivel de red o proyecto mediante la Matriz MRR, se incorporaron el uso de diferentes técnicas de conservación que la UTGV actualmente no consideraba para los diferentes tipos de rutas cantonales (primarias, secundarias y terciarias) como: Reforzamientos, *Slurry Seals*, *Chip Seals* TS-1, TS-2, TS-3 y Sello de Grietas.

4. CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo con la metodología expuesta para poder dar forma al SGP propuesto, se debe comenzar con la definición de sus componentes, elementos y funciones respectivas, lo cual será indispensable para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

4.1. Componentes y Elementos del Sistema con sus Respectivas Funciones

4.1.1. Recursos Humanos

El recurso humano requiere un Plan de Gestión de Comunicaciones donde se establece el marco de las comunicaciones y se definieron los involucrados con su nivel de importancia para este proyecto “Propuesta de un Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles para la Municipalidad de Heredia”. Este medio representa una guía para las comunicaciones durante el ciclo de vida del proyecto y está sujeto a actualizaciones, según cambien las necesidades de comunicación. Este plan identifica y define las funciones de las personas que participan. Asimismo, incluye una Matriz de Comunicaciones, que busca regirse dentro de los requisitos de comunicación de este proyecto para que el sistema funcione de forma óptima.

4.1.1.1. Involucrados y Enfoque.

El SGP-SIG será operado por la UTGV a cargo del Director del SGP (director de proyecto) quien administrará el presupuesto de operación para conservación y reconstrucción de pavimentos flexibles. Este será de gran apoyo para el alcalde quien se considera el patrocinador del proyecto y la toma de decisiones será en algunos casos evaluada, analizada y determinada mediante la Junta Vial y Junta Técnica Administrativa Vial.

El director del SGP tiene un papel sumamente activo en asegurar la comunicación efectiva dentro del equipo de este proyecto. Los requisitos de comunicaciones están documentados en la Matriz de Comunicaciones, la cual indica qué debe comunicarse, quién debe hacer la comunicación, cuándo comunicar y a quién hacerlo.

Se debe tomar en cuenta que este Plan de Recursos Humanos / Comunicaciones puede requerir actualizaciones paralelas al avance del proyecto y de acuerdo con los cambios que le sean aprobados por el director del SGP. Estas variaciones podrían responder a cambios en el personal, en el alcance del SGP, o por otras razones con las que no se contaba inicialmente. Conjuntamente, dichas actualizaciones podrían traer consigo requisitos y responsabilidades adicionales que deben asignarse como dicte el director del proyecto, quien es responsable de manejar todos los cambios propuestos y aprobados en el plan de comunicaciones. Una vez aprobada la modificación, el director del SGP actualizará el plan, la documentación del proyecto y distribuirá los nuevos documentos al equipo y demás partes interesadas.

Restricciones

1. Se considera como comunicación de alta relevancia todo tipo de información compartida entre el director del SGP, patrocinador y población.
2. Debe mantenerse el flujo respectivo de comunicación escalonada, la cual se hace referencia en este documento, siempre y cuando las acciones durante el desarrollo proyecto no impliquen rompimiento temporal de este, como consecuencia de un factor aclaratorio para solventar un posible riesgo.
3. Debe utilizarse los medios de comunicación indicados para cada sector según se dispone en cada uno de los casos. En caso contrario que se amerite la utilización de otro medio debe indicarse al líder respectivo, según la cadena escalonada.

4.1.1.2. Plantilla Resumen del Plan de Gestión de Recursos Humanos / Comunicaciones.

Esta plantilla consiste en un resumen ejecutivo del proyecto donde se desglosa el organigrama, involucrados del proyecto con sus roles y responsabilidades, EDT o WBS, criterios de liberación de los involucrados, condiciones de capacitación requerida para el personal, cumplimiento de reglamentación nacional necesaria, condiciones o políticas del recurso humano y algunos pactos para garantizar el funcionamiento del SGP. Toda esta es información necesaria para ordenar el proyecto y lograr a cabo cada etapa de este, el director o administrador del SGP será el encargado de desarrollar e implementar cada una de las partes mencionadas en esta plantilla con la ayuda de la administración municipal (alcalde).

En la **Tabla 24**, se muestra la plantilla del Plan de Gestión de Recursos Humanos/ Comunicaciones del sistema:

Tabla 24. *Plan de Gestión de Recursos Humanos / Comunicaciones del SGP*

CONTROL DE VERSIONES					
VERSIÓN	HECHA POR	REVISADA POR	APROBADA POR	FECHA	MOTIVO
V-1	Rodolfo Rothe	Lorelly Marín	Concejo Municipal y Administración Municipal	2020	Proyecto Final de Graduación

NOMBRE DEL PROYECTO	NICKNAME PROYECTO
---------------------	-------------------

Plan de Gestión del Proyecto Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles a través de un Sistema de Información Geográfico para la Municipalidad de Heredia	SGP a través de un SIG para la Municipalidad de Heredia
---	---

ORGANIGRAMA DEL PROYECTO Y PIRÁMIDE PARA TOMA DE DECISIONES
Ver Adjunto 1. A y 1. B

ROLES Y RESPONSABILIDADES
Ver Adjunto 1. C

PERSONAL DEL PROYECTO (SGP-SIG)			
PERSONAL DEL PROYECTO	UBICACIÓN	CONTRATACIÓN	RETRIBUCIÓN
Alcalde	Interno	Completa	Por jornada
Población	Externo	N/A	N/A
Concejo Municipal	Interno	Completa	Por sesión
Junta Vial	Interno	Temporal	Según corresponda
Unidad Municipal de Gestión del LanammeUCR	Externo	Temporal	Según corresponda
Director del SGP	Interno	Completa	Por jornada
Director Financiero	Interno	Completa	Por jornada
Director Jurídico	Interno	Completa	Por jornada
Director Inversión Pública	Interno	Completa	Por jornada
Jefe de RRHH	Interno	Completa	Por jornada
Líder de Comunicación y Prensa	Interno	Completa	Por jornada
Líder de Procesos (SIG)	Interno	Completa	Por jornada

Junta Técnica Administrativa	Interno	Completa	Por jornada
Equipo de Mantenimiento y Obras	Interno	Completa	Por jornada
Equipo Contable	Interno	Completa	Por jornada
Equipo de Presupuesto	Interno	Completa	Por jornada
Equipo de Proveeduría	Interno	Completa	Por jornada
Equipo Subcontratado	Externo	Temporal	Por contrato
Empresas Subcontratadas	Externo	Temporal	Por contrato

EDT/WBS DEL SGP-SIG

Ver Adjunto 1.D (La fase I se ejecutó en el desarrollo del Marco Teórico y Metodológico).

CRITERIOS DE LIBERACIÓN DEL PERSONAL DEL PROYECTO

ROL/ EQUIPO	CRITERIO DE LIBERACIÓN	BAJO APROBACIÓN DE	REASIGNACIÓN A
Equipo de Comunicación y Prensa	Ejecución completa de Mercadeo en sitio WEB y redes sociales	Director del SGP	Municipalidad de Heredia
Líder de Procesos	Ejecución completa de actividades en el SIG	Director del SGP	Municipalidad de Heredia

NOTA: El personal liberado se podrá recuperar si fuera necesario ya que, al ser personal institucional e interno, los funcionarios tienen ligadas varias funciones interdepartamentales por lo que no todos pueden estar tiempo completo para el SGP.

ETAPAS CLAVE DE LIBERACIÓN DE PERSONAL:

• PRE-EJECUCIÓN DE PROYECTO

Después del proceso de pruebas y oficialización del SGP, así que los requerimientos para ejecutar el proyecto estén completos.

• POST-CIERRE DE PROYECTO– ENTREGA DE DOCUMENTACIÓN

Al finalizar la ejecución del proyecto, el director entregará la documentación pertinente del proyecto para que este sea publicado, promocionado y de información pública para que el

contribuyente pueda interactuar con el SGP.

CAPACITACIÓN, ENTRENAMIENTO, *MENTORING* REQUERIDO

Durante el proceso de planeación se realizarán reuniones de inducción a los diferentes miembros del proyecto para explicar aspectos importantes del nuevo funcionamiento del sistema de gestión de pavimentos flexibles del cantón, la implementación del software, la importancia del control y evaluación de pavimentos, las nuevas técnicas de conservación vial y las metodologías por implementar en el Departamento de Gestión Vial. Se explicará el rol asignado a cada uno de los miembros del proyecto. En caso de necesitar un entrenamiento en particular para algún colaborador se le preparará y efectuará una capacitación especializada. Este proceso se contemplará para el personal municipal. Estas reuniones de inducción y capacitación se impartirán en cuanto el SGP se haya probado y se pretenda oficializar en horarios entre 7:00 a.m. y 4:00 p.m. El encargado de impartir las inducciones será el Director del Proyecto (administrador del SGP), en compañía de los líderes y el expertos necesarios que sea considerados por el director para temas especializados o las capacitaciones específicas.

CUMPLIMIENTO DE REGULACIONES, PACTOS, Y POLÍTICAS

CUMPLIMIENTO DE REGULACIONES

Legislación vigente de Costa Rica:

- Ley General de la Administración Pública de este país, Ley N° 6227 del 02 de mayo de 1978,
- Ley N° 7494 “Ley de Contratación Administrativa” del 02 de mayo de 1995,
- La Ley 5060 (1972) “Ley General de Caminos Públicos”,
- La Ley 8114 (2001) “Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias”,
- Ley 9329 (2015) “Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal”,
- Decreto Ejecutivo 40137 MOPT (2017) “Reglamento a la Primera Ley Especial para la Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal”,
- Decreto N° 38578 MOPT (2014) “Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal” de la Dirección de Planificación Sectorial Departamento Medios de Transporte del MOPT,
- Decreto Ejecutivo 40138 MOPT (2017) “Reglamento al inciso b) del artículo 5 de la Ley No. 8114”,
- Decreto 40139 MOPT (2017) “Oficialización de la Norma Técnica para el Desarrollo y Conservación de la Red Vial Cantonal”,
- Reglamentos municipales.

PACTOS

La Dirección de Inversión Pública aportará horas hombre y recursos necesarios para la elaboración del SGP.

El administrador del SGP deberá tener conocimiento técnico en conservación vial, sistemas de información geográficos y contar con el grado mínimo de licenciatura en ingeniería civil.

Toda decisión técnica basada en el SGP y realizada por el administrador de este deberá lograr ser respaldada mediante fundamentos técnicos ingenieriles. Es importante considerar herramientas de soporte como:

- *AASHTO (1993). AASHTO Desing of Pavement Structures Guide.* [Guía de diseño de estructuras de pavimento] Washington D.C. Estados Unidos de América,
- *Federal Highway Administration. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Program.* [Manual de deterioros] Washington D.C. Estados Unidos de América. (2003),
- *AASHTO (2008). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. A Manual of Practice.* [Guía de diseño de pavimento empírico-mecanicista. Manual de Práctica] Washington D.C. Estados Unidos de América,
- MOPT. Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. (2010),
- SIECA. Manual Centroamérica de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (2011),
- MOPT. Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal. (2014),
- MOPT. Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos Carreteras y Puentes MCV-2015. (2015).

Todos los anteriores en sus versiones más actualizadas y vigentes, en este momento son los mencionados (2019).

CONDICIONES O POLÍTICAS DEL RECURSO HUMANO DEL SGP

- Respetar horario de trabajo establecido por la Municipalidad de Heredia. Las únicas excepciones serán aquellas aprobadas por el Director de Proyectos,
*Las variaciones en los horarios se darán bajo acuerdo mutuo de Director de Proyectos y Alcaldía, quienes velarán por el trabajo de horarios extraoficiales,
- Pago horas extras de acuerdo con el Código de Trabajo vigente,
- Pago de servicios profesionales para el personal de contratación externa en caso de ser requerido (ensayos y pruebas de laboratorios, alquiler de equipos, estudios técnicos, profesionales externos en áreas especiales),
- Todo involucrado mencionado en este proyecto puede ser género masculino o femenino se indique el puesto de una forma u otra no implica limitaciones para que sea ocupado por cualquier persona de cualquier sexo.

ADJUNTOS: 1A, 1B, 1C y 1D.

4.1.1.3. Organigrama del Recurso Humano del SGP-SIG (Adjunto 1. A).

Ver **Ilustración 52:**

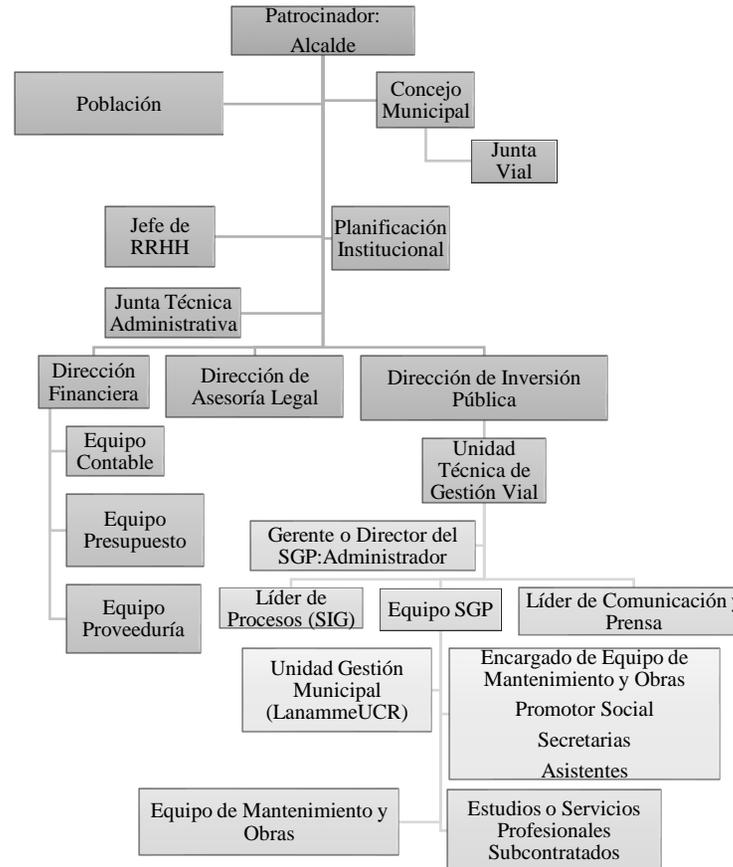


Ilustración 52. Organigrama del Recurso Humano del SGP-SIG

Fuente: elaboración propia (2020).

El organigrama anterior fue desarrollado modificando el organigrama municipal actual que se mostró en la **Ilustración 5** ya que se incorpora la Junta Técnica Administrativa para hacer un filtro previo antes de llevar cualquier propuesta a la Junta Vial y Concejo Municipal. Esta debe ser representada por los directores de Inversión Pública, Dirección de Asesoría Legal, Dirección Financiera y el Gerente o Directo del SGP que lo administra. Con esta propuesta se desglosó una distribución nueva de la UTGVM que no la tiene el organigrama municipal del 2019. De esta forma se lograría una mejor distribución de funciones del personal y funcionamiento del SGP-SIG.

4.1.1.4. Pirámide para la Toma de Decisiones y Tipo de Reporte (Adjunto 1.B).

Ver **Ilustración 53**:



Ilustración 53. Pirámide para la toma de decisiones y tipo de reporte
Fuente: elaboración propia (2020).

*En las siguientes secciones se muestran los perfiles, roles, responsabilidades, tipo de gestión, medios por utilizar y requisitos de cada involucrado en el proyecto.

4.1.1.5. Perfil de Involucrados, Roles y Responsabilidades (Adjunto 1. C).

Ver **Tabla 25:**

Tabla 25. *Perfil de Involucrados, Roles y Responsabilidades*

Perfil de Involucrados				
CLIENTE	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	Importancia
<ul style="list-style-type: none"> • Población del cantón de Heredia interesada en informarse de la gestión vial de sus comunidades y la Municipalidad de Heredia como encargada de ejecutar de forma óptima los recursos viales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reportar daños en la infraestructura vial, • Solicitar mejoras en la infraestructura vial, • Cuidar el patrimonio vial, • Involucrarse y participar en procesos de gestión de la infraestructura vial cantonal. 	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalde • Dirección de Inversión Pública, UTGV • Contraloría de Servicios de la Municipalidad de Heredia 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
PATROCINADOR DEL SGP (Alcalde)	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad de integración, liderazgo y comunicación, • Asegura la toma de decisiones, • Asigna y apoya al director del SGP y provee estrategias a este, • Negocia a nivel político con representantes de otras instituciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Liderar al equipo para alcanzar los objetivos, procurando una comunicación efectiva interna y externa, • Apoya la asignación de recursos. • Supera conflictos y barreras organizacionales, • Aprobar mediante acta la planificación presentada por el Director del SGP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionarios Municipalidad de Heredia 	<ul style="list-style-type: none"> • Población • Concejo Municipal 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
DIRECTOR O GERENTE DEL SGP	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	

<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad de integración, liderazgo y comunicación, • Capacidad de gestión de recursos humanos y económicos, • Experiencia mínima de 3 años en administración de Proyectos en Ingeniería e Infraestructura Vial, • Conocimiento de la organización, servicios municipales, conocer sobre técnicas de gestión para la conservación vial y sistemas de información geográfico, • Capacidad de analizar cambios menores en el SGP, • Capacidad de evaluar pavimentos, • Capacidad de realizar presupuestos de obras, • Habilidad para coordinar con los involucrados claves y lograr trabajo de equipo, • Encargarse de la matriz MRR y uso del SGP-SIG, • Incorporación al Colegio Profesional respectivo, • Capacidad para hacer análisis económicos, análisis CAUE y PAJ. 	<ul style="list-style-type: none"> • Liderar al equipo de la UTGV para alcanzar los objetivos, procurando una comunicación efectiva interna y externa, • Identificar los posibles problemas del SGP con anticipación y resolverlos de manera oportuna, • Enfocar el SGP de manera oportuna y contextualizada, • Integrar y ejecutar las funciones de gestión: planeación, programación, negociación, comunicación, ejecución, evaluación, control, toma de decisiones y elaboración de reportes e informes, • Aplicar las metodologías indicadas en este proyecto utilizando las Notas J o PCI para tomar decisiones de intervención, • Realizar cambios menores del SGP cada vez que sean necesarios, • Coordinar reuniones con la Junta Técnica Administrativa para analizar cambios mayores al SGP y revisar temas de importancia relacionados a la gestión, • Solicitar recursos financieros para la gestión vial, • Estar en constante retroalimentación del SGP-SIG, • Proponer planes anuales, quinquenales, desarrollo y a largo plazo, • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de 	<ul style="list-style-type: none"> • UTGV 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de Inversión Pública • Dirección Financiera • Líder de Procesos • Líder de Comunicación y Prensa • Junta Vial • Junta Técnica Administrativa del SGP • Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
---	--	--	---	--

	<p>recursos humanos de la Municipalidad de Heredia,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asumir responsabilidades por ley 8114. 			
DIRECTOR DE INVERSIÓN PÚBLICA	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento del desarrollo adecuado del sistema y supervisión de los costos de las necesidades del SGP, • Aprobar solicitud de recursos económicos para gestión vial. • Incorporación al Colegio Profesional respectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento efectivo de cada tarea de del Director del SGP, • Vigilante proactivo y asertivo del presupuesto del SGP, • Coordinar y revisar con la Dirección Financiera temas económicos para planificar obras viales y su gestión, • Participar en reuniones de equipo. Junta Técnica y cuando amerite en Junta Vial, • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Director del SGP 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcaldía • Planificación • Dirección Financiera 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
LIDER DE PROCESOS SIG	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad de planificación y organización de tramitologías solicitadas para ejecutar a través del SIG, • Experiencia mínima de 3 años con plataformas SIG, • Amplio conocimiento en las teorías de la información y comunicación, así como en el diseño de las estrategias para la comunicación efectiva a través de aplicaciones SIG, 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápida percepción y habilidad resolutive a cualquier situación emergente en el software, • Efectiva comunicación con los miembros de sus equipos, • Capacidad de ejecutar cambios menores o mayores del SGP a través del SIG. • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Director del SGP • Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Director del SGP • Junta Técnica Administrativa del SGP • Líder de Comunicación y Prensa • Población mediante el SIG On Line y Herramientas (Apps) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta

<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos y experiencia en geografía nacional, catastro y topografía, • Incorporación al Colegio Profesional respectivo. 				
LIDER DE COMUNICACIÓN Y PRENSA	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Tener conocimiento de la imagen e historia de la municipalidad, • Amplia experiencia contrastada en puestos de responsabilidad en materia de comunicación, • Incorporación al colegio profesional respectivo, • Experiencia en <i>community manager</i>, • Manejo de redes sociales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgar interna y externamente la apertura información autorizada por el Director del SGP y Patrocinador, con el fin de que los clientes se informen por medio de todos los canales de información que presenta disponibles el municipio, • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP y Patrocinador 	<ul style="list-style-type: none"> • Población • Funcionarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
JUNTA TÉCNICA ADMINISTRATIVA DEL SGP	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Tener conocimiento de los procesos del SGP con el fin de tomar decisiones técnicas en equipo, • Tener capacidad de reunirse previo a cualquier situación y exposición que se deba brindar a la Junta Vial o interesados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reunirse periódicamente de forma bimensual o extraordinariamente cuando sea necesario para revisar temas del SGP, • Analizar las propuestas, planes, presupuestos de intervenciones viales dadas por el director del SGP, • Analizar y aprobar cualquier cambio mayor que se solicite dar al SGP, 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP • Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Población • Junta Vial 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta

	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendar obras de acuerdo con la necesidad de la población para su análisis, • Capacidad de evaluación y autoevaluación para la mejora de la imagen de la municipalidad con la percepción del contribuyente ante el SGP, • Aprobar acta de planificación aportada por el director del SGP. 			
CONCEJO MUNICIPAL	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Tener conocimiento de los planes de inversión vial del cantón. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar las propuestas, planes, presupuestos de intervenciones viales dadas por el director del SGP y Junta Vial, • Aprobar presupuestos, • Aprobar acta de planificación aportada por el director del SGP y ya aprobada por Junta Vial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP y alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Población 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
JUNTA VIAL	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Tener conocimiento de los planes de inversión vial del cantón, presupuesto y obras por hacer, • Involucrar participación ciudadana en la gestión de recursos viales del cantón. 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsabilidades por ley N° 8114, • Analizar las propuestas, planes, presupuestos de intervenciones viales dadas por el director y Junta Técnica Administrativa del SGP. Aprobarla mediante acta dicha propuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concejo Municipal 	<ul style="list-style-type: none"> • Concejo Municipal 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
LANAMMEUCR	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Colaborar de forma técnica como un ente de asesoría en la gestión vial cantonal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar asesoría técnica mediante la Unidad de Gestión Municipal, 	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja

	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar servicios de subcontrato para elaborar estudios técnicos, pruebas y ensayos de laboratorio. 			
DIRECTOR FINANCIERO	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad de gerenciar sobre los equipos: contable, presupuesto y proveeduría. 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisar las tareas de los equipos a su cargo, • Colaborar en que los procedimientos se desarrollen en tiempo y de la mejor manera posible, • Coordinar y revisar con la Dirección Inversión Pública temas económicos para planificar obras viales y su gestión, • Administrar recursos económicos municipales, • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 	Alcalde	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP • Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
EQUIPO CONTABLE	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia en contabilidad de recursos económicos públicos (presupuesto anual). 	<ul style="list-style-type: none"> • Administrar la contabilidad del presupuesto anual municipal, • Incluyen todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia para todo el equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalde • Director Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP • Director Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta

EQUIPO DE PRESUPUESTO	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> Habilidad de administrar el presupuesto municipal en todas las áreas de servicio que esta brinda. 	<ul style="list-style-type: none"> Administrar las partidas otorgadas a la UTGV para ejecutar los recursos en infraestructura vial, Incluir partidas dentro de documentos presupuestarios para ejecutar obras viales de acuerdo con el SGP, Incluyen todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia para todo el equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> Alcalde Director Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> Director de SGP Director Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> Alta
EQUIPO DE PROVEEDURÍA	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> Experiencia en contratación administrativa, Habilidad de realizar las contrataciones necesarias para que el SGP pueda funcionar bajo modalidad de subcontratos y políticas de este. 	<ul style="list-style-type: none"> Preparar los carteles de licitaciones cada vez que sea necesario, Contratar lo requerido por el director del SGP, Incluyen todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia para todo el equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> Director de SGP 	<ul style="list-style-type: none"> Director de SGP Alcalde Director Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> Alta
DIRECTOR JURÍDICO	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> Experiencia en asesoramiento jurídico en material vial, Incorporación al Colegio Profesional respectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Encargarse de consultas técnico-legales en el área de infraestructura vial (todo lo relacionado con derechos de vía, 	<ul style="list-style-type: none"> Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> Director de SGP Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> Media

	<p>su entorno público-privado y la jurisprudencia nacional),</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 			
JEFE DE RRHH	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Se encarga de gestionar el personal municipal, • Incorporación al Colegio Profesional respectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Llevar el control del personal municipal y se encarga de lo relacionado con este en el entorno laboral, • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP • Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> • Media
EQUIPO DE MANTENIMIENTO Y OBRAS	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> • Funcionarios dedicados a obras de conservación y reconstrucción de infraestructura vial cantonal, • Conocimientos técnicos de MRR, • Conocimientos de buenas prácticas constructivas de MRR, • Preferiblemente personal con títulos técnicos o profesionales relacionados con la 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluyen todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia para todo el equipo, • Elaborar técnicas de conservación y mantenimiento vial que estén al alcance del municipio con maquinaria, equipos y herramientas propios. De forma rutinaria y periódica, • Capacitarse anualmente en temas de MRR y buenas prácticas constructivas, 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP • UTGV • Director de Inversión Pública 	<ul style="list-style-type: none"> • UTGV • Encargado de Mantenimiento y Obras 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta

ingeniería vial y construcción.	<ul style="list-style-type: none"> Realizar levantamiento de la condición de los pavimentos (deterioros) de las vías cantonales con las herramientas SIG a través de dispositivos móviles, Llenar boletas de campo de intervenciones, medidas, deterioros, inventario vial, entre otras. 			
PROMOTOR SOCIAL	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> Gestiones entre la población y UTGV en temas de infraestructura y seguridad vial, Conocimientos de contratación y administración pública, Incorporación al Colegio Profesional respectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Responsabilidades por ley N° 8114, Participar con la ciudadanía en la elaboración de proyectos de infraestructura vial, Investigar y hacer informes técnicos de proyectos desde la perspectiva social para promoverlos, Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia. 	<ul style="list-style-type: none"> Director del SGP Director Inversión Pública Alcalde 	<ul style="list-style-type: none"> Director del SGP 	<ul style="list-style-type: none"> Alta
ENCARGADO DE MANTENIMIENTO Y OBRAS (UTGV)	Responsabilidades claves	Jerarquía	Reporta	
<ul style="list-style-type: none"> Jefe y supervisor del equipo de mantenimiento y obras, 	<ul style="list-style-type: none"> Supervisor y controlar las obras ejecutadas por el equipo de mantenimiento y obras, subcontratistas y trabajos ejecutados por 	<ul style="list-style-type: none"> Director del SGP Director Inversión Pública 	<ul style="list-style-type: none"> Director del SGP 	<ul style="list-style-type: none"> Alta

<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos de contratación y administración pública, • Preferiblemente personal con títulos técnicos o profesionales relacionados con la ingeniería vial, • Conocimientos técnicos de MRR y buenas prácticas constructivas. 	<p>empresas privadas en derecho de vía público,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incluye todas las labores de acuerdo con el perfil de puesto de recursos humanos de la Municipalidad de Heredia, • Realizar levantamiento de la condición de los pavimentos (deterioros) de las vías cantonales con las herramientas SIG a través de dispositivos móviles, • Llenar boletas de fiscalización de subcontratos y obras ejecutadas por la UTGV. Boletas de intervenciones viales e inventario, • Informes técnicos de atención de denuncias, proyectos viales e informes mediante las aplicaciones SIG (herramientas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalde 		
<p>SUBCONTRATOS POR SERVICIOS</p>	<p>Responsabilidades claves</p>	<p>Jerarquía</p>	<p>Reporta</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Servicios profesional externos, equipos, herramientas, estudios técnicos, pruebas y ensayos de laboratorio, • Empresas y profesionales debidamente inscritos ante el CFIA, Ministerios de Hacienda y al día con todas las obligaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecutar lo subcontratado por el municipio y brindar el producto o servicio requerido en plazo y de acuerdo con lo solicitado, • Asistir al municipio en el desarrollo de obras públicas y control de calidad de estas, 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP • Director Inversión Pública • Proveeduría 	<ul style="list-style-type: none"> • Director de SGP 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta

	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar el objetivo municipal contratado mediante recursos públicos. 			
--	---	--	--	--

Fuente: elaboración propia (2020).

N/A: No Aplica.

4.1.1.6. Matriz de Comunicación.

La matriz de comunicación es la que refleja en los involucrados la función que tiene cada uno de estos para cada fase del proyecto, donde se agregan las letras RACI que representan lo siguiente:

- R: Comprometido: Hace la tarea y se encarga de entregarla,
- A: Responsable: Es propietario de la tarea y se encarga de asegurarse que esta quede finalizada y entregada por parte del comprometido,
- C: Consultado: Asiste: proporciona información útil para completar la tarea y entrega,
- I: Informado: Se mantiene al tanto.

Esta matriz se desarrolló debido a que facilita al director del SGP-SIG e involucrados del proyecto, tener y lograr una comunicación asertiva y efectiva.

A continuación, se muestra la **Tabla 26:**

Tabla 26. Matriz de Comunicación RACI

Matriz RACI del SGP-SIG para la Municipalidad de Heredia																	
	Patrocinador	Sección Política		LanammeUCR	Cliente	RRHH	Dirección Financiera			Dirección Jurídica	Dirección de Inversión Pública	Equipo del SGP del UTGV				Subcontratos	
		Concejo Municipal	Junta Vial				Unidad de Gestión Municipal	Población	Jefe Recursos Humanos			Director(a) Financiero	Equipo Contable	Equipo de Presupuesto	Equipo de Proveeduría		Director(a) Jurídico
Alcalde																	
Concejo Municipal																	
Junta Vial																	
Unidad de Gestión Municipal																	
Población																	
Jefe Recursos Humanos																	
Director(a) Financiero																	
Equipo Contable																	
Equipo de Presupuesto																	
Equipo de Proveeduría																	
Director(a) Jurídico																	
Director(a) de Inversión Pública																	
Director o Gerente del SGP																	
Líder Comunicación y Prensa																	
Líder de Procesos SIG																	
Junta Técnica Administrativa																	
Equipo de Mantenimiento y Obras, Promotor Social,																	
Equipo y Ensayos de Laboratorio																	
Estudios o Servicios Profesionales Subcontratados																	
FASE 1 - Planificación																	
Recopilación y Revisión de información Técnica	I			C					C		A	R		C	C		C
Recopilación y Revisión de	I			C					C		A	R		C	C		C

Información Legal																			
FASE 2 - Diseño																			
Establecer el diseño del SGP con sus componentes , elementos y funciones			C		I/C						I	R/A							
Establecer las políticas del SGP	I				C						I	R/A							
Definir los parámetros y estándares de desempeño técnicos de evaluación de pavimentos			C								I	R/A		I					
Definir la Matriz MRR con los criterios de priorización y planificación de intervencion es viales			C								I	R/A		I					
Determinar la información que formará	I				C						I	R/A		C	C				

la base de datos por medio del SIG (entradas y salidas)																			
Analizar el contenido para ejecutar el SGP			C								I	R/A	I						
FASE 3 - Ejecución																			
Programar el Software mediante el SIG para tener entradas y salidas de información	I		C								I	A/I	R						
Desarrollar diferentes interfaces de usuarios para uso interno (funcionarios) y externo (contribuyentes o interesados).	I										I	A/I	R						
Desarrollar aplicaciones WEB mediante las	I										I	A/I	R						

herramientas de un SIG																		
Preparar cartel de licitación por demanda con métodos MRR	I											I	R/A					
FASE 4 - Control																		
Ejecutar pruebas del SGP-SIG	I											I	R/A	C	I			
Realizar análisis de resultados del SGP-SIG												I	R/A	C	I			
FASE 5 - Capacitación																		
Exposiciones del SGP-SIG	I	I	I		I	I	I	I	I	I	I	I	R/A	C	I	I		
Capacitar Personal de la UTGV con temas de SGP, MRR, SIG y evaluación de pavimentos flexibles	I	I	I		I	I	I	I	I	I	I	I	R/A	C	I	I		
FASE 6 - Implementación																		
Solicitar presupuesto	I		C/I				I	I	A	I		I	R		I			

Brindar presupuesto	R	C	I				I	I	A	I		I	I			I			
Ejecutar presupuesto	I		C/I				I	I	I	I		I	R/A	I		I	I	I	I
Contratación de Servicios	I				I		I	I	I	R	C/I	I	A	I		C/I		I	I
Ejecución de servicios subcontratados	I		I									I	A/I/C		I/C	I		R	R
Divulgación	I				I							I	A	R			C		
Monitoreo			C	C	C							I	R/A		C	C	C	C	C
Realimentación			C	C	C							C	R/A		C	C	C	C	C
Control			C									C	R/A		C	C	C	C	C
Toma de Decisiones de Intervención Vial	I	I	I									C/I	R/A		C	C/I	C/I	C/I	C/I

Fuente: elaboración propia (2020).

4.1.1.7. Requisitos de Comunicación de los Involucrados.

Los requisitos de comunicación son los dictados en la matriz de comunicación RACI y el proceso de escalación, así como otros elementos planteados en este plan. A manera de guía visual, y como complemento a los requerimientos de los involucrados, se muestra la Tabla 27 a continuación. Se hace énfasis que la frecuencia establecida podría variar de acuerdo con las necesidades circunstanciales, sin embargo, lo anotado es la frecuencia mínima esperada de cada involucrado.

Tabla 27. Requisitos de Comunicación de los Involucrados

Equipo del Proyecto	Medios de Comunicación y Frecuencia	
Director del SGP	Reuniones con equipos de trabajo o jefaturas	Según se requiera
	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Informes	Según se requiera
Líder de Procesos (SIG)	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reportes	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Líder de Comunicación y Prensa	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reportes	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Encargado de Mantenimiento y Obras (UTGV)	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones de Subequipo	1 vez por semana
	Radios de onda corta	Según se requiera
	Reportes	1 vez por semana
	Pizarras informativas	1 vez por semana
Promotor Social (UTGV)	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera

	Reuniones	Según se requiera
	Informes	Según se requiera
Junta Técnica Administrativa	Actas	Según se requiera
	Reuniones	1 vez cada 2 meses
	Reportes	1 vez por mes
Junta Vial	Actas	Según se requiera
	Reuniones	1 vez por mes
	Reportes	1 vez por mes
Concejo Municipal	Actas	Según se requiera
	Reportes	Según se requiera
	Informes	Según se requiera
	Sesiones	Según se requiera
Alcalde	Actas	Según se requiera
	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Jefe de RRHH	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Director Financiero	Actas	Según se requiera
	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Director Jurídico	Actas	Según se requiera
	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Director Inversión Pública	Actas	Según se requiera
	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera

	Reuniones	Según se requiera
Equipo Contable	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Equipo de Proveduría	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Equipo de Presupuesto	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
Subcontratos	Teléfono	Según se requiera
	Correo electrónico	Según se requiera
	Reuniones	Según se requiera
	Informes	Según se requiera

Fuente: elaboración propia (2020).

Métodos y Tecnología de la Comunicación

Los métodos y medios tecnológicos para utilizar en la comunicación formal entre el equipo del proyecto, e inclusive los involucrados, serán principalmente el correo electrónico, el teléfono y las reuniones personales. En tanto haya acceso a Internet, también se podrán comunicar mediante *Microsoft Teams*, *Zoom*, *Skype*, *WhatsApp* o algún otro tipo de *chat* que el personal tenga disponible para asuntos de menos formalidad. Los radios de onda corta también serán un medio alternativo para la comunicación diaria entre personal.

La comunicación será escalonada, cada equipo departamental se comunicará entre sí y con los líderes; estos, a su vez, serán los responsables de comunicarse específicamente con el director del proyecto, quien se comunicará de manera exclusiva con el encargado de comunicación y prensa, el cliente, director de Inversión Pública, alcalde y quien fuera necesario.

Proceso de Escalación

Cuando alguna situación no puede resolverse al nivel de jerarquía que se presenta, se procede a escalarlo a un nivel superior. El proceso de escalamiento consiste en comunicar, de manera formal, la situación al nivel superior, el cual tiene el deber de atenderlo en no menos de 3 días y dar respuesta a este. De ser necesario, este proceso se puede repetir hasta llegar al nivel más alto de la jerarquía de proyecto. A continuación, se muestra la **Tabla 28**.

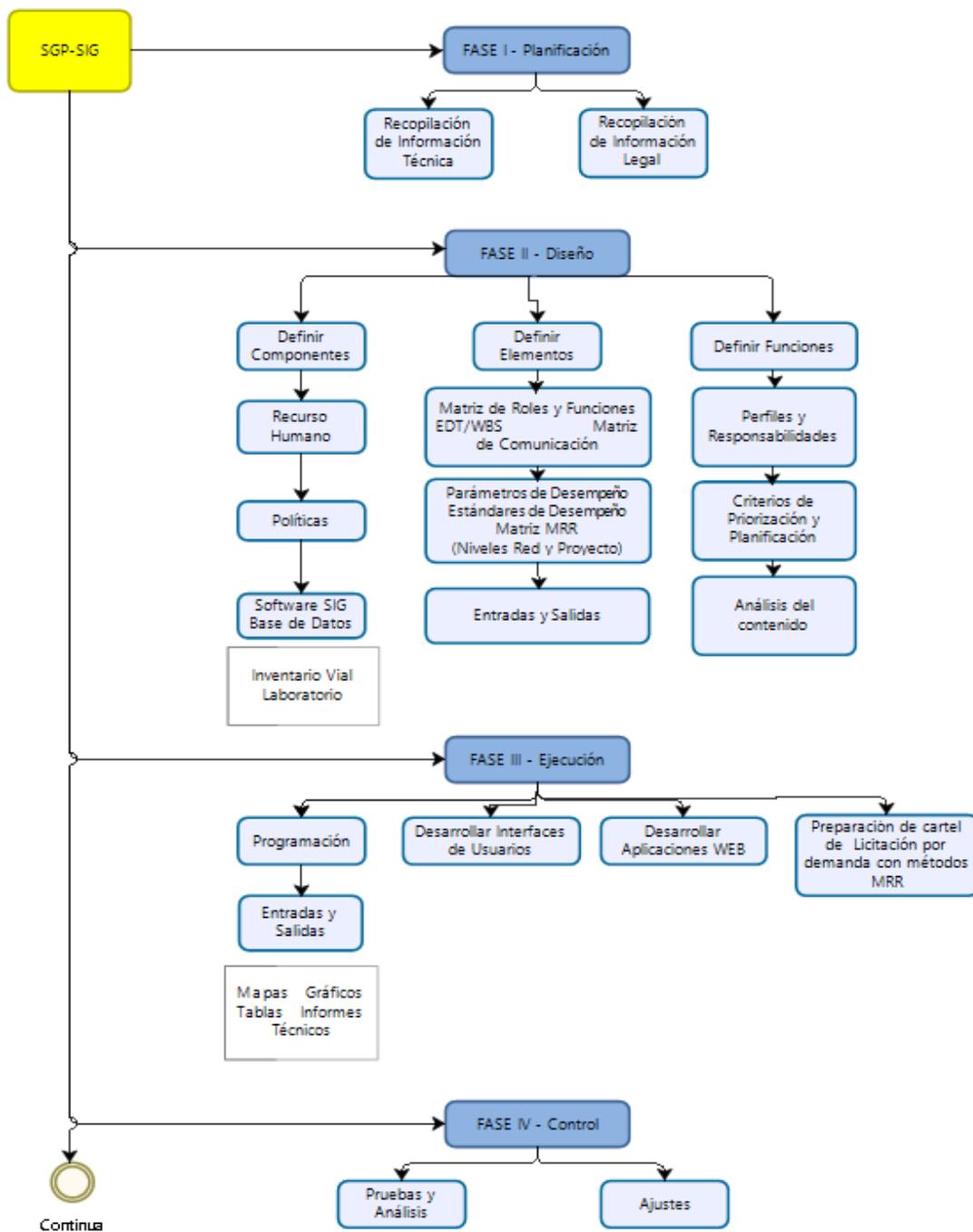
Tabla 28. *Proceso de Escalación de Comunicación de Situaciones del SGP*

Prioridad	Problemas	Responsable de tomar decisión	Tiempo de Solución
Prioridad 1	Impacto muy significativo para el desarrollo del proyecto. (Falta de recursos humanos, económicos o equipos de laboratorio subcontratados).	Alcalde /Junta Técnica Administrativa	1 día hábil
Prioridad 2	Impacto significativo para el desarrollo del proyecto. (Problemas mayores del software SIG y fallo de herramientas de este donde es necesario contactar al líder de Procesos SIG).	Alcalde /Junta Técnica Administrativa	2 días hábiles
Prioridad 3	Impacto medio para el desarrollo del proyecto (Errores menores del software SIG o en las herramientas de este, no es necesario contactar al Líder de Procesos porque el arreglo está al alcance del director del SGP)	Director del SGP	3 días hábiles
Prioridad 4	Impacto bajo para el desarrollo del proyecto (Atrasos en la entrega de información suministrada por subcontratos, atrasos en atención de denuncias por el cliente).	Director del SGP	Se continúa con el desarrollo normal de las actividades y se realizan las recomendaciones necesarias a la gestión de cambios.

Fuente: elaboración propia (2020).

4.1.1.8. EDT / WBS (Adjunto – 1D).

A continuación, se desglosa la Estructura de Desarrollo de Trabajo (EDT) contemplando todas las fases que se debieron realizar para diseñar la propuesta del SGP. Esta contempla también las fases de ejecución, control, capacitación e implementación que se deberán desarrollar detalladamente, pero no se incluyen en el alcance de este proyecto, el cual se concentró en las etapas de planificación y diseño del SGP-SIG (Ver Ilustración 54).



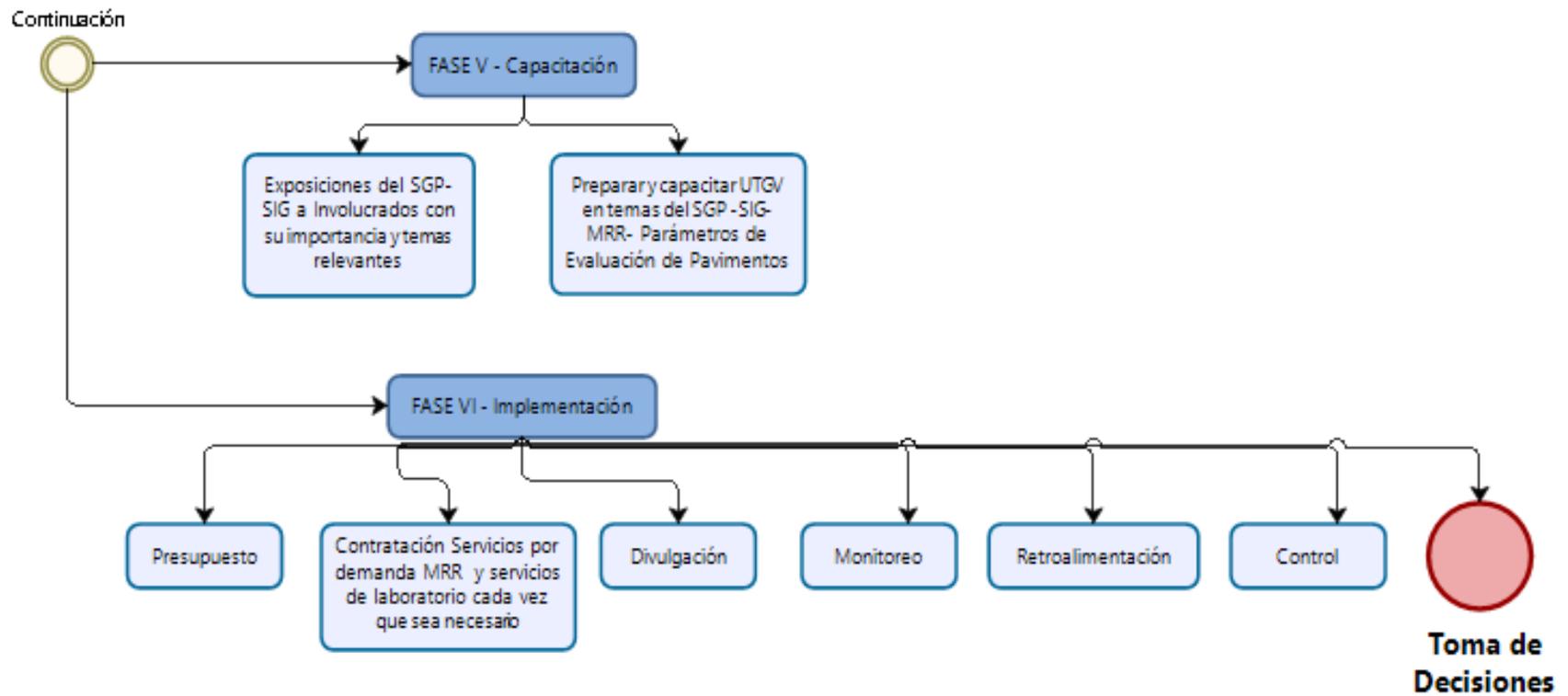


Ilustración 54. EDT o WBS del SGP-SIG
 Fuente: elaboración propia (2020).

4.1.2. Políticas del SGP

Es importante establecer las políticas generales del sistema para garantizar el correcto funcionamiento y optimización de este. Con estas políticas se generan las fronteras del SGP para priorizar y atender exclusivamente pavimentos flexibles del cantón de Heredia y de únicamente sus rutas cantonales. Lo anterior, según sus características ambientales, tránsito, condición de los pavimentos, jerarquía vial, usos de suelo, recursos económicos disponibles y necesidades sociales de la población del cantón herediano.

Todas las recomendaciones del sistema se basan en la condición actual y futura de las secciones de la red vial, por lo que la evaluación debe ser objetiva y repetible, adaptándose a los recursos disponibles para definir los presupuestos municipales anuales y priorizar su ejecución planificada.

4.1.2.1. Políticas Generales.

A continuación, se describen las políticas generales del SGP propuesto:

1. El sistema estará a cargo del Director del SGP que contará con el equipo SGP y apoyo del patrocinador (Alcalde) y demás directores. Se deberá respetar lo indicado en el plan de gestión de recursos humanos/ comunicación mencionado anteriormente.
2. El SGP trabajará bajo políticas generales, ambientales, sociales, económicas y técnicas que se definirán en sus respectivos apartados de este documento y serán el resultado de los criterios de priorización.
3. El sistema funciona a través de herramientas que facilitan el proceso de gestión a un equipo de trabajo, por lo que es necesario que exista un software que permita realizar funciones representando la información real georeferenciada y que permita interpretarla a través de mapas, gráficos, tablas y que almacene dicha información en una base de datos. Para este caso se propuso el SIG por medio de la plataforma ArcGIS ya que el municipio posee la licencia oficial y cuenta con la plataforma necesaria para lograr implementar el SGP por medio de este software. La ventaja es que es un sistema flexible que permite modificaciones, mejoras a futuro, integra datos a través de bases de datos relacionadas, permite hacer consultas de una forma fácil, rápida y permite la comunicación en doble sentido con aplicaciones externas (Word, Excel y Access), características indispensables para un SGP. Sin embargo, el servicio del SIG será indispensable para funcionamiento del SGP propuesto por lo que un cambio de plataforma a futuro será indispensable el análisis de este.
4. La planificación de los recursos económicos para intervenciones nacerá de un Proceso Analítico de Jerarquía (PAJ). Este proceso debe actualizarse en un plazo máximo de 2 años ya que es suficiente tiempo para que una ciudad crezca, desarrolle, el tránsito varíe y cambie sus usos de suelo (zonificación) considerablemente al igual que las variables ambientales, sociales y económicas. Para esto se deberán utilizar la información actualizada de las variables mencionadas y ayudará a mantener un control sobre estas y, por ende, de los resultados del análisis del SGP. En las políticas económicas se determinará la

forma de inversión de los recursos por distrito, se le asignará un peso de importancia a cada distrito mediante un porcentaje de inversión que resulta del PAJ, de ese porcentaje se obtendrán los recursos económicos para invertir en cada distrito y se definirá un 70 % de dicho monto para gestionar intervenciones viales a nivel de red y 30 % para nivel de proyecto. Para este último se analizará en combinación del uso del método de análisis económico del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) por alternativas de intervención.

5. El análisis PAJ deberá considerar los siguientes factores: jerarquía vial, usos de suelo, población, geología, precipitaciones promedio y temperatura promedio intermedia. El procedimiento de este análisis se explica en la sección del Proceso de Análisis de Jerarquía (PAJ) *Analytic Hierarchy Process* (AHP).
6. La base de datos deberá realimentarse constantemente para mantenerla actualizada y maximizar los beneficios del sistema. Las entradas y salidas que se definen más adelante serán el alma del sistema por lo que los datos que se introduzcan deben estar a cargo del director del SGP (profesional en la materia) que entienda los datos que está ingresando y los resultados que este le estará brindando para tomar las mejores decisiones de intervención vial alargando la vida de los pavimentos flexibles cantonales y así optimice los recursos económicos. Los parámetros de desempeño que utilizará el SGP deberán medirse y evaluarse constantemente de acuerdo con lo indicado en estas políticas.
7. Se debe subcontratar laboratorios que permitan evaluar la red vial cantonal mediante aplicación de ensayos como: medición del IRI, medición del PCI con equipo automatizado, medición de deflexiones por medio de Deflectometría de Impacto FWD, conteos vehiculares para obtener la información del tránsito mediante contadores neumáticos automáticos y medición del *Grip Number* para determinar capacidad de fricción (este último solamente se medirá en rutas principales primarias por sus altas velocidades). Los estudios de IRI y FWD se deberán hacer cada 2 años junto con contadores del tránsito TPD, ya con esa información se puede gestionar de forma controlada. Estos estudios deben contar con mediciones al menos cada 25m para IRI y cada 50m para FWD. El TPD en zonas de interés. Para el FWD es importante usar varios indicadores que reflejen los sensores del equipo en distintas posiciones, al menos tres de estos, D1, D3, D4, D8, D9. Además, se debe hacer el diagnóstico vial con el Geo3D para el cálculo del PCI cada 4 años donde se pueda determinar el estado de los pavimentos y actualizar el inventario vial. El *Grip Number* se deberá medir cada 2 años en las rutas primarias que superan los 60km/h. De esta forma, se podría comparar entre parámetros y condiciones de los pavimentos. Además, con este equipo se logra alimentar la base de datos para ir desarrollando un histórico para futuras investigaciones.

La idea de mantener una constante evaluación de los pavimentos es poder monitorearlos de forma que se logre obtener un buen estado de estos planificando en lo máximo posibles métodos de conservación,

mantenimiento y rehabilitaciones menores y en lo mínimo posibles métodos de rehabilitación mayor y reconstrucción.

8. Se debe realizar el estudio del diagnóstico vial en la misma época del año cada periodo indicado en las políticas técnicas, esto bajo el supuesto de que las condiciones no varían mucho en condiciones climatológicas, capacidad de los suelos, etc. Sin embargo, se recomienda hacer estudios de suelo cada 3 años en verano e invierno para medir la capacidad de soporte de los suelos, según la variación estacional para poder en unos años establecer modelos del comportamiento de estos.
9. El SGP debe evaluar los pavimentos bajo la modalidad de tramos homogéneos que serán formados por semejanzas en los resultados obtenidos y características geométricas, ambientales y tránsito de la red vial. Estos tramos se formarán en el SIG de la siguiente manera: se introducen los datos de las mediciones en sitio de los parámetros de desempeño en el programa ArcGIS para disponer de una mejor visualización espacial de estos y así poner unificarlos en conjuntos de datos que posean resultados similares, de tal manera que con la unión de puntos o nodos se pueda formar una línea conformando un tramo homogéneo.
10. El SGP utilizará 4 parámetros de desempeño para evaluar la condición de los pavimentos flexibles los cuales trabajarán y funcionarán con base en las metodologías indicadas en el marco metodológico:
 - a) IRI (Índice de Regularidad Internacional a nivel de red y proyecto).
 - b) PCI (Índice de Condición del Pavimento a nivel de red y proyecto).
 - c) FWD (Deflectometría de Impacto a nivel de proyecto).
 - d) *Grip Number* en rutas primarias solamente (Número de adherencia o capacidad friccionante).

El orden de metodologías que se pueden implementar con el fin de alimentar el SGP:

- I Metodología Notas J y PCI.

Con esta metodología se debe contar con el subcontrato de un laboratorio externo que evalúe la red vial cantonal de acuerdo con la necesidad del municipio. Esta metodología es ideal para diagnosticar la condición general de la red vial y gestionar a nivel de red.

Es importante considerar siempre la auscultación visual de los daños del pavimento ya que sirven para realizar cambios en los tramos homogéneos previamente seleccionados y adaptarlos, no solo a los aspectos teóricos sino, también, a las condiciones reales del sitio.

Es importante realizar todas las evaluaciones de los diferentes parámetros de evaluación de la red vial, ya que si el día que se necesiten realizar ensayos, el laboratorio contratado no tiene alguno de los equipos en funcionamiento por un daño técnico o esté ocupado por otra contratación por parte de algún tercero se debe contar con la medición de otros parámetros a nivel funcional y estructural. También se

podría buscar otro laboratorio, sin embargo, depende de lo mismo. Para disminuir ese inconveniente se realizaría la II Metodología.

- II Metodología PCI por norma ASTM-D6433.

En esta II Metodología no se cuenta con equipos de laboratorio, presupuesto u alguna razón que impida obtener parámetros, por lo que se debería realizar la metodología PCI bajo la norma ASTM-D6433. Se realiza por auscultación visual sin necesidad de equipos de laboratorio con el fin de obtener resultados fundamentados bajo criterio técnico e ingenieril. Esta metodología debe considerar que implica mayor recurso humano y tiempo ya que aumenta el trabajo de campo y de oficina. Se debe considerar el uso del Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016.

Esta metodología es ideal para diagnosticar la condición general de un tramo y gestionar a nivel de proyecto.

11. El usuario definirá cual metodología implementará de acuerdo con su disponibilidad de recursos (económicos, tiempo, recurso humano, equipos y ensayos de laboratorio).
12. El sistema se genera con el propósito de brindar pavimentos en buena o excelente condición para la población y para asegurar la circulación del tránsito por las rutas cantonales de Heredia. El tránsito se debe controlar mediante parámetros con el fin de gestionar a través del tiempo ya que es un factor cambiante. Para este sistema se mantendrá actualizado la siguiente información:
 - a) TPD actual.
 - b) EEq a 10 años.
 - c) EEq a 15 años.
 - d) EEq a 20 años.

Esto debido a que a nivel proyecto al ser espontáneos y focalizados se deberán considerar los cálculos de ejes equivalentes. Estos serán necesarios para diseñar proyectos puntuales o seleccionados por estar en fase de reconstrucción donde se contemplen predicciones del tránsito a futuro y que la capacidad de carga de los pavimentos de abasto. Se deben considerar periodos de diseño de 10,15 y 20 años:

- a) EEq a 10 años.
- b) EEq a 15 años.
- c) EEq a 20 años.

Para este cálculo se utilizarán los factores camión referentes a los del Peaje Autopista General Cañas, Ruta 1 lo cuales se muestran en la **Tabla 29**:

Tabla 29. Factores camión referentes a los del Peaje Autopista General Cañas, Ruta 1

Tipo	C2+	C2 Bus	C2	C3	T3S2
Factor Camión	0,019	2,022	0,734	2,721	2,102

Fuente: LanammeUCR (2017).

13. Los conteos vehiculares deberán realizarse durante periodos de tránsito normales, nunca en vacaciones o días feriados. Se deben hacer entre lunes y viernes preferiblemente martes, miércoles o jueves con el fin de evitar el efecto fin de semana. Los conteos deberán ser de 25h para contemplar el efecto de ambos periodos de horas pico y facilitar el cálculo del TPDA.
14. Del presupuesto institucional se obtendrá una partida económica asignada a Gestión Vial. Esa partida el Departamento Financiero la divide en subpartidas para poder atender las diferentes funciones y responsabilidades de la UTGV, por lo que destina un porcentaje para el mantenimiento y conservación de carreteras. Esta partida se deberá invertir con base en las políticas económicas descritas más adelante y de acuerdo con lo determinado por el Proceso de Análisis PAJ.
15. De acuerdo con el monto respectivo para mantenimiento y conservación de la red 70 % y para construcción de proyectos 30 % por distrito. El 30 % dado a cada distrito puede ser analizado y en caso de no ocuparse un proyecto en algún distrito específico, esos recursos se podrán invertir en un proyecto de otro distrito que sea urgente y de esa forma se refuerza el presupuesto para poder ejecutarlo. También está la opción de utilizar todo el 30 % para hacer un solo proyecto cantonal (todos los distritos se benefician por el flujo de la red). De igual forma si el 30 % en cualquiera de los distritos no se ejecutará como proyectos específicos se ejecutarán como mantenimiento y conservación de la red vial en los mismos distritos o según lo determine el la Junta Técnica del SGP de forma planificada y justificada.
16. La priorización de los trabajos por realizar se hará de acuerdo con los criterios de priorización, sin embargo, se escogerán los primeros 10 caminos por distrito que estén en peores condiciones para considerarlos en la elección de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación.
17. Cuando se requiere investigar detalladamente un caso a nivel de proyecto se deberán hacer pruebas de laboratorio con el fin de analizar profundamente cada caso. Las pruebas se recomiendan hacer previo al proyecto, durante y después, con el fin de garantizar la calidad de las obras. Se deben considerar pruebas del tipo de suelo (subrasante) y estructura del pavimento. El parámetro FWD se debe considerar en este tipo de análisis.
18. El sistema debe revisarse periódicamente. En caso de aplicar cambios según sea necesario. Si son cambios menores se pueden realizar cada vez que se requiera por parte del director del SGP conjunto al líder de Procesos SIG y los cambios mayores se deben valorar con la Junta Técnica Administrativa. Cuando existen problemas con el SGP se deben atender de acuerdo con el proceso de escalación y

prioridad del problema según lo mencionado en el apartado de Recursos Humanos para su debida atención.

Cambios mayores afectan:

- Requisitos de las bases de datos
- Modelos de predicción
- Análisis económicos
- Tipos de reportes

Deben hacerse una vez cada 5 años.

Cambios menores afectan:

- Mejoras que simplifican el proceso

Deben hacerse con la frecuencia que sea necesaria.

19. Previo a cualquier lista de priorización de trabajos se deberá tener claro y oficializado las intervenciones o planificación que ejecutará la ESPH a corto y mediano plazo. Con el fin de hacer un trabajo planificado e invertir de forma inteligente ya que esta institución se encarga de los servicios de energía, agua potable y alcantarillado sanitario, por lo que deben estar haciendo intervenciones en la red vial cantonal de Heredia. Deberá existir una comunicación interinstitucionalmente constante.
20. Los tratamientos superficiales TS-1, TS-2 y TS-3 se usarán en condiciones de clima seco y en rutas de poco tránsito, terciarias únicamente Siempre deberá existir sistema de recolección pluvial y drenajes si no funciona. Preferiblemente no utilizar en Vara Blanca por el clima, fuertes lluvias y humedad. Se usarán en carreteras con condiciones buenas y aceptables con el fin de aumentar su vida útil.

4.1.2.2. Políticas Ambientales.

Para efectos de este trabajo, se considerarán únicamente tres factores ambientales de forma general ya que este tipo de variables o factores requieren estudios focalizados, profundos y a través del tiempo de los cuales se salen del alcance.

En este trabajo se considera únicamente el tipo de geología, precipitaciones y temperaturas intermedias promedio por distrito. Estos con el fin de poder priorizar intervenciones según la importancia que se le dé a cada factor por distrito ya que entre estos cambian razonablemente por su ubicación geográfica, pero afectan el estado de los pavimentos con el tiempo, por lo que se consideran de manera generalizada, pero sí con datos reales del cantón de Heredia.

Geología (tipo de suelo):

Con base en lo indicado por el Geólogo José Daniel López Oviedo (CI 118-11 SETENA C.G.C.R. N°358, febrero 2019), quien realizó el informe de Vulnerabilidad Intrínseca a la Contaminación de los Acuífero del Cantón de Heredia elaborado para la Universidad Nacional de Costa Rica, los distritos de Heredia cuentan con un tipo de suelo de materiales litológicos distintos como: coladas de lava, ignimbritas, tobas y piroclastos.

El cantón cuenta con afloramientos de roca en ciertas zonas de formaciones distintas. Estas se mencionan en orden cronológico, iniciando por las formaciones más antiguas hasta las más recientes.

- Formación Colima
- Formación Tiribí (Avalancha Ardiente)
- Formación Barva
- Miembro Los Ángeles
- Depósitos de Tobas y Cenizas

Siendo esta última formación de depósitos de tobas y cenizas la capa de terreno de mayor extensión en el cantón a nivel superficial (Distritos: Heredia, San Francisco, Mercedes, Ulloa y Vara Blanca), donde se encuentran las carreteras. Donde López, D. indica: “De acuerdo con el INF. #15-0276 realizado por Castro y de la Torre (Anexo 4) en el área de estudio, las capas de esta unidad presentan un espesor de por lo menos 14 metros, presenta un suelo limoso color café oscuro con moderada plasticidad y consistencia semidura. La toba es color claro y se transforma a limo plástico de consistencia semidura” (p. 8).

La distribución espacial de las formaciones se puede apreciar en las **Ilustración 55** e **Ilustración 56** para los distritos Heredia, San Francisco, Mercedes y Ulloa:

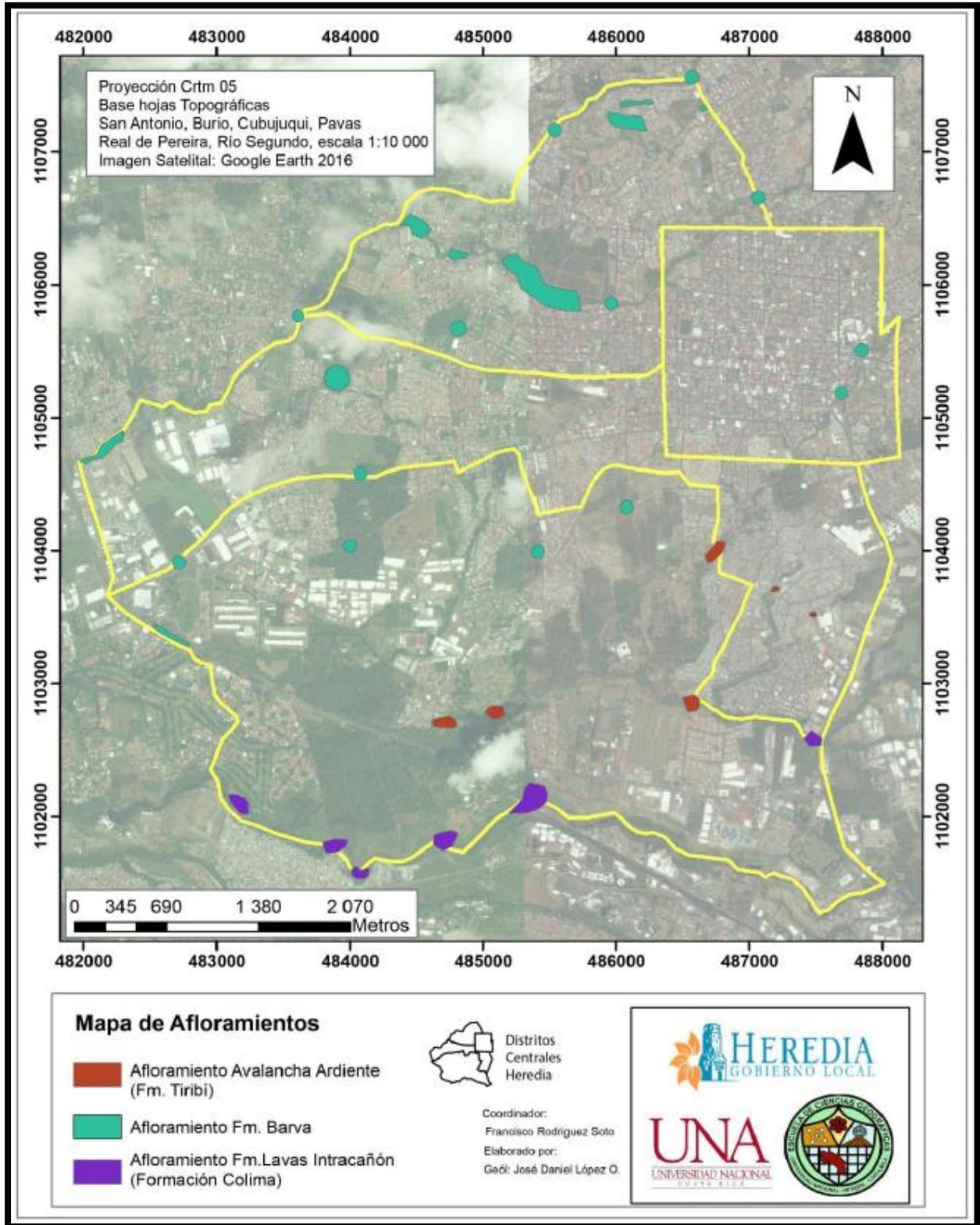


Ilustración 55. Mapa de afloramientos de roca en el área de estudio
 Fuente: López (2019).

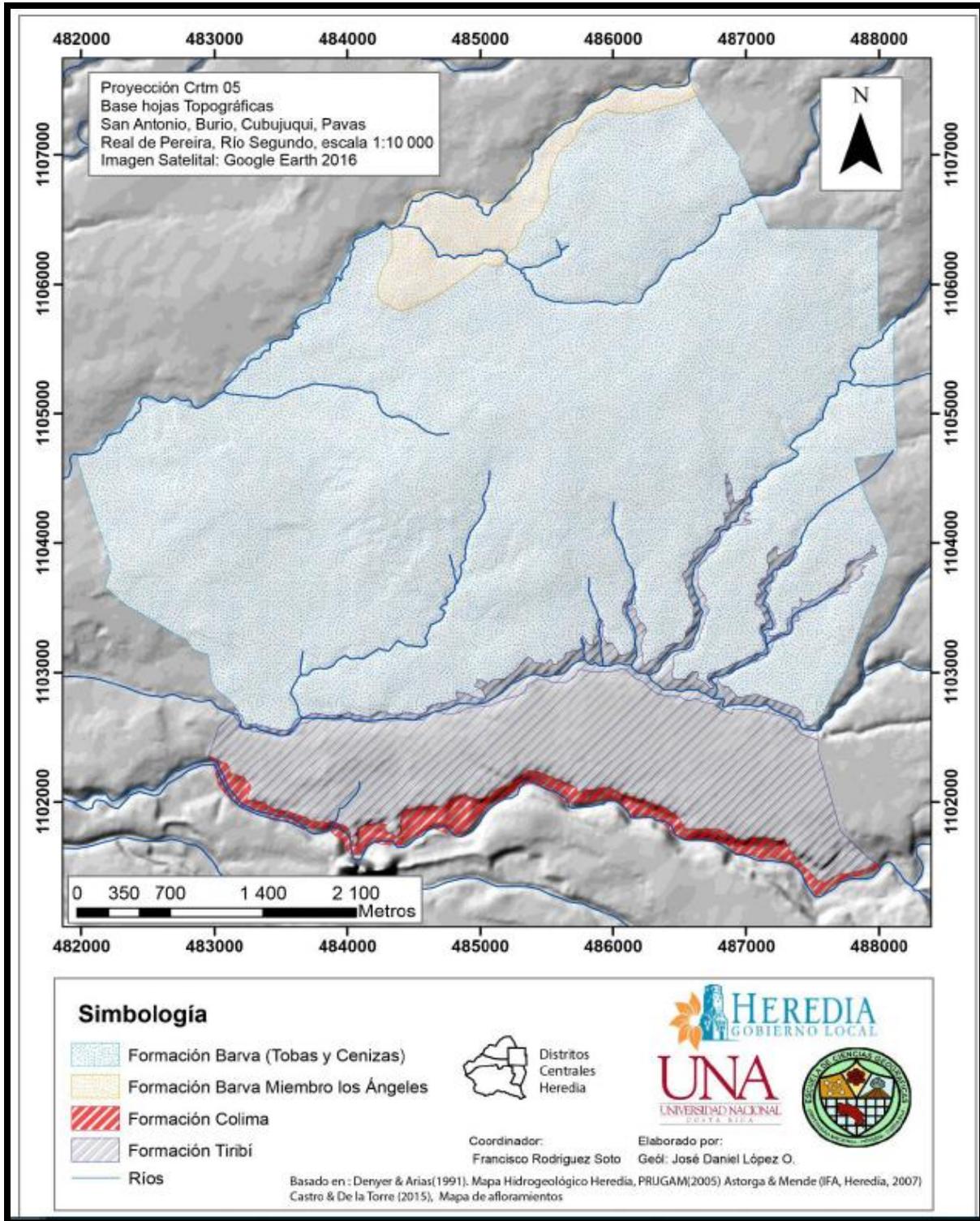


Ilustración 56. Mapa Geológico para la zona de estudio
Fuente: López, D. 2019. Modificado de Denyer & Arias (1991), 1:50 000, Astorga (2007), escala 1: 40 000, Castro y de la Torre (2015).

Precipitación y Temperatura:

Para los datos de lluvia y temperatura se deben utilizar las estaciones más cercanas. En este caso momentáneamente son:

Para los distritos (Heredia, Mercedes, San Francisco y Ulloa) se utiliza la estación meteorológica de Santa Lucía de Heredia y para Vara Blanca la de la Tirimbina 2 de Sarapiquí. Datos brindados por el IMN (Instituto Meteorológico Nacional) adjunto en anexos.

Para los distritos Heredia, San Francisco, Mercedes y Ulloa: al ser una zona donde todos los distritos están a la par generaliza la temperatura y precipitaciones promedio. Estos poseen clima similar con microclimas. Para el distrito Vara Blanca se dan más lluvias y temperaturas más altas. A continuación, se muestra la **Tabla 30** con el resumen con los datos determinados:

Tabla 30. Resumen de factores ambientales por Distritos del Cantón de Heredia de acuerdo con el IMN

Clima	Distritos				
	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca
Precipitación promedio (mm o litros por m ²)	202	202	202	202	340
Promedio de días con lluvia al año $\geq 0,1\text{mm}$	188	188	188	188	186
Promedio de días sin lluvia al año	177	177	177	177	179
Temperatura máxima promedio (°C)	25	25	25	25	30
Temperatura intermedia promedio (°C)	20	20	20	20	26
Temperatura mínima promedio (°C)	15	15	15	15	21
Suelo	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca
Tipo de suelo	Depósitos de tobas y cenizas				

Fuente: IMN (2019).

Entonces a sabiendas de que existe un mismo tipo de suelo entre los 5 distritos en la capa donde se encuentran las carreteras, pero las lluvias y temperaturas varían ya que Vara Blanca es distinto a los otros cuatro por su ubicación geográfica y siendo un factor importante a nivel de carreteras por su afectación directa, se le debe dar una jerarquía de importancia para clasificar los factores ambientales según la importancia y según distrito. Se determinan las siguientes políticas ambientales:

1. Vara Blanca tiene la mayor prioridad de atención de intervenciones de carreteras ante los otros 4 distritos debido a que llueve más y tiene mayores temperaturas intermedio promedio, por lo que se puede concluir que son los pavimentos más afectados por esta variable (tiene más microclimas por estar en zona montañosa). Las variables ambientales consideradas anteriormente tendrán mayor peso en Vara Blanca que los demás distritos.
2. Los Distritos Heredia, San Francisco, Mercedes y Ulloa tienen igualdad de importancia para efectos de estos factores o variables ya que sus condiciones son muy similares y los cambios que se dan son por microclimas temporales y focalizados, pero no son significantes por lo que se consideran iguales los cuatro.
3. Los datos de temperatura promedio intermedia y precipitaciones promedio deberán actualizarse para el SGP al menos cada 2 años (tiempo indicado para actualizar el PAJ), esto porque de acuerdo con datos estadísticos del IMN se pueden dar cambios importantes en ese plazo, máximo con el calentamiento global.

4.1.2.3. Políticas Sociales.

Estas políticas se basan en la relación que tiene la población con el uso y percepción de las carreteras del cantón, por lo que se contemplan factores como: cantidad población por distrito.

Para elaborar estas políticas es importante conocer previamente la cantidad de población por distrito y así poder priorizar de acuerdo con la cantidad que utilizarán en teoría estas rutas, o se quejarán por el estado de sus carreteras y estarán pendientes del mantenimiento de estas.

En el cantón de Heredia la mayor parte de la población se ubica en el distrito San Francisco, seguido por Mercedes, Ulloa, Heredia y último Vara Blanca. Según el Instituto Nacional de Censo y Estadística (INEC), en el 2019 el cantón cuenta con una población de 141.683 habitantes con una distribución de esta forma mostrada en la **Tabla 31**.

Tabla 31. Población por Distrito del Cantón de Heredia Según el INEC

Distrito	Población (2019)
Heredia	19 143
Mercedes	29 383
San Francisco	57 879
Ulloa	34 344
Vara Blanca	934
Total	141 683

Fuente: INEC (2019).

En anexos se adjunta la distribución de dicha población desglosada por distrito.

Gráficamente se puede representar como se muestra en la siguiente **Ilustración 57.**

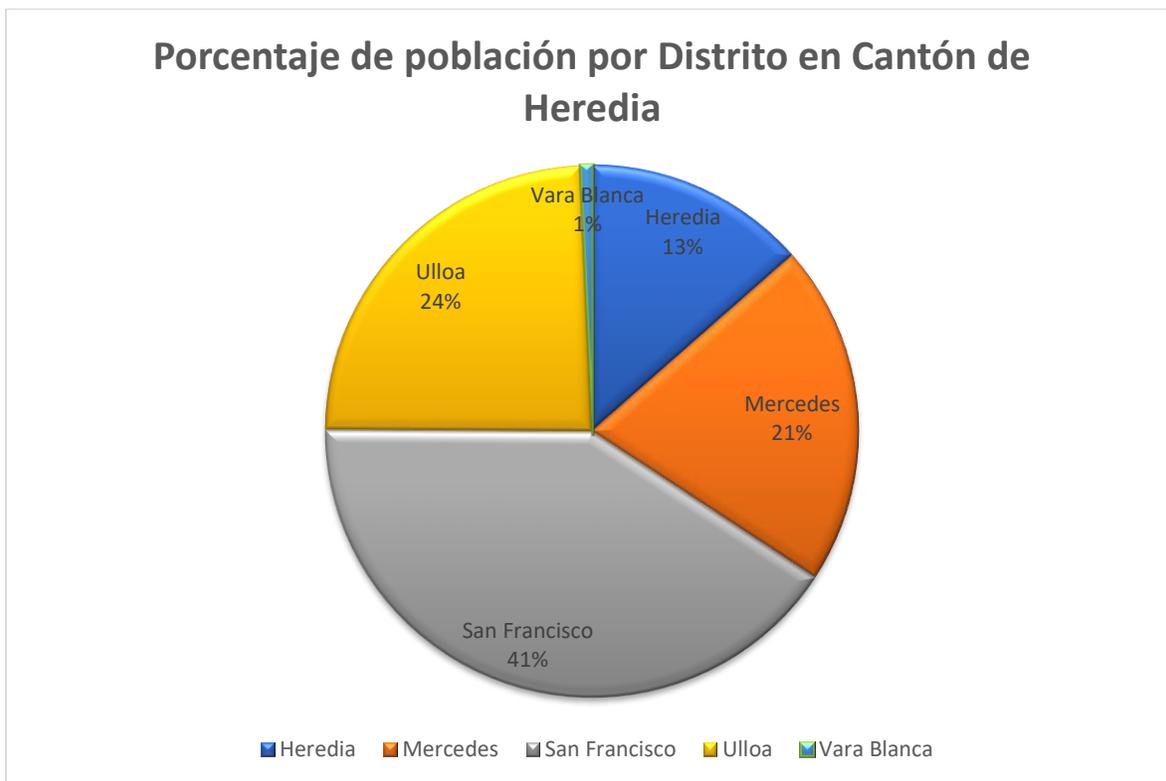


Ilustración 57. Porcentaje de población por Distrito en Cantón de Heredia según el INEC (2019)

Fuente: elaboración propia (2019).

A sabiendas que la cantidad de población por cada uno de los distritos del cantón son diferentes, se determinaron las siguientes políticas sociales:

1. Si un distrito posee mayor población se considera un peso más importante que los demás.

2. Está información de la población por distrito debe actualizarse para el SGP al menos cada 2 años (tiempo indicado para actualizar el PAJ) ya que de acuerdo con datos estadísticos del INEC se da un cambio importante en ese plazo.

4.1.2.4. Políticas Técnicas.

Estas políticas consideran los siguientes elementos críticos de información:

- Tránsito
- Usos de suelo

Se consideran parámetros técnicos los usos de suelo y la jerarquía vial basada en el tránsito de las rutas, por lo que se realizaron conteos vehiculares en diferentes partes del cantón con el fin de determinar datos reales del TPD, el cual varía por la jerarquía de ruta y por cada distrito. A continuación, en la **Ilustración 58, Ilustración 59, Ilustración 60, Ilustración 61 e Ilustración 62** se muestran mapas por distrito de la ubicación de las mediciones realizadas con contadores de manguera.

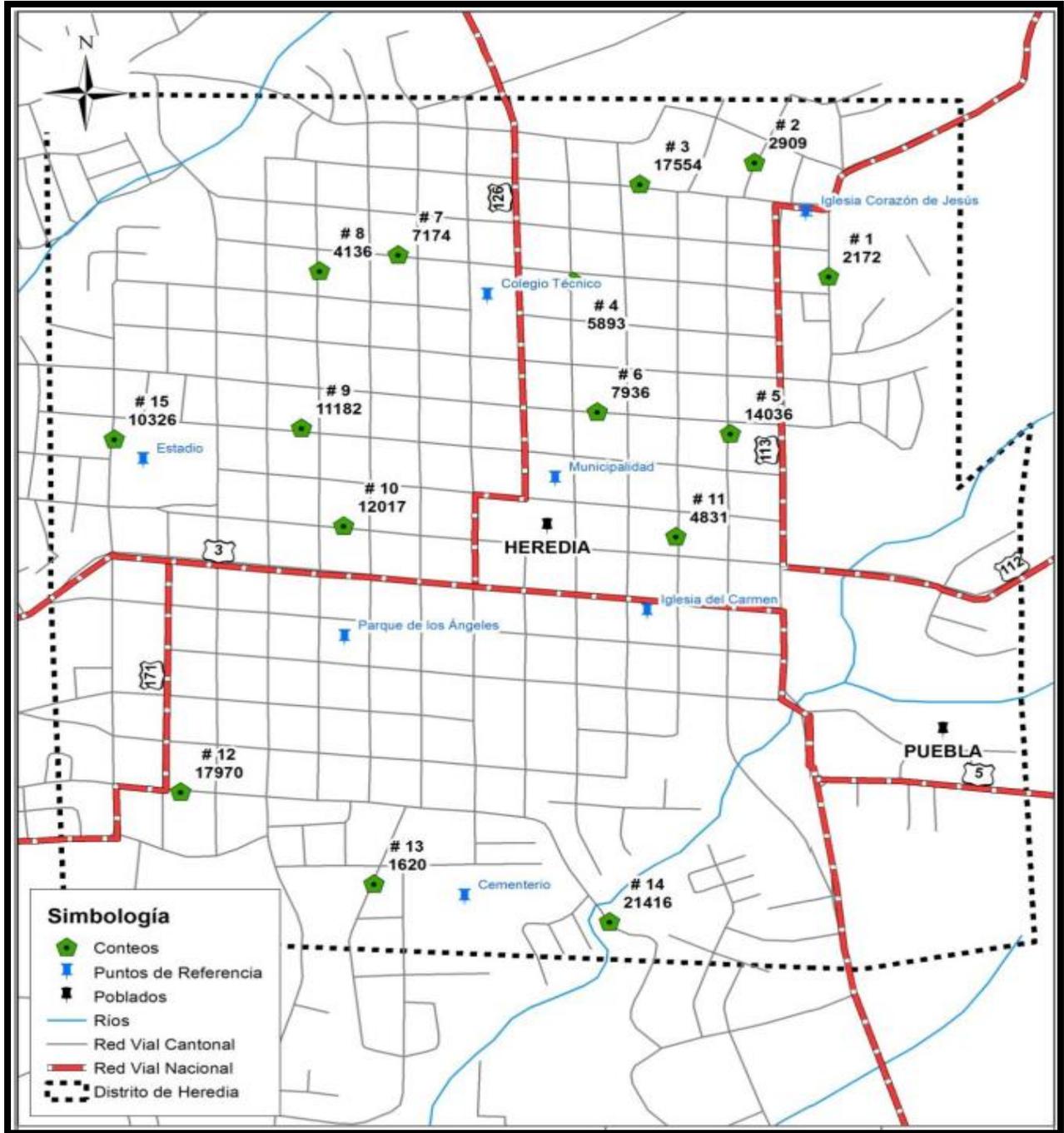


Ilustración 58. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito Central de Heredia
 Fuente: LanammeUCR (2017).

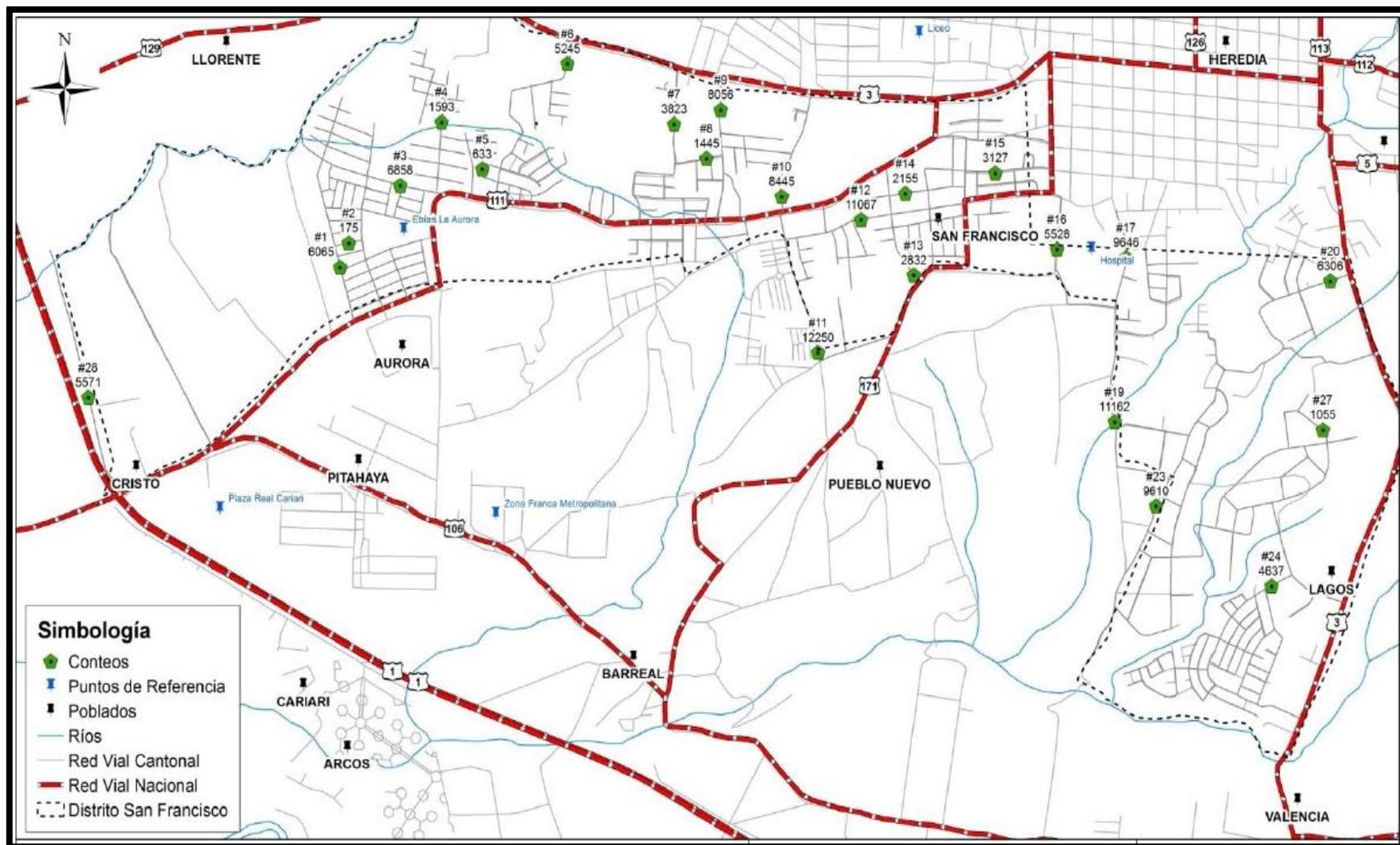


Ilustración 59. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito San Francisco
 Fuente: LanammeUCR (2017).

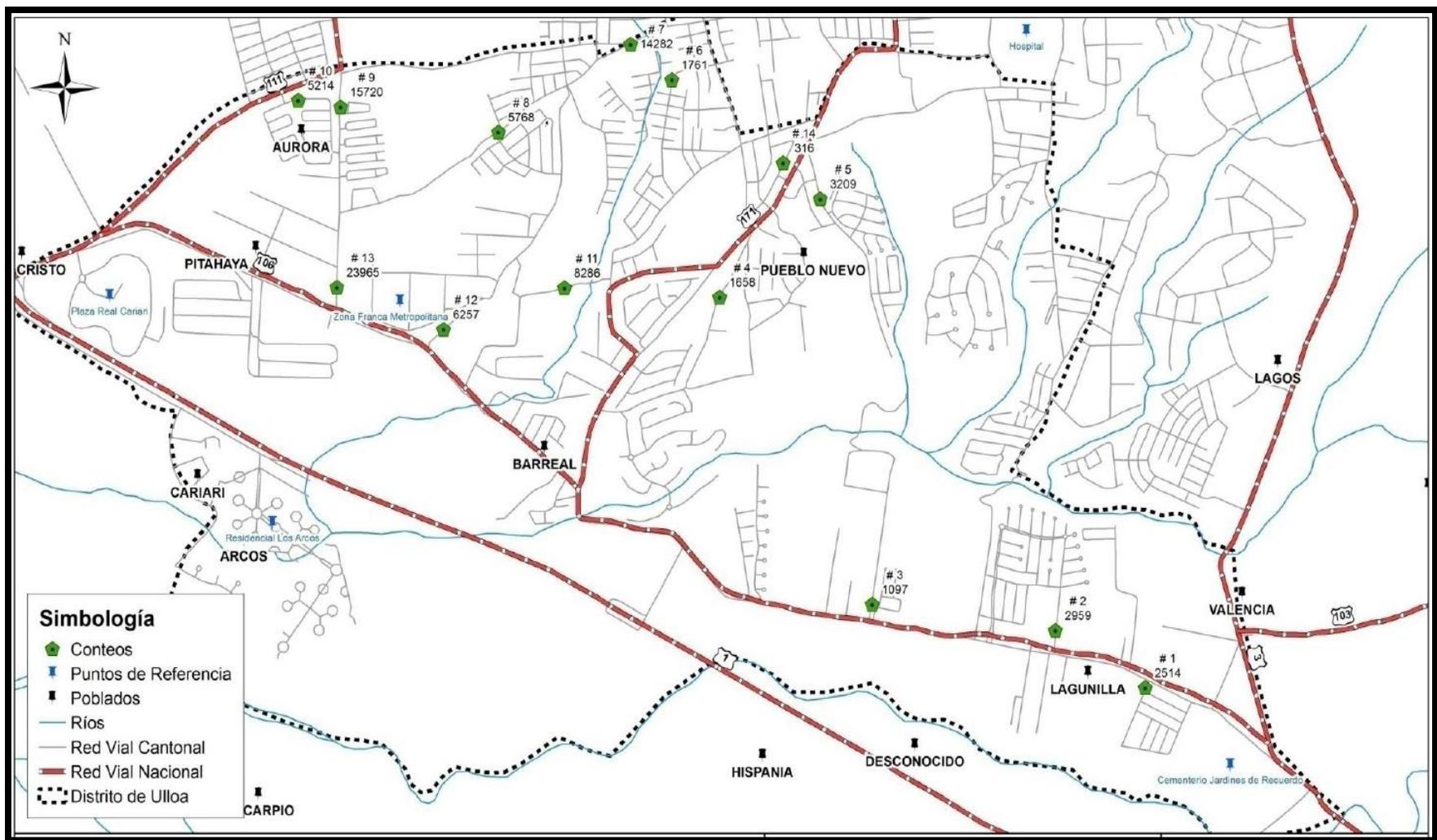


Ilustración 60. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito Ulloa
 Fuente: LanammeUCR (2017).

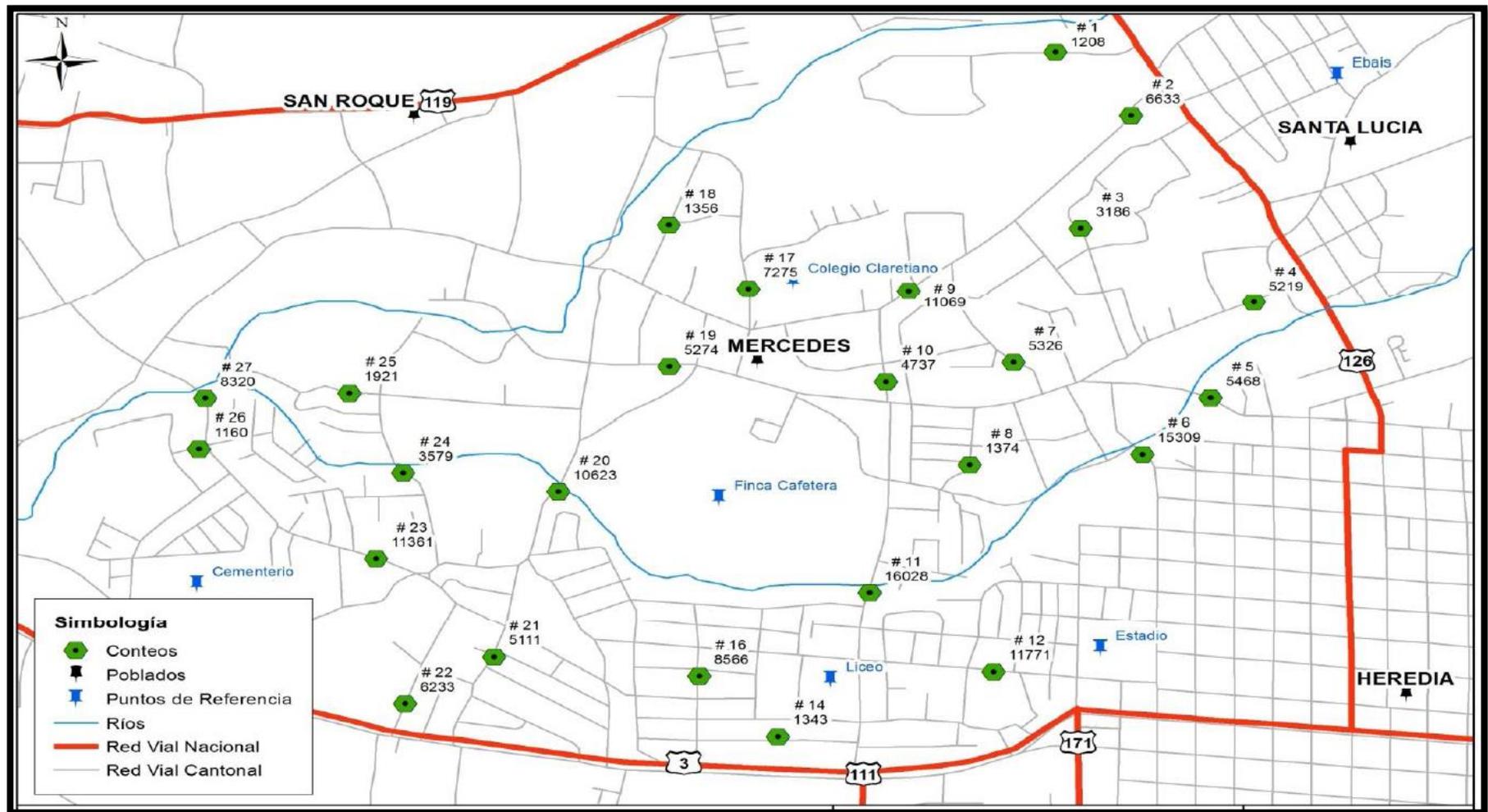


Ilustración 61. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito Mercedes

Fuente: LanammeUCR (2017).

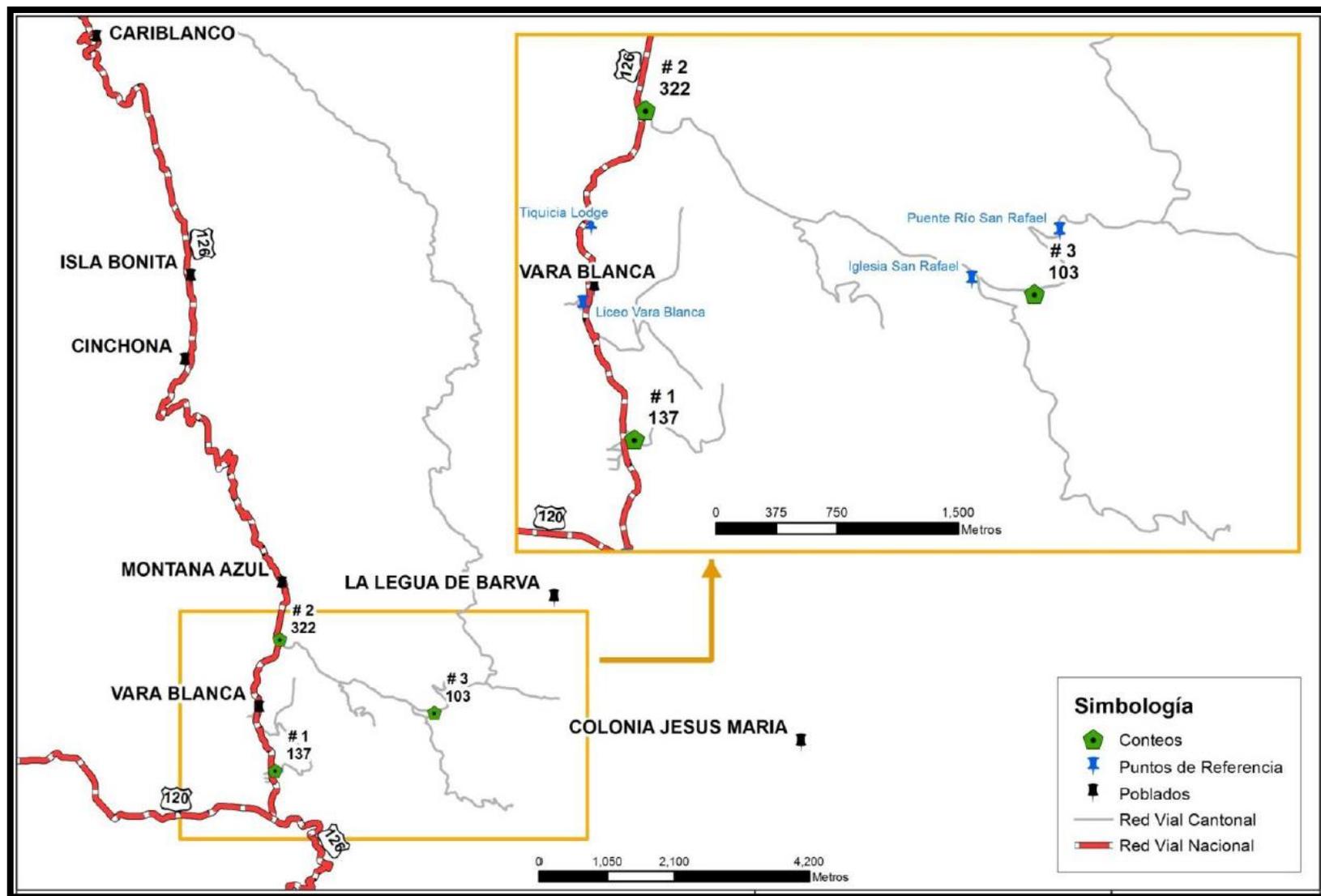


Ilustración 62. Ubicación de los conteos y resultados de TPD en el distrito de Vara Blanca

Fuente: LanammeUCR (2017).

En resumen, en la **Tabla 32** se muestran los resultados que se obtuvieron del TPD por tipo de ruta y por distrito.

Tabla 32. TPD por tipo de ruta y distrito del cantón de Heredia

TPD	Primarias	Secundarias	Terciarias	No Clasificados	Total
Heredia	104501	29970	6701	0	141172
Mercedes	65249	88538	5663	0	159450
San Francisco	70236	52147	4901	0	127284
Ulloa	62253	25921	4832	0	93006
Vara Blanca	322	0	240	0	562
Total	302561	196576	22337	0	521474

Fuente: elaboración propia (2019).

Con base en los resultados anteriores, se categorizaron las rutas del cantón en nivel jerárquico: primarias, secundarias y terciarias según los rangos del TPD para rutas cantonales establecidos por el LanammeUCR (ver **Tabla 13**). Con esto se inventariaron las rutas y se cargaron en la base de datos de manera que cada ruta de la capa de vías cuenta con el código de camino del inventario vial y su jerarquía.

También es importante mencionar que cada distrito posee un número de kilómetros viales de la red cantonal y se representan de esta forma en la **Tabla 33**.

Tabla 33. Cantidad de km de carretera por distrito del cantón de Heredia

Distrito	Km Carretera Cantonal (2019)
Heredia	42
Mercedes	51
San Francisco	46
Ulloa	66
Vara Blanca	32
Total	237

Fuente: elaboración propia (2019).

Con lo anterior, la cantidad de kilómetros se divide en primarias, secundarias y terciarias donde se puede observar el número de km por jerarquía vial y por distrito, a continuación, se muestra un resumen en la **Tabla 34**.

Tabla 34. Cantidad de km por jerarquía vial y distrito del cantón de Heredia

	Primarias (km)	Secundarias (km)	Terciarias (km)	No Clasificados (km)	Total (km)
Heredia	35,8	2,73	3,8	0	42
Mercedes	8,8	22,4	19,7	0	51
San Francisco	5,1	18	22,7	0	46
Ulloa	11,6	5,8	48,3	0	66
Vara Blanca	2,7	0	3,4	25,8	32
Σ (Totales)	64	48,93	97,9	25,8	237

Fuente: elaboración propia (2019).

Ahora bien, es muy importante considerar la distribución de los usos de suelo por distrito ya que, de acuerdo con la teoría técnica, la infraestructura vial tiene el propósito de maximizar la eficiencia de la industria, comercio y turismo para mejorar la calidad de vida de la población. Por lo que los usos de suelo comerciales, industriales o turísticos le dan mayor peso a la importancia de atender, prioritariamente, rutas que maximicen este tipo de actividades y gestionarlas para mantenerlas en buen estado siempre.

De acuerdo con los datos suministrados por la geógrafa Msc. Kembly Soto Chaves, Planificadora Urbana de la Municipalidad de Heredia y encargada de usos de suelo, se obtuvieron los siguientes resultados por distritos en la siguiente **Tabla 35**.

Tabla 35. Usos de Suelo por Distrito del Cantón de Heredia

	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca
Turismo	136	198	301	269	No se tienen datos, pero se considera que tiene el mayor peso turístico ante los demás distritos y de los demás tipos de usos de suelo es el peso más bajo. Esto debido a que toda la zona es considerada turística y agropecuaria.
Comercio	1696	460	779	517	
Industrial	3	2	29	65	
Vivienda	4035	7285	11852	10145	

Fuente: Municipalidad de Heredia (2020).

Los datos de Vara Blanca no se obtuvieron a la fecha por lo que no se incluyen en este proyecto, pero al ser un área turística mayor que los demás distritos de Heredia, se le brindó todo el peso en el uso de suelo turístico comparando con los demás distritos.

Para estos resultados se hicieron 4 grandes grupos de interés: comercial, industrial, vivienda y turismo. Este último considerando las áreas públicas e instituciones como uso turístico o de interés social. El estudio se basó en la contratación N° 2019LA-000004-01 “Servicios profesionales para la actualización de la geodatabase catastral municipal y visualización 360 en línea de calles e imágenes de cada predio integrado

al SIG de la Municipalidad de Heredia”. Esta contratación permitió actualizar los usos de suelo del cantón. A continuación, se demuestra un mapa en la **Ilustración 63**, resultado de lo mencionado anteriormente.

Mapa de Usos de Suelo del Cantón de Heredia

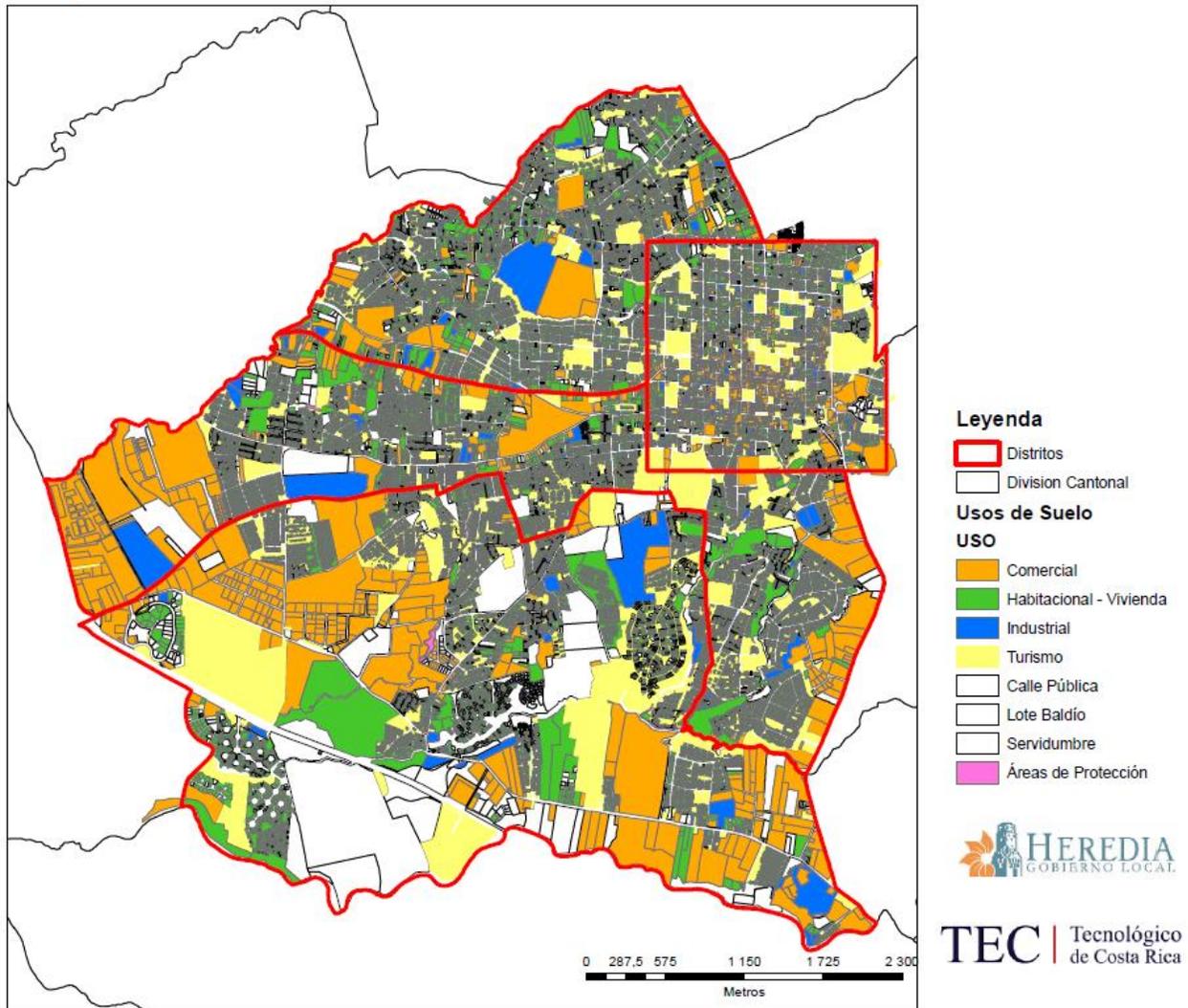


Ilustración 63. Mapa de Usos de Suelo del Cantón de Heredia

Fuente: elaboración propia (2020).

Nota: El mapa de Vara Blanca no se muestra debido a que todo el uso del suelo se le está asignando a la actividad turística.

Entonces, como políticas técnicas se determinan las siguientes:

1. Se consideran parámetros técnicos los usos de suelo y la jerarquía vial basada en el tránsito de las rutas. Esta información debe estar actualizándose en periodos no mayores a 2 años, ya que el tránsito

pasa cambiando y afecta la jerarquía vial, además genera nuevas zonas o usos de interés variando los porcentajes de importancia por distrito para las inversiones.

2. Si un distrito posee más cantidad de rutas primarias es más importante que los demás, igual con secundarias y terciarias.
3. Si un distrito posee más usos comerciales que otro lo convierte más importante que los demás y pasa lo mismo para usos de suelo industrial y habitacional/vivienda.
4. Si un distrito posee más áreas turísticas, centros o focos de atracción lo convierte más importante que los demás.

4.1.2.5. Políticas Económicas.

Son las políticas que definen dónde se invertirán los recursos, cuándo y cómo.

En la Municipalidad de Heredia en los últimos tres años, desde el 2016, el monto para mantenimiento y conservación de carreteras ha incrementado en aproximadamente un 10 %, sin embargo, esta partida se alimenta de dos presupuestos, uno proveniente de la ley 8114 y el otro es institucional. Entre el 2016 y el 2019 el presupuesto institucional ha decrecido en un 50 % para lo que corresponde a mantenimiento y conservación de carreteras mientras que por la ley 8114 el presupuesto ha aumentado en un 500 %. Esto hace que se equilibre la inversión en pavimentos durante este periodo de 3 años quedando un incremento entre los presupuestos del 10 % mencionado anteriormente. En la **Ilustración 8** se pudo observar el histórico de inversión en pavimentos del municipio de Heredia de los últimos 10 años.

Ahora, al analizar las políticas anteriores se determina o nacen nuevas políticas económicas de acuerdo con dichas políticas (Generales, Técnicas, Sociales y Ambientales) ya que priorizan el nivel de importancia por distrito para invertir los recursos económicos, por lo que la definición del peso por factor en cada una de las políticas anteriores se puede realizar mediante el Proceso de Análisis de Jerarquía (PAJ) donde los resultados determinan la forma y orden de cómo se deben invertir los recursos económicos para atender las diferentes intervenciones viales que se deben realizar en todo el cantón de Heredia a lo largo del tiempo. Dicho análisis PAJ se realizó y se adjunta en apéndices.

Por lo que, en resumen, los montos por invertir por distrito se calcularán año por año de acuerdo con la partida que será destinada a pavimentos a la cual se le debe calcular el monto respectivo para mantenimiento y conservación de la red 70 % y para construcción de proyectos 30 %. La priorización por distritos que se obtuvieron del análisis PAJ basado en los distintos factores que intervienen en dicha priorización, se muestran en la **Tabla 36 e Ilustración 64**.

Tabla 36. *Priorización de Inversión en Pavimentos destinada a cada Distrito*

Distrito	Orden de Priorización de Inversión	% de Inversión
Heredia	3	20%
Mercedes	4	18%
San Francisco	2	23%
Ulloa	1	23%
Vara Blanca	5	16%
Σ		100%

Fuente: elaboración propia (2020).

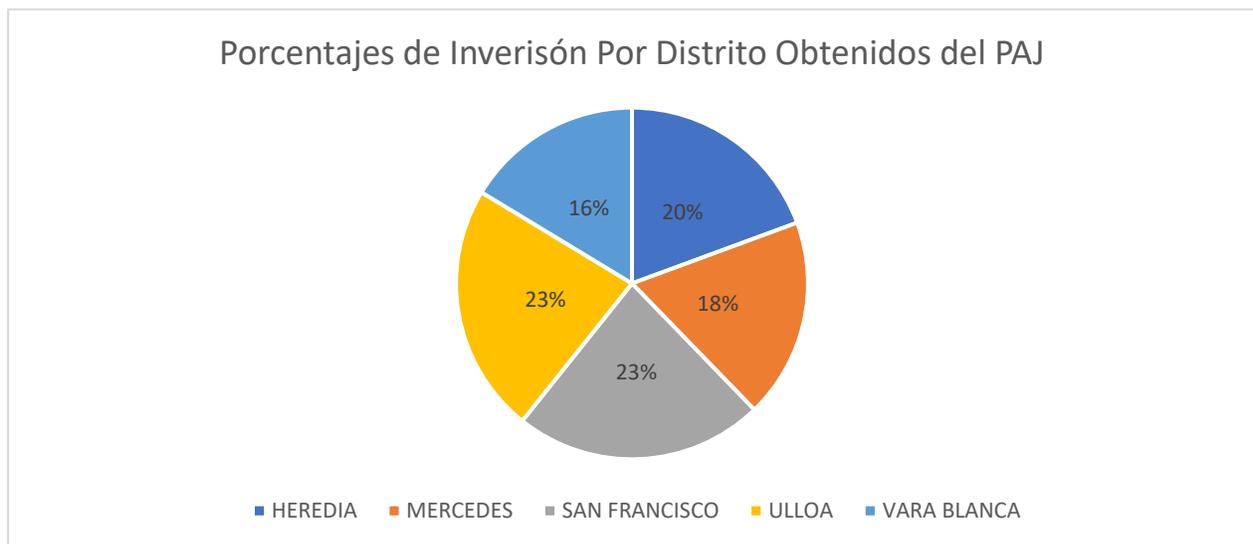


Ilustración 64. Porcentajes de Inversión por Distrito Obtenidos del PAJ

Fuente: elaboración propia (2020).

Tal y como se observa en el gráfico de la **Ilustración 64** y **Tabla 36**, Distrito Ulloa y San Francisco poseen el mismo porcentaje de inversión, por lo que el orden de prioridad es compartido solo que se agrega primero Ulloa por un tema de zonificación ya que es el área de mayor crecimiento comercial e industrial del cantón.

De esta manera se logra priorizar las inversiones viales que se considerarán con base en las políticas mencionadas y de acuerdo con el criterio técnico de priorización de intervenciones viales basado en las metodologías del SGP utilizando Notas J- IRI, Notas J-FWD o PCI y los siguientes estándares de calidad para facilitar la toma de decisiones por el estado o condición de los pavimentos.

Es por esto que se determinaron las siguientes políticas económicas:

1. El análisis PAJ se hará considerando los 5 distritos versus los factores o atributos de acuerdo a las razones de peso expuestas en este documento:

- Jerarquía Vial: primarias
- Jerarquía Vial: secundarias
- Jerarquía Vial: terciarias
- Uso de suelo comercial
- Uso de suelo industrial
- Uso de suelo turístico
- Uso de suelo habitacional/ vivienda
- Población
- Geología
- Precipitación
- Temperatura

Esto para poder obtener los porcentajes correspondientes por distrito para dividir las partidas destinadas a sus respectivos pavimentos.

2. Esa segregación de recursos para cada distrito se debe priorizar los trabajos de gestión mediante el uso de la matriz MRR y condiciones obtenidas tanto para red y proyectos. Donde se estimará un 70 % de los recursos económicos por distrito para gestión a nivel de red y 30 % para nivel de proyectos focalizados.
3. Los recursos económicos deberán impulsar el crecimiento industrial, comercial y turístico del cantón, por lo que se le debe dar importancia mayor a las carreteras que provoquen el desarrollo del cantón en estas áreas o que estén situadas en áreas desarrolladas con este tipo de actividades.
4. Para poder priorizar intervenciones se usarán los criterios de priorización adicionalmente a esta segregación de recursos económicos. Para comparar intervenciones viales a nivel proyecto se deberá realizar un análisis CAUE donde se comparen las opciones de distintas intervenciones y se elija la más económica posible para optimizar los recursos económicos y de acuerdo con la vida útil de estas. A nivel de red se atenderá según criterios de priorización considerando los umbrales y matriz MRR donde se pueden calcular los costos totales a través de costos unitarios por tipo de intervención.

4.1.2.6. Umbrales de Calidad.

Los umbrales de calidad son los límites o fronteras para determinar si un deterioro se debe atender y se usarán de forma conjunta a la matriz MRR, estos delimitarán las técnicas por emplear o no hacer nada.

Sin embargo, son dependientes de varios factores como: análisis PAJ e incorporación anual de partidas económicas disponibles para gestionar la red vial. Con estos umbrales se logra definir estándares de calidad para la red vial del municipio herediano. A continuación, se mencionan:

1. No se aceptarán pavimentos con los niveles de deterioro mostrados en la siguiente **Tabla 37**.

Tabla 37. Niveles de umbral de acuerdo con el tipo de deterioro

Deterioro	Unidad de medida	Umbral
Ahuellamiento	Profundidad en mm	10
Agrietamiento piel de cocodrilo de severidad alta	Superficie en % /km	10
Grietas longitudinales y transversales severidad alta	Superficie en % /km	10
Rugosidad	m/km	3.5
Baches abiertos	N°	0
Resistencia al deslizamiento	adimensional	0.36
Exudación	Superficie en % /km	0

Fuente: elaboración propia (2020).

Todo pavimento que supere dichos umbrales se deberá atender de manera inmediata para que se recupere el nivel de serviciabilidad de la carretera. Si en ese momento por falta de recursos, ya sea porque no hay disponibles o excede el presupuesto y no se puede atender, se debe planificar y programar a futuro en los primeros trabajos por hacer. Para estos casos específicos, se deberá planificar y calcular un presupuesto detallado de acuerdo con la intervención que se determine realizar por medio de la MRR y se deberán solicitar los recursos al Departamento Financiero del municipio, informándole a la Alcaldía sobre la situación, urgencia e importancia para que sea valorado e incorporado en el próximo documento presupuestario.

2. Toda ruta primaria debe estar en estado excelente y buena condición de servicio. No se aceptará una condición menor a lo largo de su vida útil.

Las mediciones de los parámetros de desempeños aceptados serán los mostrados en la siguiente **Tabla 38**.

Tabla 38. Niveles de umbral aceptados de IRI y PCI en rutas primarias del cantón de Heredia

RUTA	Umbral	IRI (m/km)	PCI	Grip Number
Primaria	Mínimo	0.0	70	0
	Máximo	*3.6	100	0.36

Fuente: elaboración propia (2020).

* El IRI y el *Grip Number* se interpreta que es una condición máxima de deterioro.

3. Toda ruta secundaria puede llegar a tener un estado excelente, bueno o regular condición de servicio. No se aceptará una condición menor a lo largo de su vida útil.

Las mediciones de los parámetros de desempeños aceptados serán los mostrados en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Niveles de umbral aceptados de IRI y PCI en rutas secundarias del cantón de Heredia

RUTA	Umbral	IRI (m/km)	PCI
Secundaria	Mínimo	0.0	55
	Máximo	*6.4	100

Fuente: elaboración propia (2020).

* El IRI se interpreta que es una condición máxima de deterioro.

4. Toda ruta terciaria puede llegar a tener un estado excelente, bueno o regular condición de servicio. No se aceptará una condición menor a lo largo de su vida útil.

Las mediciones de los parámetros de desempeños aceptados serán los mostrados en la siguiente

Tabla 40.

Tabla 40. Niveles de umbral aceptados de IRI y PCI en rutas terciarias del cantón de Heredia

RUTA	Umbral	IRI	PCI
Terciaria	Mínimo	0.0	40
	Máximo	*8.0	100

Fuente: elaboración propia (2020).

* El IRI se interpreta que es una condición máxima de deterioro.

Con base a los puntos anteriores, y la teoría en gestión de pavimentos flexibles, para lograr obtener el cumplimiento de estos límites entre los valores máximos y mínimo se determinan las siguientes intervenciones recomendadas que se deberán aplicar según la condición, estado y nota del pavimento:

5. A continuación, se muestra la **Tabla 41** con distintas opciones de mantenimiento rutinario según la jerarquía por tipo de ruta:

Tabla 41. Opciones de intervención de mantenimiento rutinario según tipo de rutas para el cantón de Heredia

	Ruta Primaria	Ruta Secundaria	Ruta Terciaria
	Ruteo y sellado de grietas	Ruteo y sellado de grietas	Ruteo y sellado de grietas
	Bacheo	Bacheo	Bacheo
Opciones	Tratamientos superficiales: <i>Slurry Seal, Chip Seals</i> TS-1, TS-2 o TS-3	Tratamientos superficiales: <i>Slurry Seal, Chip Seals</i> TS-1, TS-2 o TS-3	Tratamientos superficiales: <i>Slurry Seal, Chip Seals</i> TS-1, TS-2 o TS-3
	Demarcación	Demarcación	Demarcación
	Drenajes	Drenajes	Drenajes

Fuente: elaboración propia (2020).

Para estas intervenciones se debe obtener alguna de las siguientes notas J: J1-E, J2-E, J3-E, J1-B, J2-B, J3-B o un PCI entre 60-100.

En este tipo de conservación se encuentran los sellos de preservación tipo *Slurry Seal*, sellados de grietas y los *Chip Seal*. Son aplicados con el objetivo de aumentar la vida útil del pavimento, pero serán aplicables principalmente en Distrito Vara Blanca por el estado de sus caminos, jerarquía vial e importancia.

Las grietas se evaluarán de acuerdo con lo indicado a continuación:

Grietas muy finas (menores a 6mm de ancho):

Menor a 6mm de ancho, son muy pequeñas para llenarlas efectivamente. Por esta razón no se hace nada a menos que cubran un área importante. Si hay muchas grietas finas en una zona, entonces una lechada asfáltica o un tratamiento superficial bituminoso puede ser apropiado. El tratamiento seleccionado para la superficie debe ser suficientemente líquido para que penetre dentro de las grietas.

Grietas pequeñas (entre 6mm y 19mm de ancho):

Se perfora cerca de 3mm por encima del promedio del ancho de la grieta (cuando es posible), fracturar más la grieta (generar más anchura de grieta) provee una mayor superficie para que el sello ingrese y se adhiera al pavimento y, a su vez, prevé el desprendimiento de la superficie. Si las grietas están por encima de 19mm de profundidad, a menudo se utiliza un relleno de junta para conservar el sellante.

Grietas grandes (mayores a 19mm de ancho):

Más de 19mm de ancho, usualmente solo requieren limpiado y sellado, con la instalación de un relleno de junta para grietas por encima de 20mm de profundidad, podrían rellenarse con emulsión asfáltica o con una mezcla asfáltica diseñada para ese fin.

6. A continuación, se muestra la **Tabla 42** con distintas opciones de mantenimiento periódico de recuperación funcional por tipo de ruta:

Tabla 42. Opciones de intervención de mantenimiento periódico según tipo de rutas para el cantón de Heredia

	Ruta Primaria	Ruta Secundaria	Ruta Terciaria
Opciones	Tratamiento Superficial	Tratamiento Superficial	Opcional*
	Fresado de la superficie		
	Perfilado de pavimentos	Fresado de la superficie	

Fuente: elaboración propia (2020).

*Tomando en cuenta que se trata de una recuperación de la capacidad funcional y de una ruta terciaria con poco tránsito por día, existe la posibilidad de no realizar ningún tratamiento, ya que en este tipo de vías el objetivo fundamental es promover la transitabilidad y no tanto el confort del usuario por lo que se analizará la capacidad presupuestaria previo a cualquier decisión.

Para estas intervenciones se debe obtener alguna de las siguiente notas J: J1-R, J2-R, *J3-R, J1-M, J2-M y *J3-M o un PCI entre 40-60.

En estos casos el IRI ya es superior a 3.6 por lo que se sale del rango aceptado en cualquier tipo de ruta.

7. Para evaluar a nivel de red:

A nivel de red se realiza una evaluación global con el uso de equipos de laboratorio y ensayos para poder determinar parámetros de desempeño como el IRI, FWD, *Grip Number* y demás mencionados en la metodología I.

Es conveniente considerar este nivel cuando se obtienen niveles de IRI inferiores a 6.4, *Grip Number* superior a 0.5 y FWD inferiores 84.4mm^{-2} para rutas primarias, 93.4mm^{-2} en secundarias y 114.8mm^{-2} en terciarias. Son niveles de deterioro que se clasifican con las siguiente notas J: J1-E, J2-E, J3-E, J1-B, J2-B,

J3-B, J1-R, J2-R y J3-R. También que cuando se obtiene un PCI entre 40 y 100. Esto de acuerdo con lo mostrado en la **Ilustración 45, Ilustración 30 y Tabla 23**.

Si las rutas son primarias con velocidades superiores a los 60km/h se debe considerar calcular el Grip Number y que este no supere el 0.36 según la **Ilustración 37**.

Dentro del nivel de red se consideran técnicas de rehabilitación menor y mantenimiento. Se consideraron los siguientes: reparación de drenajes, sello de grietas, bacheo y tratamientos superficiales (en la matriz MRR se pueden observar estas técnicas vrs los tipos de deterioro y nivel de severidad).

8. Para evaluar a nivel de proyecto:

A nivel de proyecto se debe realizar una evaluación más detallada con complementos de auscultación visual (aplicando metodología II), así como el análisis de estructuras colindantes y aledaños a los tramos en estudio, que puedan brindar información valiosa. Por lo tanto, para los tres distintos órdenes de jerarquía de las notas J, la acción a realizar es el estudio de estructuras colindantes. En estos casos se aplica deflectometría de impacto (FWD).

Es conveniente considerar este nivel cuando se obtienen niveles de IRI superiores a 6.4, *Grip Number* inferior a 0.5 y FWD superiores a 84.4mm^{-2} para rutas primarias, 93.4mm^{-2} en secundarias y 114.8mm^{-2} en terciarias. Son niveles de deterioro que se clasifican con las siguientes notas J: J1-M, J2-M, J3-M, J1-F, J2-F y J3-F y que tiene un PCI entre 0 y 40. Esto de acuerdo con lo mostrado en la **Ilustración 45, Ilustración 30 y Tabla 23**.

A nivel proyecto se consideran técnicas de rehabilitación mayor y reconstrucción de pavimentos. Dentro de la rehabilitación se encuentran técnicas como reciclado, refuerzo de capa asfáltica y estabilización de capas granulares (en la matriz MRR se pueden observar estas técnicas vrs los tipos de deterioro y nivel de severidad).

9. Para rehabilitaciones menores con colocación de sobrecapas por tipo de ruta:

Se sugieren estrategias de intervención que permitan recuperar la capacidad estructural en niveles intermedios y la capacidad funcional en niveles mucho más críticos, se supone una capacidad estructural entre 20-60%, por lo que los trabajos se pueden concentrar en mejorar la superficie de ruedo. A continuación, se muestra la

Tabla 43 con distintas opciones de rehabilitación menor según la jerarquía de ruta.

Tabla 43. Opciones de intervención de rehabilitación menor según tipo de rutas para el cantón de Heredia

	Ruta Primaria	Ruta Secundaria	Ruta Terciaria
Opciones	Recarpeteo	Recarpeteo	Recarpeteo
	Fresado de la superficie	Fresado de la superficie	
	Perfilado de pavimentos	Perfilado de pavimentos	Sobrecapa
	Sustitución de capa asfáltica	Sustitución de capa asfáltica	

Fuente: elaboración propia (2020).

Para realizar estas intervenciones se debe obtener alguna de las siguientes notas J: J1-R, J2-R y J3-R un PCI entre 40-60. Como se indica en la tabla anterior, se puede hacer un perfilado y colocación de sobrecapa con aporte estructural significativo.

Este caso requiere ensayos de laboratorio y estudios más profundos para diseñar las nuevas capas de la estructura de pavimento.

10. Para rehabilitación mayor por tipo de ruta:

Es de suma importancia la recuperación de la capacidad estructural, donde las labores abarcan trabajos a nivel de la capa de base existente, entre dichas labores se pueden contemplar su sustitución o estabilización, en conjunto con la colocación de una nueva carpeta asfáltica, cuyo espesor brinde un aporte estructural significativo. A continuación, se muestra la **Tabla 44** con distintas opciones de rehabilitación mayor según la jerarquía de ruta.

Tabla 44. Opciones de intervención de rehabilitación mayor según tipo de rutas para el cantón de Heredia

	Ruta Primaria	Ruta Secundaria	Ruta Terciaria
Opciones	Recarpeteo	Recarpeteo	Recarpeteo
	Fresado de la superficie	Fresado de la superficie	Fresado de la superficie
	Perfilado de pavimentos	Perfilado de pavimentos	Perfilado de pavimentos
	Sustitución de base granular	Sustitución de base granular	Estabilización de base granular
	Sustitución de subbase granular	Sustitución de subbase granular	Estabilización de subbase granular
	Reciclado reforzado	Reciclado reforzado	Reciclado reforzado

Fuente: elaboración propia (2020).

Para realizar estas intervenciones se debe obtener alguna de las siguiente notas J: J1-M, J2-M y J3-M o un PCI entre 20-40.

Se puede hacer una intervención a nivel de la capa de base para recuperar la capacidad estructural. Se realizan labores de sustitución o estabilización de las capas junto con una nueva capa asfáltica que provea el soporte estructural requerido.

Este caso requiere ensayos de laboratorio y estudios más profundos para diseñar las nuevas capas de la estructura de pavimento. Se utiliza FWD.

11. Para reconstrucción por tipo de ruta:

Renovación por completo de la estructura de la vía o camino en gestión, con una previa demolición de la estructura de pavimento existente, este tipo de intervención es la que genera el costo más elevado en gestión vial. A continuación, se muestra la **Tabla 45** con distintas actividades de reconstrucción según la jerarquía de ruta.

Tabla 45. *Actividades de intervención de reconstrucción según tipo de rutas para el cantón de Heredia*

	Ruta Primaria	Ruta Secundaria	Ruta Terciaria
	Recarpeteo	Recarpeteo	Recarpeteo
	Fresado de la superficie	Fresado de la superficie	Fresado de la superficie
Actividades	Perfilado de pavimentos	Perfilado de pavimentos	Perfilado de pavimentos
	Sustitución de base granular / estabilización	Sustitución de base granular / estabilización	Sustitución de base granular / estabilización
	Sustitución de subbase granular / estabilización	Sustitución de subbase granular / estabilización	Sustitución de subbase granular / estabilización

Fuente: elaboración propia (2020).

Se le llama actividades porque se hacen varias a la vez.

Para realizar estas intervenciones se debe obtener alguna de las siguiente notas Q: J1-F, J2-F y J3-F o un PCI entre 0-20.

Este caso requiere ensayos de laboratorio y estudios más profundos para diseñar la nueva estructura de pavimento. Se utiliza FWD.

12. Asignación deterioro-estrategia de remediación:

Es importante conocer la posible causa e intervención para cada tipo de deterioro en sitio para proceder con la selección correcta del tipo de intervención.

A continuación, se muestra la **Tabla 46** de los tipos de deterioro con su posible causa y opciones de solución con el fin de analizar el entorno y optimizar los recursos:

Tabla 46. *Tipos de deterioro con su posible causa y opciones de solución*

Deterioro / Defecto	Causa Probable	Intervención de solución
Perdida de agregado. Remoción de partículas (Diámetro > 6mm) de la superficie.	<ul style="list-style-type: none"> • Déficit del ligante • Fracturación y/o desintegración de partículas debido a las cargas 	<ul style="list-style-type: none"> • Sello asfáltico de tratamiento superficial o <i>Slurry Seal</i>
Desgranamiento. Pérdida progresiva de material desde la superficie hacia abajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Agregados sucios • Insuficiente contenido de asfalto • Mala adherencia entre asfalto y el agregado • Infiltración de agua por compactación deficiente de la mezcla (altos vacíos) • Endurecimiento del asfalto por envejecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Primero se bachea y luego se aplica un Sello asfáltico de tratamiento superficial sobre bacheo o colocación de mezcla en caso de una condición severa.
Exudación. Exceso de ligante en la superficie permitiendo una textura suave y resbaladiza en la zona de circulación.	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de contenido de asfalto en la mezcla en relación con el contenido de huecos del agregado mineral • Repavimentación directo de pavimentos que tienen exceso de asfalto • Pavimento sobre bases con exceso de riego de imprimación 	<ul style="list-style-type: none"> • Repavimentación para una condición extensa y severa • Quemado y sello para una condición localizada.
Agrietamiento longitudinal en zona de circulación. Agrietamiento en sentido longitudinal situado en la zona de circulación.	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas excesivas con relación a la estructuración del pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruteo y sellado cuando se trata de una grieta • Repavimentación para condición severa que presenta varias grietas aproximadamente paralelas
Agrietamiento longitudinal en centro de la vía. Grietas longitudinales próximas al eje de la vía. Normalmente formado por una sola grieta y ocasionalmente con grietas secundarias.	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiencia constructiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruteo y sello de grietas
Agrietamiento longitudinal en centro de la calzada. Grietas	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto constructivo en la junta longitudinal 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruteo y sello de grietas

longitudinales próximas al eje central de la calzada.		
Agrietamiento longitudinal en el borde. Grietas longitudinales entre el borde y 30cm hacia el centro.	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte insuficiente en el borde del pavimento • Ancho insuficiente • Saneamiento deficiente entre el borde del pavimento y el espacio de separación, zanja o pared baja con que se separan los carriles de diferente sentido (espaldón o berma) 	<ul style="list-style-type: none"> • Picado y sellado del pavimento • Mejoramiento de la evacuación pluvial con drenajes • Sello de tratamiento superficial en el espaldón
Agrietamiento Sinuoso. Grieta sin dirección fija que se inicia y termina en los bordes del pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiencias constructivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruteo y sello de grietas
Agrietamiento Transversal. Grietas perpendiculares al eje de la calzada. Normalmente, si son a todo el ancho están a espacio regulares y si cubren media calzada a espacios irregulares.	<ul style="list-style-type: none"> • Ligante inadecuado • Refracción de grietas en repavimentación. • Bajas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruteo y sello de grietas • En caso de condición severa y extensa repavimentar
Agrietamiento irregular. Grietas sin orientación definida usualmente llamados “grietas de mapa” formando grandes bloques.	<ul style="list-style-type: none"> • Expansiones y contradicciones por temperatura • Refracción de grietas en repavimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Sellado de grietas para una condición estable • En caso de condición severa y extensa repavimentar
Agrietamiento tipo piel de cocodrilo. Grietas que forman una red en forma de bloques irregulares con lados menores a 15cm indican fallas en la base, con 10cm indican fallas en la subrasante.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño estructural insuficiente • Acumulación de agua en las capas subyacentes a la carpeta asfáltica • Mezclas asfálticas muy frágiles debido a bajas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacheo profundo para condición localizada • Eliminación de infiltraciones mediante sellos para aguas superficiales y mediante drenes para subterráneas • Repavimentación o reconstrucción para condición severa y extensa
Ondulación transversal. Ondulaciones transversales relativamente regulares.	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica de baja estabilidad • Deficiencia entre capa de rodamiento y subyacente • Frenado brusco de vehículos pesados en intersecciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivelación con mezcla en sitio y repavimentación para la condición extensa • Reconstrucción de sectores para condición localizada
Ondulación por desplazamiento. Deformación plástica del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica de baja estabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivelación con mezcla en sitio y repavimentación para la condición extensa

principalmente en sentido longitudinal.	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente adherencia entre capa de ruedo y subyacente • Base granular inestable 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción de sectores para condición localizada
Ahuellamiento. Depresión transversal en la zona de circulación.	<ul style="list-style-type: none"> • Baja compactación de las capas estructurales • Mezcla asfáltica de baja estabilidad • Espaldones o berma inestables que no garantizan soporte lateral 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivelación y repavimentación para una condición extensa, severa y peligrosa para tráfico de alta velocidad
Distorsión. Pérdida importante de la geometría transversal original.	<ul style="list-style-type: none"> • Falla de la infraestructura • Insuficiente capacidad de soporte de la subrasante 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacheo profundo para selecciones focalizadas • Nivelación y repavimentación para condición generalizada • Reemplazo de material inadecuado y ejecución de un nuevo pavimento

Fuente: Solminihac, H; Echaveguren, N; Chamorro, A. (2019). Modificado pro Rothe, R.

13. En las diferentes estrategias de intervención, se debe considerar el siguiente plazo teórico de vida útil en el cual se planificarán intervenciones viales, a continuación, se muestran los plazos considerados en la **Tabla 47**.

Tabla 47. Vida útil teórica por tipo de intervención vial

INTERVENCIÓN	VIDA ÚTIL TEÓRICA APROXIMADA	
DEMARCACIÓN	6	MESES
BACHEO	2	AÑOS
SELLO DE FISURAS Y GRIETAS	2	AÑOS
T.S. SLURRY SEAL	3	AÑOS
T.S. CHIP SEAL TS-1	3	AÑOS
T.S. CHIP SEAL TS-2	4	AÑOS
T.S. CHIP SEAL TS-3	4	AÑOS
SOBRECAPA	7	AÑOS
FRESADO DE LA SUPERFICIE, PERFILADO DE LA SUPERFICIE Y RECARPETEO	10	AÑOS
FRESADO DE LA SUPERFICIE, SUSTITUIR BASE, PERFILADO DE LA SUPERFICIE, RECARPETEO	10	AÑOS
DEMOLER Y RECONSTRUIR ESTRUCTURA COMPLETA	10	AÑOS

Fuente: Curso Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por la Ing. Fabiola Miranda Arguello, Msc. (2019).

Sin embargo, al ser datos de plazos teóricos no es seguro partir de ahí. Por lo que se deberá hacer una investigación a través del tiempo para poder determinar datos reales para cada tipo de intervención. Esto, sin duda alguna, será una de las grandes metas por alcanzar a largo plazo.

4.1.2.7. Estándares de Calidad.

Determinan la calidad y el nivel de aceptación de la condición o estado en el que se esperan las vías cantonales del cantón de Heredia.

Conociendo las estrategias de intervención, políticas y los umbrales de calidad que se requieren para administrar los pavimentos del cantón de Heredia, se definen los siguientes estándares de calidad para garantizar una condición de servicio deseable de acuerdo con la **Tabla 48**:

Tabla 48. Estándares de Calidad para la Municipalidad de Heredia

Objetivo	Indicadores	Umbral	Conformidad	Nivel PAJ Objetivo
Calidad de Servicio al Usuario	Nivel de servicio del pavimento a nivel de red	IRI < 2 m/km	90% de la red vial	Primario
	Condición del pavimento	PCI > 70	90% de la red vial	
Seguridad	Reducción de accidentes	Muertes < 1% de fatalidades en la red	90% de la red vial	Primario
	Capacidad Friccionante	Grip Number ≥ 0.45	90% de la red vial	
Preservación de la inversión	Valor Patrimonial Vial	Incremento 5% anual	90% de la red vial	Primario
Investigación y Desarrollo	Porcentaje del gasto anual en capacitaciones y talleres	Gasto > 2.5% anual de lo asignado a estudios	Gasto > 2.5% anual de lo asignado a estudios	Secundario
Calidad Ambiental	Metros cuadrados de zonas verdes recuperadas en derecho de vía y mantenimiento de estas	1%-2% del porcentaje del presupuesto para pavimentos	Gasto $\geq 1%$ anual	Secundario
Comunicación con los agentes relevantes	Cobertura de encuestas de satisfacción a usuarios	Cobertura de satisfacción > 75%	Cobertura de satisfacción > 75%	Terciario

Fuente: Solminihaç, H; Echaveguren, N; Chamorro, A. (2019). Modificado pro Rothe, R.

Los estándares sirven para mejora continua y control ya que se pueden hacer ajustes y alcanzar metas. Sin embargo, al ser muchos y para que no se complique tanto cumplir con todos, se optó por clasificarlos como objetivos de cumplimiento según su importancia para el municipio. Es por esto por lo que se clasifican en primario, secundario y terciario, donde:

- Los primarios llevarán un control y cumplimiento cada 4 años,
- Los secundarios llevarán un control y cumplimiento cada 4 años,
- Los terciarios se revisarán y deberán cumplir con el estándar cada 4 años.

Esta distribución anterior se propuso así porque los gobernantes y administración cambian cada 4 años, por lo que permitirá evaluar la red a lo largo y al final de cada periodo de alcalde y porque permite asignar los recursos para hacer las pruebas de laboratorio y calcular los indicadores de acuerdo con los plazos indicados en las políticas del SGP-SIG (pruebas con equipos de laboratorio y ensayos cada 2 años: IRI, FWD, *Grip Number* y cada 4 años: PCI con Geo3D).

4.1.2.8. Criterios de Priorización.

1. Todo distrito tiene igual importancia y necesidad de inversión, pero la cantidad de recursos a invertir los define el análisis PAJ y con este se definen los alcances.

A nivel de red:

2. Las rutas primarias en peor condición tendrán el primer nivel de importancia de inversión por distrito una vez que los recursos se hayan designado para cada distrito por medio del análisis PAJ.
3. Las rutas secundarias en peor condición tendrán el segundo nivel de importancia de inversión por distrito una vez que los recursos se hayan designado para cada distrito por medio del análisis PAJ.
4. Las rutas terciarias en peor condición tendrán el tercer nivel mayor importancia de inversión por distrito una vez que los recursos se hayan designado para cada distrito por medio del análisis PAJ.
5. Será prioridad de tercer nivel de importancia los tramos que se califiquen como atención a nivel de red que obtengan notas por FWD e IRI: J#-R y posteriormente J#-B. Se aplican técnicas de rehabilitación menor o mantenimiento.
6. Los umbrales de calidad son los límites o fronteras para determinar si un deterioro se debe atender y se usarán conjunto a la matriz MRR, estos delimitarán las técnicas por emplear o no hacer nada.
7. A nivel de red el parámetro mínimo significa que se debe planificar con prioridad alta. Esto para ruta primaria, secundaria y terciaria.
8. Siempre se designarán recursos para rutas que ocupan intervenciones a nivel proyecto, por lo que el presupuesto designado para pavimentos se deberá segregar en los porcentajes indicados en las políticas generales del SGP-SIG donde se propone un 70 % de los recursos para gestionar a nivel de red y 30 % para gestionar a nivel de proyecto.
9. El presupuesto designado para gestión a nivel de red se deberá invertir en mantenimiento y rehabilitación menor.

A nivel proyecto:

10. Será prioridad de primer nivel de importancia los tramos que se califiquen como atención a nivel de proyecto que obtenga una nota por FWD: J#-F y de segundo nivel los tramos que obtengan una nota J#-M. Se aplican técnicas de rehabilitación mayor o reconstrucción.
11. Serán prioridad de segundo nivel de importancia los tramos que se califiquen como atención a nivel de proyecto que obtenga una nota por FWD: J#-R y una Nota por IRI: J#-M.
12. A nivel de proyecto el parámetro aceptado se deberá ubicar entre el rango máximo – mínimo de los parámetros establecidos para ruta primaria, secundaria y terciaria. Quiere decir que entre un estado de excelente a bueno para recibir cualquier obra.

13. Si la población solicita vía denuncia, queja o solicitud una intervención vial por el mal estado del tramo de carretera, esta solicitud se considerará prioritaria. En caso de tener una lista de solicitudes, esta quedará en lista de solicitudes por intervenir a no ser que su condición comprometa de alguna forma el funcionamiento de la red vial cantonal donde pasaría a ser prioridad.
14. Si un tramo de carretera está en una condición inaceptable, pero este será intervenido por la ESPH, no se deberá planificar o priorizar momentáneamente hasta que la ESPH realice sus mejoras. Posterior a esto el tramo podrá intervenir.
15. El presupuesto designado para nivel de proyecto deberá invertirse en rehabilitación mayor y reconstrucción.
16. Se realizará una lista de proyectos o intervenciones viales en la red con sus costos de intervención y alcance, se programarán las obras que se puedan y las que quedan por fuera por falta de recursos se planificarán para el presupuesto que se incorpore, posteriormente, para poder ir realizando una gestión proactiva e intentando mantenerse dentro de los estándares de calidad mostrados en la siguiente sección.
17. Los proyectos que tengan menor CAUE calculado serán prioridad de intervención hasta donde alcancen los recursos disponibles anuales. En caso de no alcanzar para algunos proyectos de la lista, estos se considerarán para el año siguiente y así sucesivamente hasta que se puedan ejecutar.

A continuación, se muestra en la **Ilustración 65** el esquema de priorización para el funcionamiento del SGP propuesto:

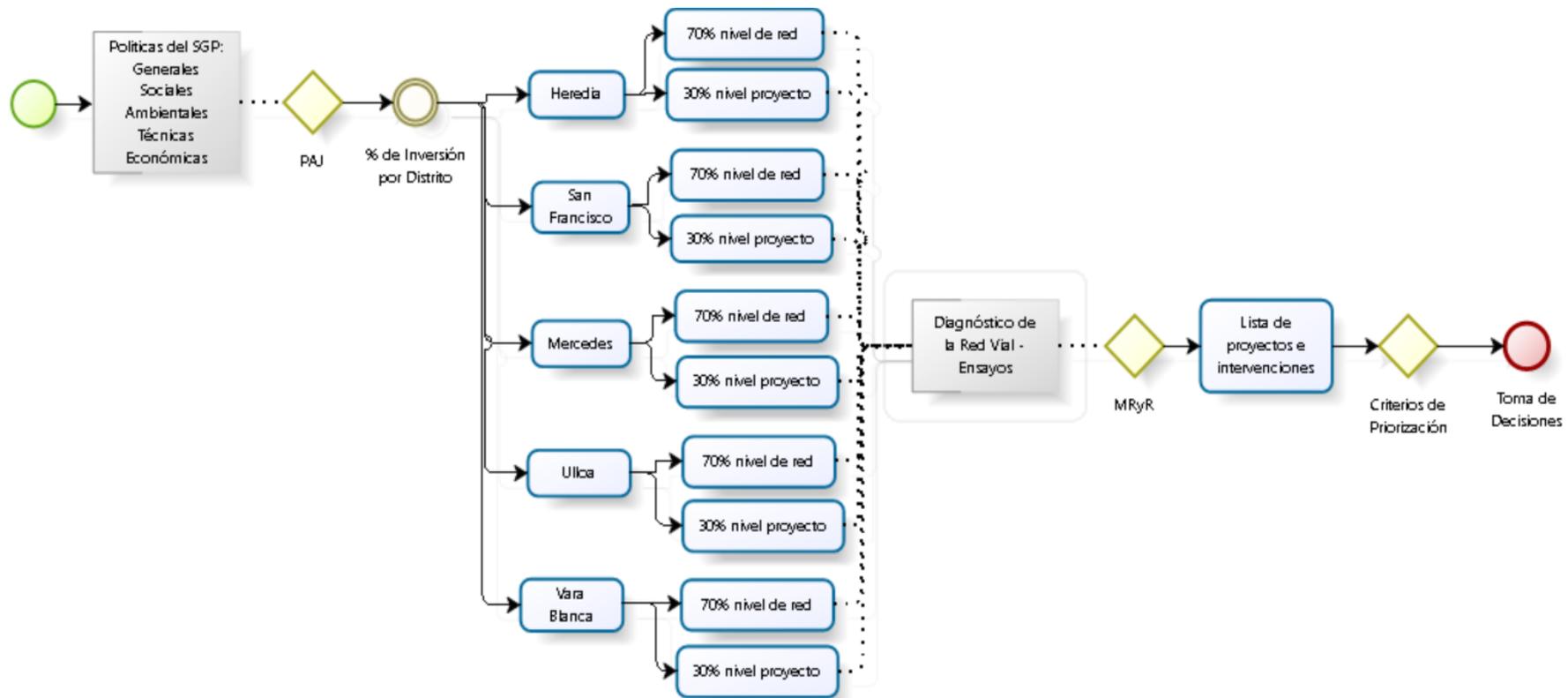


Ilustración 65. Esquema de Priorización

Fuente: elaboración propia (2020).

4.1.2.9. Matriz MRR a Nivel de Red y Proyecto.

De acuerdo con lo indicado en la metodología sobre el método matricial por utilizar y a los estándares de calidad aceptados propuestos se determinó la siguiente Matriz MRR, la cual permitirá obtener un tipo de remedio para cada tipo de deterioro según su extensión, ubicar las notas J, rangos de indicadores como IRI, Grip Number y PCI de acuerdo con los tipos de intervención. También recomienda hacer FWD para casos donde el pavimento está en una mala condición y las soluciones son de rehabilitación mayor o reconstrucción.

Es importante indicar que los criterios para cada deterioro con su respectivo tipo de extensión se obtuvieron de una combinación extraída de los manuales “*Distress Identification Manual*” (LTPP), (2003) y el Manual de Auscultación Visual del MOPT (2016).

Para comprender el uso de la Matriz, se deberá realizar los siguientes pasos:

- 1) Identificar el tipo de deterioro que se quiere remediar, estos se ubican en la parte izquierda de la matriz.
- 2) Determinar la magnitud o severidad y la extensión de dicho deterioro. Estas severidades se ubican en el cuerpo de la matriz y la extensión en la parte superior de esta.
- 3) Escoger el tipo de intervención respectivo. El tipo de intervención se ubica en la parte superior de la matriz, sobre la extensión.

Por ejemplo:

Si identificamos el deterioro “huecos”, debemos observar el nivel de severidad y extensión de estos y dependiendo de la magnitud se elige el tipo de intervención ubicados en la parte superior de la matriz. En la siguiente **Ilustración 66** se muestra el proceso guiado con flechas y círculo en color rojo.

Alternativa de intervención			Reparación de drenajes	Sello de Grietas	Bacheo	Sello y Tratamiento Superficial	Sustitución de capa asfáltica	Colocación de Sobrecapa	Reciclado y Refuerzo	Estabilización de capas granulares	Demolición, eliminación y construcción
DETERIOROS PAV. FLEXIBLE			Extensión 0-10%			Extensión 10%-30%	Extensión 40%-60%		Extensión 60%-100%		
Categoría	Descripción	Tipo									
Misceláneos	Huecos	Estructural	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Casos Puntuales, diámetro de 100-200mm profundidad > 50mm. De 200-450mm profundidad > 25mm y de 450-750mm profundidad > 13mm, severidad baja-media		Casos extensos, diámetro de 100-200mm profundidad > 50mm. De 200-450mm profundidad > 25mm y de 450-750mm profundidad > 13mm, severidad alta				

Ilustración 66. Ejemplo de uso de Matriz MRR

Fuente: elaboración propia (2020).

Para este caso, mostrado en la **Ilustración 66**, se puede observar que se seleccionó bacheo como alternativa de remedio. Esto suponiendo que existen pocos huecos focalizadamente y no eran tan profundos y con poco diámetro. Si observamos la ilustración anterior, existen 3 distintas opciones de intervención, donde son: reparación de drenajes (siempre que no existan o estén en mal estado), bacheo cuando son casos puntuales (huecos con diámetros de 100-200mm profundidad > 50mm. De 200-450mm profundidad > 25mm y de 450-750mm profundidad > 13mm, considerado una severidad baja-media), estos para una extensión no superior al 10 % del área de la sección de control de la carretera. Por último, sustitución de capa asfáltica para casos con mucha extensión, donde los huecos se encuentren entre un 40 % - 60 % del área de la sección de control o donde los huecos tengan diámetros de 100-200mm profundidad > 50mm. De 200-450mm profundidad > 25mm y de 450-750mm profundidad > 13mm, considerado una severidad alta).

Mediante la **Tabla 49** se muestra la Matriz MRR para gestionar las rutas cantonales de Heredia (mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción).

Tabla 49. Matriz MRR

			Mantenimiento				Rehabilitación Menor		Rehabilitación Mayor		J#-F (IRI >10 y PCI 0-20) Considerar FWD
			Rutinario		Periódico						
Notas J y Rango de Indicadores IRI/PCI/Grip Number			J#-E (IRI 0-2, PCI 80-100 y Grip Number ≥0.78)		J#-B (IRI 1-3.6 y PCI 60-80 y Grip Number 0.6-0.78)	J#-R (IRI 3.6 -6.4, PCI 40-60 y Grip Number 0.5-0.6)		J#-M (IRI 6.4-10, PCI 20-40 y Grip Number <0.5) Considerar FWD			
Alternativa de intervención			Reparación de drenajes	Sello de Grietas	Bacheo	Sello y Tratamiento Superficial	Sustitución de capa asfáltica	Colocación de Sobrecapa	Reciclado y Refuerzo	Estabilización de capas granulares	Demolición, eliminación y construcción
DETERIOROS PAV. FLEXIBLE			Extensión 0-10%			Extensión 10%-40%	Extensión 40%-60%		Extensión 60%-100%		
Categoría	Descripción	Tipo									
Grietas	Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo	Estructural	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Grietas formando mallas < 20cm para áreas localizadas, severidad baja	Grietas formando mallas entre 20cm-50cm, severidad media	Grietas formando mallas < 20cm para áreas extensas, severidad alta				Todo deterioro considerado estructural si rompe el umbral máximo para hacer una

	Grietas en Bloque	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado	Ancho de grietas menores a 6mm y hasta 19mm en extensión baja, severidad baja	Ancho de grietas > 19mm para áreas localizadas en severidad media	Ancho de grietas menores a 6mm y hasta 19mm en extensión media, severidad media	Ancho de grietas > 19mm para áreas extensas, severidad alta				
	Grietas de Borde	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado	Ancho de grietas menores a 6mm y hasta 19mm, severidad baja-media		Ancho de grietas > 19mm, severidad alta					

	Grietas en Arco	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Ancho de grietas < 40mm, severidad baja-media		Ancho de grietas > 40mm, severidad alta				
Deformaciones	Roderas - Ahuellamiento	Estructural	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Profundidad entre 6mm y 13mm para casos puntuales, severidad baja-media	Profundidad entre 6mm y 13mm para zonas extensas, severidad baja-media	Profundidad > 25mm, severidad alta	Profundidad entre 13mm y 25mm, severidad media-alta			
	Abultamientos y hundimientos	Estructural	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Deformación vertical > 3mm pero < 100mm, severidad baja-media		Deformación vertical > 100mm, severidad alta		Deformación vertical > 100mm, severidad alta		
	Corrugación	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado				Levantamiento mayor a 50mm, severidad alta				

	Depresiones	Estructural	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Profundidad de 13mm a 50mm, severidad media-alta		Profundidad > 50mm, severidad alta		Profundidad > 50mm, severidad alta	
	Hinchamiento	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Levantamiento entre 13mm y 50mm, severidad media-alta		Levantamiento > 50mm, severidad alta		Levantamiento > 50mm, severidad alta	Levantamiento > 50mm, severidad alta
	Corrimiento/Desplazamiento	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Profundidad o elevación máxima de 20mm, severidad media		Profundidad o elevación máxima > 20mm, severidad alta			

Textura Superficia I	Exudación	Funcional				Entre nivel de severidad bajo o medio, el asfalto se pega a las llantas, zapatos, de forma esporádica	Alto nivel de severidad. El asfalto se pega a las llantas, zapatos, de forma considerable				
	Pulimiento de Agregados	Funcional				No se mide severidad pero se puede emplear esta solución	No se mide severidad pero se puede emplear esta solución				
	Desprendimiento de agregados	Funcional				Desprendimiento de 20 partículas de agregado por cada m ² , severidad media	Superficie muy rugosa. Falta de agregado grueso, severidad alta				

	Desgaste Superficial	Funcional				Pérdida de finos y bordes del agregado grueso están expuestos 1/4 del ancho, severidad alta					
Misceláneos	Escalonamiento calzada espaldón	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado					Escalón > 50mm, severidad alta			
	Baches	Funcional	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Bache deteriorado o focalizado, severidad baja		Bache o baches deteriorados en zona extensa, severidad alta				

	Huecos	Estructural	Revisar siempre, atender si no existe o si está en mal estado		Casos Puntuales, diámetro de 100-200mm profundidad > 50mm. De 200-450mm profundidad > 25mm y de 450-750mm profundidad > 13mm, severidad baja-media		Casos extensos, diámetro de 100-200mm profundidad > 50mm. De 200-450mm profundidad > 25mm y de 450-750mm profundidad > 13mm, severidad alta				
	Cruce de Línea Férrea	Funcional			Deformaciones verticales de 3mm a 100mm, severidad media-alta						

Fuente: elaboración propia (2020).

(*) Entre las posibilidades de hacer algún tipo de intervención entre las opciones, es definido por la dependencia de la magnitud del deterioro focalizado y costos de intervención por alternativa.

4.1.3. Software SIG – Base de Datos

4.1.3.1. Campos de Entrada o Lista de Atributos.

Para implementar esta sección se consideró a todo el equipo a cargo del Sistema de Gestión de Pavimentos (UTGV), encabezado por el director del Sistema y el líder de procesos SIG, con el fin de establecer los criterios necesarios para identificar el esquema apropiado por construir. Este proceso es uno de los más importantes debido a que el esquema almacenará la información que alimenta el sistema para gestionar los pavimentos flexibles del cantón.

A partir del levantamiento de requerimientos se creó un modelo conceptual, el cual es sometido a discusión de las partes hasta que este fue aprobado y, posteriormente, se creó el modelo físico dentro de la base de datos geográfica.

El sistema se compone de la capa de vías del municipio como fuente principal y se agregó información adicional como la capa de tramos que contiene los valores de la condición actual de la red vial. Estos valores son definidos como tramos homogéneos del cantón con insumos para la toma de decisiones: IRI, FWD, PCI, TPD, *Grip Number*, entre otra información semilla importante.

Adicionalmente, y como resultado del levantamiento de requerimientos, se definieron atributos adicionales que permiten administrar información necesaria para garantizar la correcta gestión vial del cantón. Dentro de la base de datos se agregaron los campos requisitos del MOPT para oficializar el inventario vial municipal.

4.1.3.2. Campos de Salida.

Mediante la herramienta SIG se programó para que el sistema sea capaz de brindar fechas proyectadas de acuerdo con la vida útil aproximada (Tabla 47) de cada tipo de intervención vial, de esta forma se logra planificar y programar futuras intervenciones y también se puede modelar el futuro estado de la red si se le da continuidad a un plan de mantenimiento de carreteras en un plazo de tiempo. En este caso los campos de salida se encuentran vacíos (indican nulo) debido a que no se han llenado algunos campos de entrada y estos llenan algunos campos de salida.

A continuación, se muestra la **Tabla 50** con la estructura o lista de los campos propuestos para generar la base de datos que alimenta el sistema.

Tabla 50. Campos o Atributos de la base de datos del SGP-SIG

Campo	Tipo de campo propuesto	Descripción
ID_LAN	Texto	Número identificador de cada sección de tramo

TRAMO_LAB	Texto	Tramo homogéneo al que pertenece las mediciones de laboratorio
COD_MH	Texto	Código de camino municipal al cual pertenece la sección
ID_TRAMO_MH		ID de tramo municipal el tramo se divide por cada intersección con otras vías
JER_T_IMP	Texto	Clasificación funcional de la red vial cantonal de acuerdo con el valor de TPD medido y la importancia
TPD	entero largo	Tránsito promedio diario asignado al tramo
GRIP_NUMBER	Doble	Valor promedio del GN (capacidad friccionante).
FWD_PROM	Doble	Valor promedio de las deflexiones del tramo
DESVEST_FW	Doble	Valor de la desviación estándar de las deflexiones del tramo
S_M_FWD	Doble	Coefficiente de variación para las deflexiones del tramo (Desviación entre promedio)
CLASS_FWD	Texto	Indica el estado del tramo según el valor de FWD (bueno, regular, deficiente y muy deficiente)
IRI_PROM	Doble	Valor promedio de los valores de IRI del tramo
DESVEST_IR	Doble	Valor de la desviación estándar de las mediciones de IRI del tramo
S_M_IRI	Doble	Coefficiente de variación para las mediciones de IRI del tramo (Desviación entre promedio)
IRI_CLASIF	Texto	Indica el estado del tramo según el valor de IRI (bueno, regular, malo y muy malo)
CALLE_PCI	Texto	Códigos de calles que se empleó en la medición del PCI
PCI	Doble	Valor obtenido de la metodología PCI
PCI_CLASS	Texto	Clasificación según valor de PCI
LONG_T_M	Doble	Longitud de los tramos homogéneos analizados en metros lineales
LONG_COD_M	Doble	Longitud de las secciones de código municipal en metros lineales
FACTOR_TRA	Doble	Factor de tramo empleado para determinar el valor de cada sección de código de camino municipal
VALOR_TRAM	Doble	Valor del tramo homogéneo
VALOR_COD_	Doble	Valor de la sección del código de camino municipal
PROYECCION	Texto	Fecha de futura intervención vial
FECHA_INICIAL	Fecha	Fecha de medición
FECHA_INTERVENCION	Fecha	Fecha en que se realiza la intervención vial
VIDA_UTIL	Doble	Vida útil del tipo de intervención: reparación de drenajes 10 años, demarcación 2 años, sello de grietas 2 años, bacheo 2 años, sello o tratamiento superficial 3 años, sustitución de capa asfáltica 7 años, colocación de sobrecapa asfáltica 7 años, reciclado y refuerzo 10 años, reconstrucción 15 años
PAVIMENTO	Texto	Tipo de capa de rodamiento existente sea rígido, semi-rígido o flexible
TIPO_INTERVENCIÓN	Texto	Tipo de intervención a realizar en el tramo: reparación de drenajes, demarcación, sello de grietas, bacheo, T.S. <i>Slurry Seal</i> , T.S. <i>Chip Seal</i> TS-1, <i>Chip Seal</i> TS-2, <i>Chip Seal</i> TS-3,

		sustitución de capa asfáltica, colocación de sobrecapa asfáltica, reciclado y refuerzo, reconstrucción
ESPALDÓN	Texto	Tipo de espaldón existente sea natural o concreto
CARPETA	Doble	Grosor de capa asfáltica
ESPEJOR DE BASE	Doble	Grosor de base
TIPO DE BASE	Texto	Tipo de base granular sea granular o estabilizada
ESPEJOR DE SUBBASE	Doble	Grosor de subbase
TIPO DE SUBBASE	Texto	Tipo de subbase granular sea granular o estabilizada
DERECHO DE VÍA REAL_MH	Doble	Derecho de vía existentes medido
DERECHO DE VÍA OFICIAL_MH	Doble	Derecho de vía de acuerdo con topografía municipal
ANCHO DE CALZADA	Doble	Dimensión del ancho de la calzada
N° DE CARRILES	Entero	Cantidad de Carriles por vía
SENTIDO DE CARRILES	Texto	Dirección del carril sea tipo
EXISTENCIA DE ACERA	Texto	Existencia de acera sea acera derecha, acera izquierda, sí o no
EXISTENCIA DE CORDÓN	Texto	Existencia de cordón
NOTA J IRI	Texto	Clasificación de la condición del tramo evaluado según su jerarquía
NOTA J FWD	Texto	Clasificación de la condición del tramo evaluado según su jerarquía
NOMBRE_VIA	Texto	Nombre de la vía
PROVINCIA	Texto	Provincia donde se realizan las mediciones
CANTON	Texto	Cantón donde se realizan las mediciones
DISTRITO	Texto	Distrito en donde se realizaron las mediciones
DISTANCIA_MOPT	Doble	Distancia de la vía según código municipal
TIPO_CALLE	Texto	Tipo de calle según sea
JERARQUIA_MOPT	Texto	Clasificación funcional de la red vial cantonal de acuerdo con la municipalidad
VELOCIDAD_MOPT	entero largo	Velocidad promedio de circulación en la vía por código de camino
PENDIENTE_MOPT	entero largo	Porcentaje promedio de pendiente en la vía por código de camino
IDS_MOPT	Doble	Índice de desarrollo social en la vía por código de camino
PUNTES_MOPT	Texto	Presencia de puentes en la vía por código de camino sí o no
ESTADO	Texto	Condición general de la vía
DERECHO_VIA_MOPT	Doble	Derecho de vía real
ANCHO_VIA	Doble	Ancho de vía real
N_CARRILES_MOPT	entero corto	Cantidad de Carriles por vía según código de camino, Cuando el ancho promedio sea menor o igual a 5,0 m debe de considerarse que es de un solo carril
T_ALEDAÑO_MOPT	Texto	Tipo de terreno alledaño
SUP_RUEDO_MOPT	Texto	Tipo superficie de ruedo según código de camino

E_SUPRUEDO_MOPT	texto	5=Superficie lisa, sin baches ni irregularidades notables, 4=Superficie generalmente lisa, pero con unas pequeñas corrugaciones u otras irregularidades aisladas, o con baches pequeños superficiales, que no afectan la velocidad promedio de la circulación del tránsito, 3=Superficie con frecuentes baches o irregularidades que hacen necesario que los conductores reduzcan, de manera apreciable, la velocidad promedio de circulación en una buena parte del tramo, para viajar con seguridad y comodidad, 2=Superficie muy irregular o con baches extensos y frecuentes (o material suelto, en caso de superficies no pavimentadas), hasta tal grado que la velocidad promedio de recorrido en la calle o camino es considerablemente menor que permitiría desarrollar las demás características del camino, 1=Superficie muy deteriorada o irregular (o material suelo), hasta tal grado, que en casi todo el tramo la velocidad promedio de circulación es mucho menor que la que permitirían desarrollar las demás características del camino.
E_SISDREN_MOPT	Texto	Estado de sistema de drenaje
E_PUENTES_MOPT	Texto	Estado de puente
TIPO_PUENTE	Texto	Tipo de puente
IND_TS_VIA_MOPT	Texto	Índice de viabilidad técnico – social. Este índice sirve para determinar la importancia relativa de una calle o camino dentro de un cantón, distrito o región, de condiciones similares. El IVTS se calcula con base en la información recopilada mediante el inventario socioeconómico, en el formulario que se muestra a continuación. La cuantificación de cada uno de los criterios ahí considerados permite la obtención de un índice relativo entre 0 y 100, que indica el grado de importancia de la vía. Entre mayor es el índice, mayor importancia revisten el camino o calle en estudio.
SEÑALES_MOPT	entero corto	Cantidad de señales de tránsito verticales y horizontales por código de camino
INICIO_MOPT	Texto	Inicio de la vía
FIN_MOPT	Texto	Fin de la vía

Fuente: elaboración propia (2020).

Nota: Los campos que indican MOPT se refieren a datos que se envían a dicha institución para la aprobación del inventario vial y oficializar este.

De los 237km de carretera cantonal es importante mencionar que se crearon 2629 tramos homogéneos de distintas dimensiones, pero en igualdad de parámetros como geometría, clima, geología, características físicas, composición, ubicación, entre otras.

La forma en que se realizó la segmentación fue utilizando los criterios indicados en la sección de “Segmentación de Tramos Homogéneos, Secciones de Control” y lo establecido en las Políticas Generales

del SGP: “se introducen los datos de las mediciones en sitio de los parámetros de desempeño en el programa ArcGIS para disponer de una mejor visualización espacial de los mismos, y así poner unificarlos en conjuntos de datos que posean resultados similares, de tal manera que con la unión de puntos o nodos se pueda formar una línea conformando un tramo homogéneo” (p.128). Entonces, aprovechando que en el SIG se dibujaron todas las carreteras con toda la información de la base de datos del inventario vial municipal aprobado por el MOPT, donde cuenta con información básica de cada camino codificado como derecho de vía, presencia de drenajes, materiales constructivos, geometría, presencia de puentes, entre otros datos. Junto con los informes de estudios realizados por el municipio y UNA sobre los tipos de suelo del cantón y los reportes climatológicos de precipitaciones y temperaturas promedio de la zona brindados por el IMN y mostrados en el apartado de políticas ambientales con la **Ilustración 55, Ilustración 56 y Tabla 30**. Se procedió a segregar cada camino con su respectivo código en segmentos de distintas longitudes creados entre nodos que en conjunto forman la red vial. Estos segmentos comparten todas las características mencionadas anteriormente por lo que son homogéneos.

A continuación, se muestran en las siguientes ilustraciones (**Ilustración 67, Ilustración 68, Ilustración 69, Ilustración 70, Ilustración 71, Ilustración 72 e Ilustración 73**), el resultado de la base de datos implementada en el SIG municipal (los campos nulos son porque actualmente no se ha llenado la información respectiva y porque hay campos que automáticamente se llenan con esa información faltante). Además, se señala con un círculo en color rojo el número de tramo.

Tabla

SIG.Red_Vial_TramosMH

OBJECTID *	NOMBRE_VIA	PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	DISTANCIA_MOPT	TIPO_CALLE	JERARQUIA_MOPT	VELOCIDAD_MOPT	PENDIENTE_MOPT	IDS_MOI
102	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
101	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
94	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
93	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
92	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
86	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
85	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
84	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
78	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
184	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
183	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
179	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
175	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
171	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
167	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
165	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
164	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
163	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
43	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
42	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
40	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
34	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
33	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
31	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
77	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
74	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
73	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
71	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
70	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
69	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
67	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
66	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
59	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
48	Urbanización Los Arcos	Heredia	Heredia	Utoa	7128	Cantonal	Terciaria	25,5		
270	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
469	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
466	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
465	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
463	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
462	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
461	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
457	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
456	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		
452	Urbanización Los Lagos	Heredia	Heredia	San Francisco	6242	Cantonal	Secundaria	25,5		

329 (1 de 2629 Seleccionado)

SIG.Red_Vial_TramosMH

Ilustración 67. Base de datos del SGP a través del SIG
Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla

SIG.Red_Vial_TramosMH

DERECHO_VIA_OFICIAL_MH	ANCHO_CALZADA	NUM_CARRILES	SENTIDO_CARRIL	EXISTENCIA_ACERA	EXISTENCIA_CORDON	PAVIMENTO	SHAPE *	TIPOBASE	SHAPE.LEN
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	83,186135
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	34,91045
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	33,024754
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	56,284766
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	50,42735
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	32,481503
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	34,867648
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	133,52021
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	18,299027
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	171,328639
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	29,159169
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	27,23098
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	35,745568
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	114,788238
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	32,986868
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	64,106959
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	33,556
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	66,008165
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	26,818538
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	34,817977
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	25,530093
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	70,133646
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	67,539635
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	50,761895
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	24,560807
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	135,569285
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	176,058129
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	22,294456
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	21,40837
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	33,384828
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	54,572656
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	34,984636
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	32,788916
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	44,980429
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	9,396689
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	59,993685
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	47,317312
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	43,262728
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	50,397832
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	13,65184
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	53,733499
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	10,802033
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	67,248785
<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	<Nulo>	Polilinea	<Nulo>	47,446258

(1 de 2629 Seleccionado)

SIG.Red_Vial_TramosMH

Ilustración 73. Base de datos del SGP a través del SIG
Fuente: elaboración propia (2020).

4.1.3.3. Resultados de Laboratorio según Parámetros Técnicos Medidos: TPD, IRI, FWD y PCI.

Como parte del diseño del sistema fue la elaboración de la base de datos, esta se pudo alimentar con información del inventario vial que contaba la UTGV y los resultados (información semilla) del diagnóstico vial realizado mediante ensayos de laboratorio ejecutados a través del LanammeUCR. En el alcance de este proyecto no estaba contemplado la medición de la capacidad de fricción, por lo que el Grip Number no se calculó. Esta información es sumamente importante para los pavimentos de Heredia ya que permiten gestionar las intervenciones viales a partir de la condición en que se encuentran actualmente y con el paso de los años, realizando más diagnósticos de la red vial se podrá tener un registro histórico del estado de las carreteras cantonales y las intervenciones realizadas, lo cual permitirá desarrollar modelos propios de desempeño de los pavimentos flexibles del cantón.

Al ser 5 Distritos en el cantón de Heredia con 237km de carreteras cantonales, la cantidad de información recopilada del diagnóstico vial es mucha. Sin embargo, las ventajas del SIG permiten resumir la condición actual de la red en mapas por distrito basados en la condición según su regularidad superficial, estructural y los resultados obtenidos por medio del perfilómetro laser, Deflectómetro de Impacto y análisis PCI.

Es importante mencionar que en el alcance de este proyecto no se contempló la medición de la capacidad friccionante de las carreteras cantonales de Heredia, pero si se incorporó el indicador “*Grip Number*” dentro de las que usará el SGP-SIG.

A continuación, se muestran los mapas mediante la **Ilustración 74** (Resultados de IRI para Distrito Heredia), **Ilustración 75** (Resultados de PCI para Distrito Heredia),

Ilustración 76 (Resultados de IRI para Distrito Mercedes), **Ilustración 77** (Resultados de PCI para Distrito Mercedes), **Ilustración 78** (Resultados de IRI para Distrito San Francisco), **Ilustración 79** (Resultados de PCI para Distrito San Francisco), **Ilustración 80** (Resultados de IRI para Distrito Ulloa), **Ilustración 81** (Resultados de PCI para Distrito Ulloa), **Ilustración 82** (Resultados de IRI para Distrito Vara Blanca), **Ilustración 83** (Resultados de FWD para Distrito Heredia), **Ilustración 84** (Resultados de FWD para Distrito Mercedes), **Ilustración 85** (Resultados de FWD para Distrito San Francisco), **Ilustración 86** (Resultados de FWD para Distrito Ulloa), e **Ilustración 87** (Resultados de FWD para Distrito Vara Blanca), mapas generados con el fin de representar lo mencionado anteriormente de acuerdo con la condición actual de los pavimentos cantonales de Heredia y clasificación de rangos IRI, FWD y PCI para RVC. Estos fueron generados utilizando los valores promedios obtenidos por cada indicador para cada tramo homogéneo y de esa forma se mapearon con los colores establecidos en las escalas de IRI, FWD y PCI según su rango y condición para facilitar la interpretación y análisis del usuario lector.

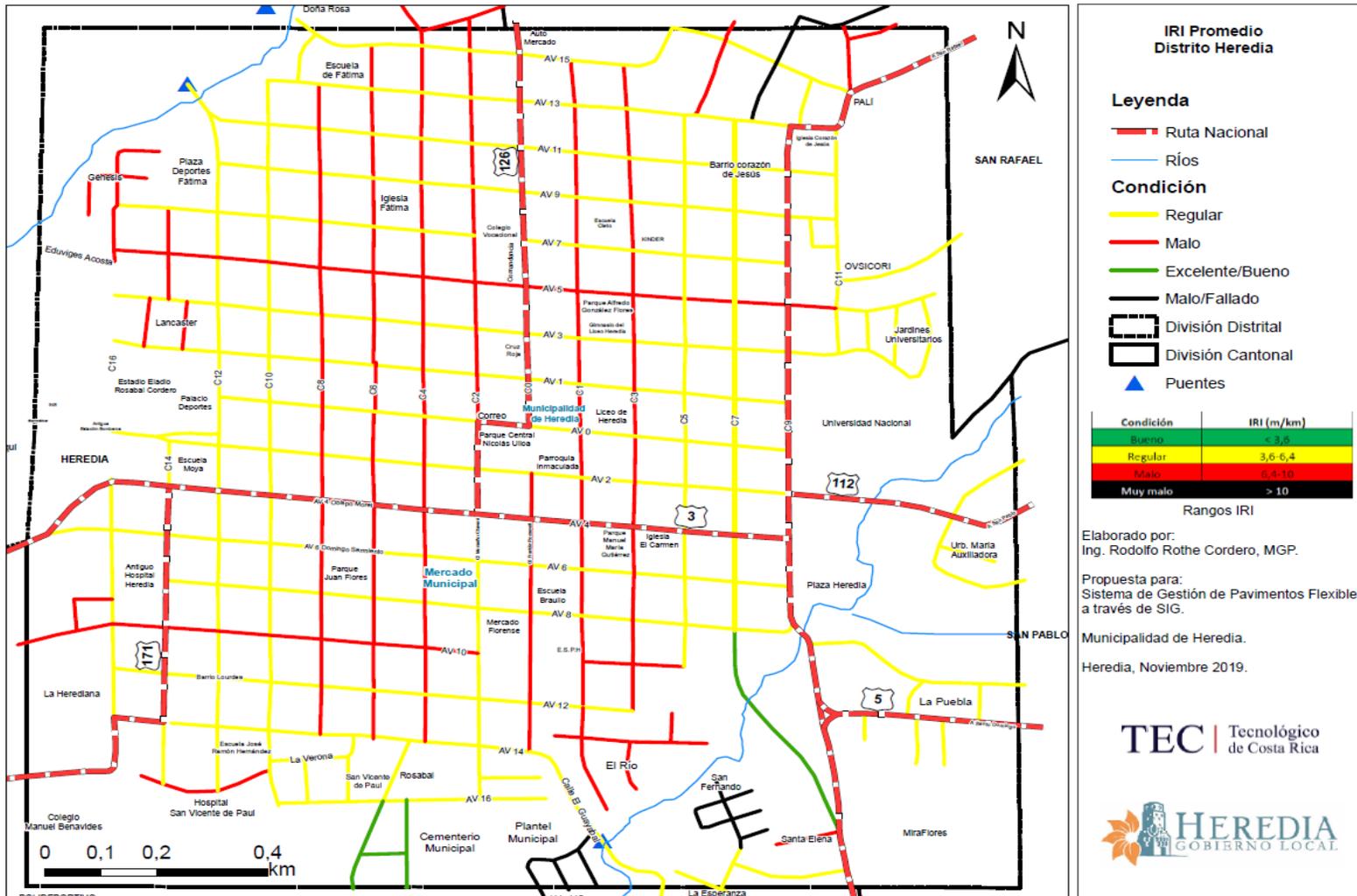


Ilustración 74. IRI Promedio de Distrito Heredia

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Central “Heredia” a nivel funcional que se encuentran en un estado regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador IRI.

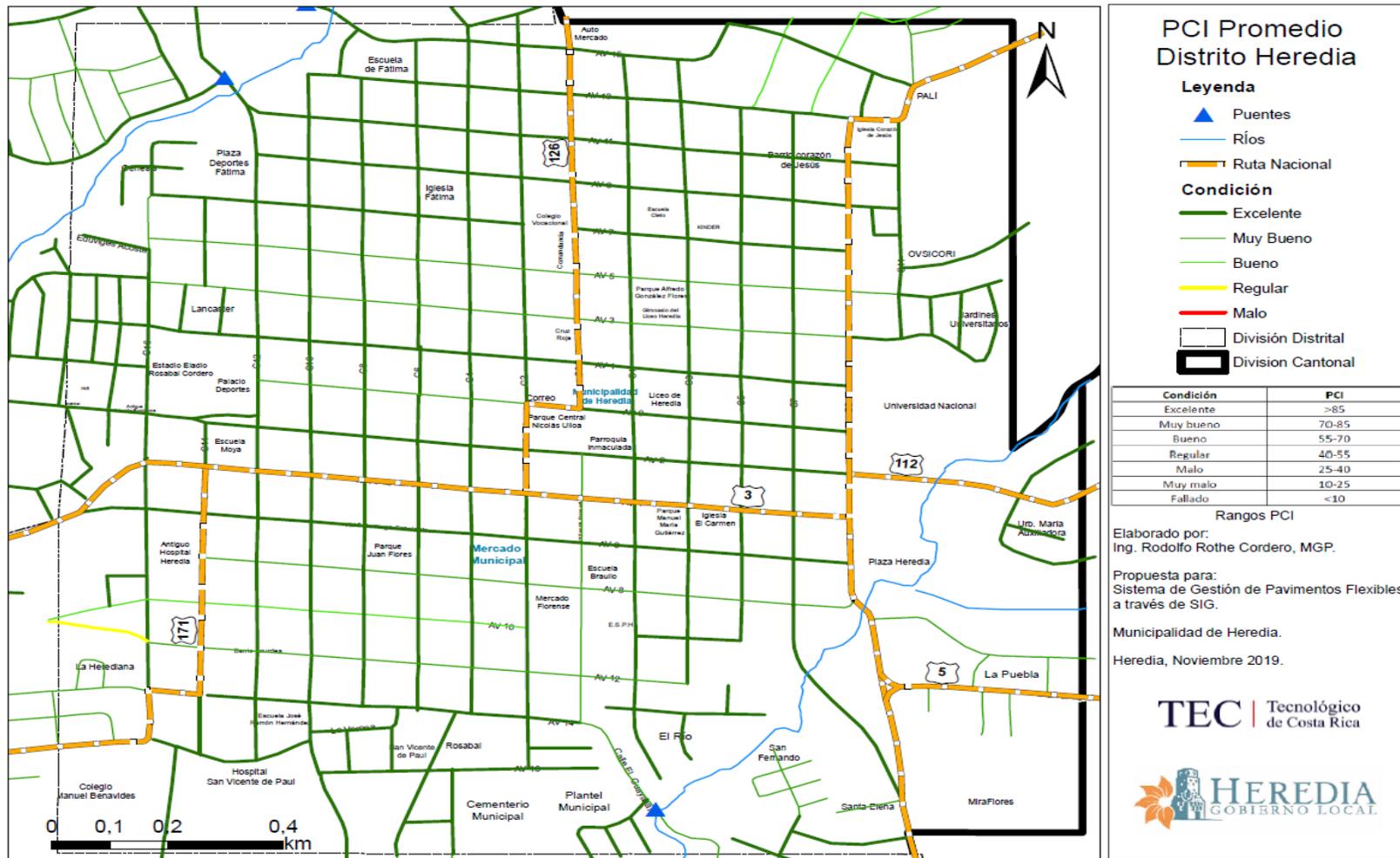


Ilustración 75. PCI Promedio de Distrito Heredia

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Central “Heredia” a nivel funcional medidos con el indicador PCI que se encuentran entre un estado excelente, muy bueno y bueno.

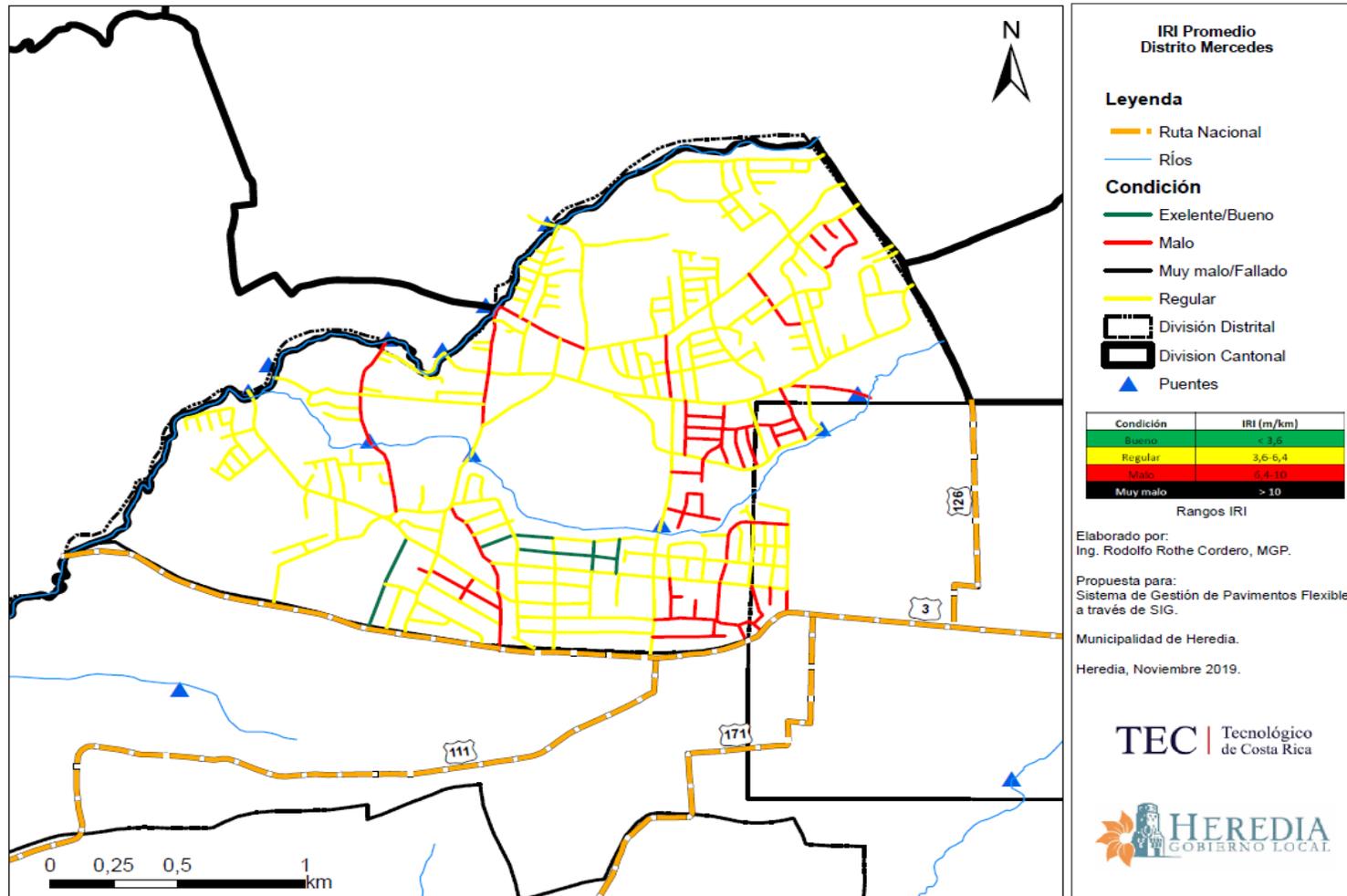


Ilustración 76. IRI Promedio de Distrito Mercedes

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Mercedes a nivel funcional que se encuentran en un estado regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador IRI.

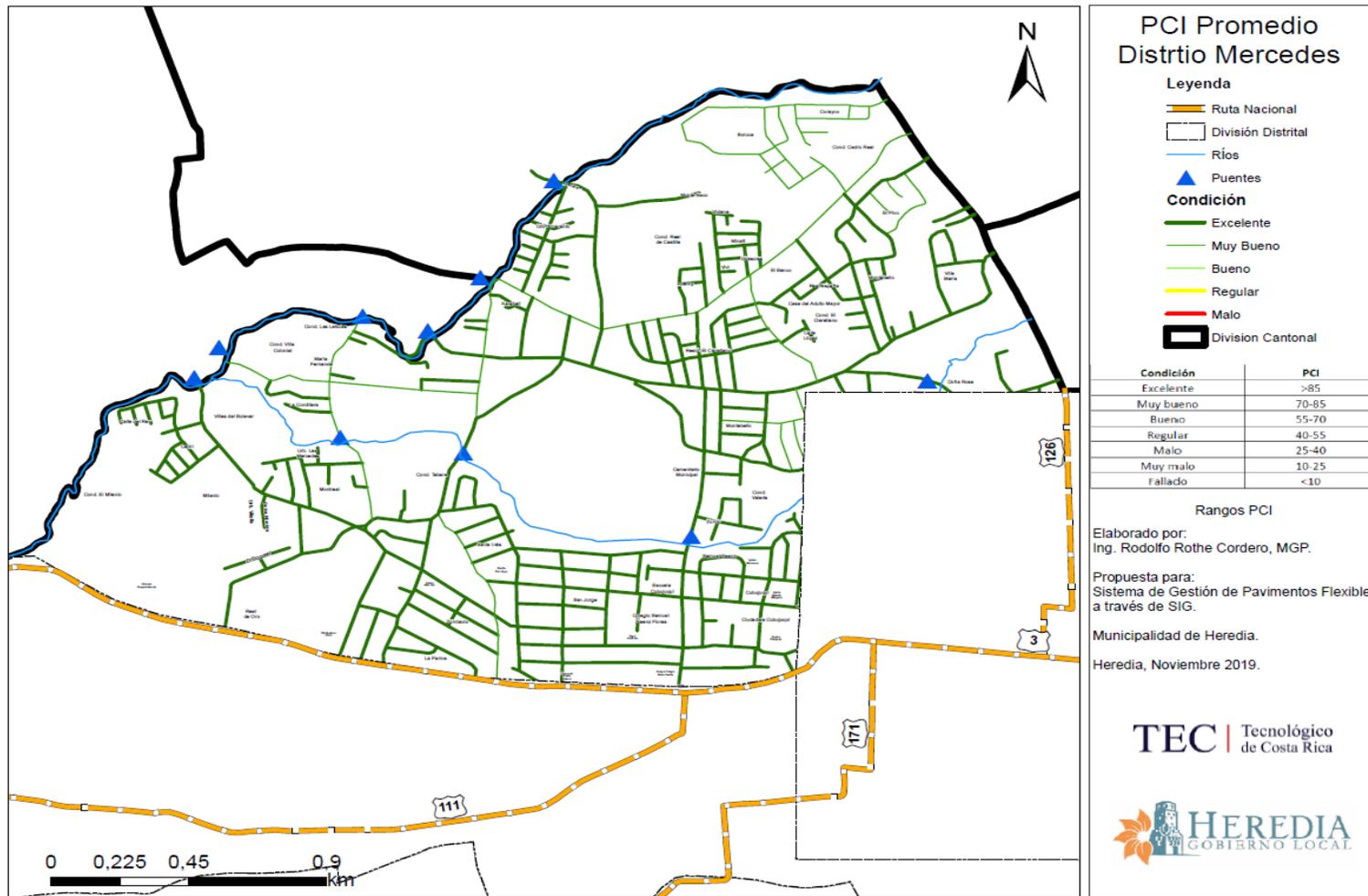


Ilustración 77. PCI Promedio de Distrito Mercedes

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Mercedes a nivel funcional medidos con el indicador PCI que se encuentran entre un estado excelente, muy bueno y bueno.

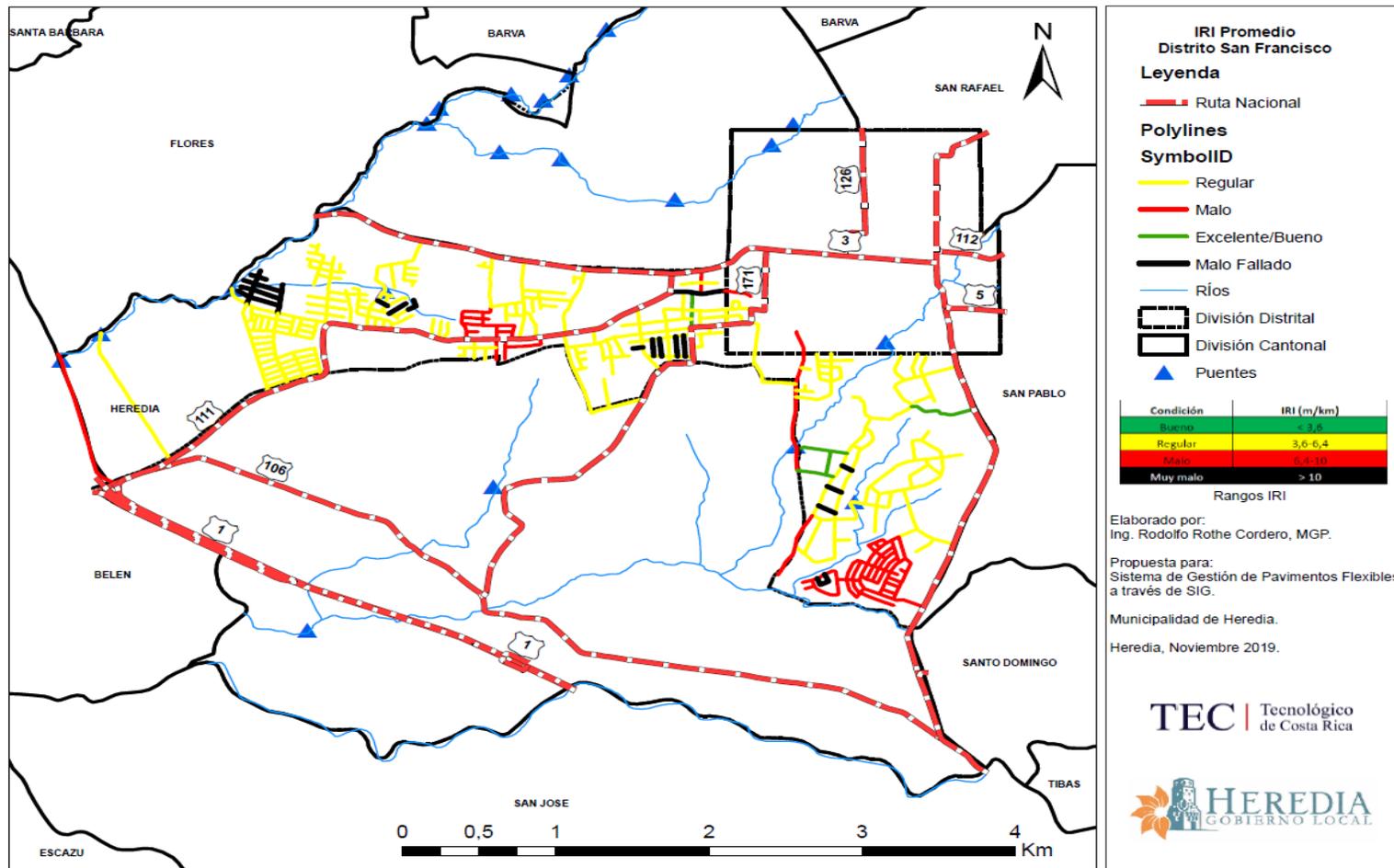


Ilustración 78. IRI Promedio de Distrito San Francisco

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito San Francisco a nivel funcional que se encuentran en un estado bueno, regular, malo y muy malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador IRI.

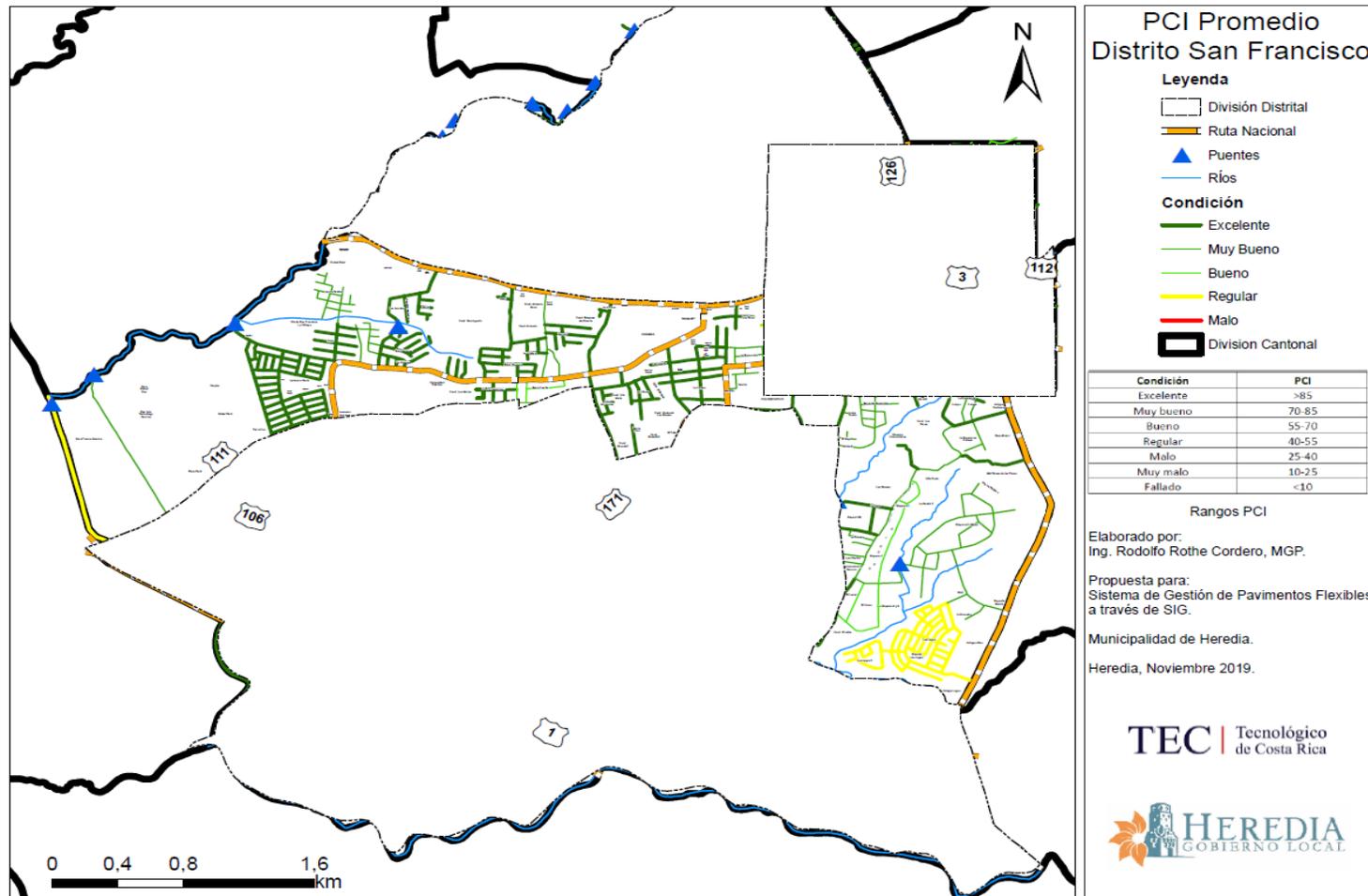


Ilustración 79. PCI Promedio de Distrito San Francisco
 Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito San Francisco a nivel funcional medidos con el indicador PCI que se encuentran entre un estado excelente, muy bueno, bueno y regular.

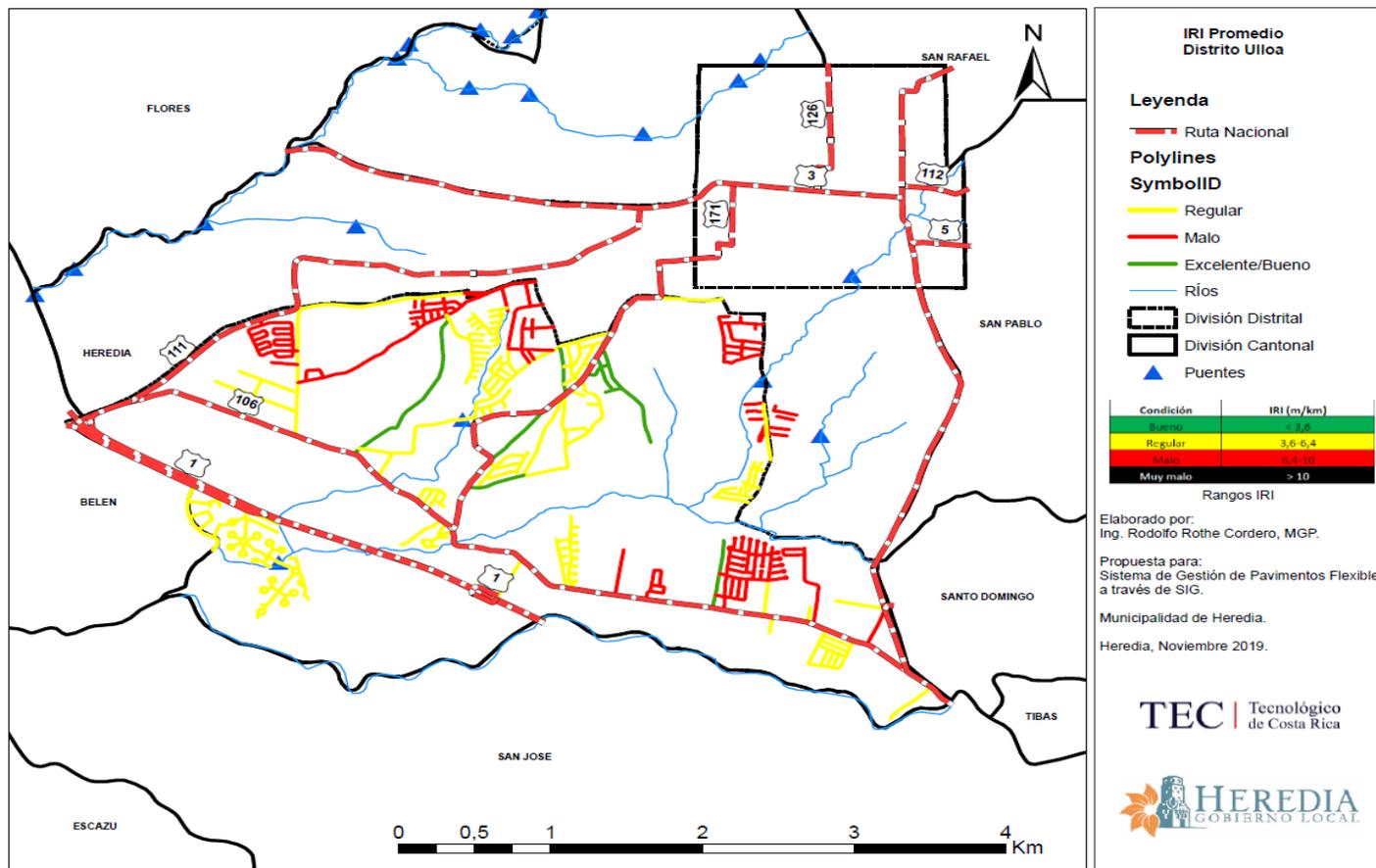


Ilustración 80. IRI Promedio de Distrito Ulloa

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito San Francisco a nivel funcional que se encuentran en un estado bueno, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador IRI.

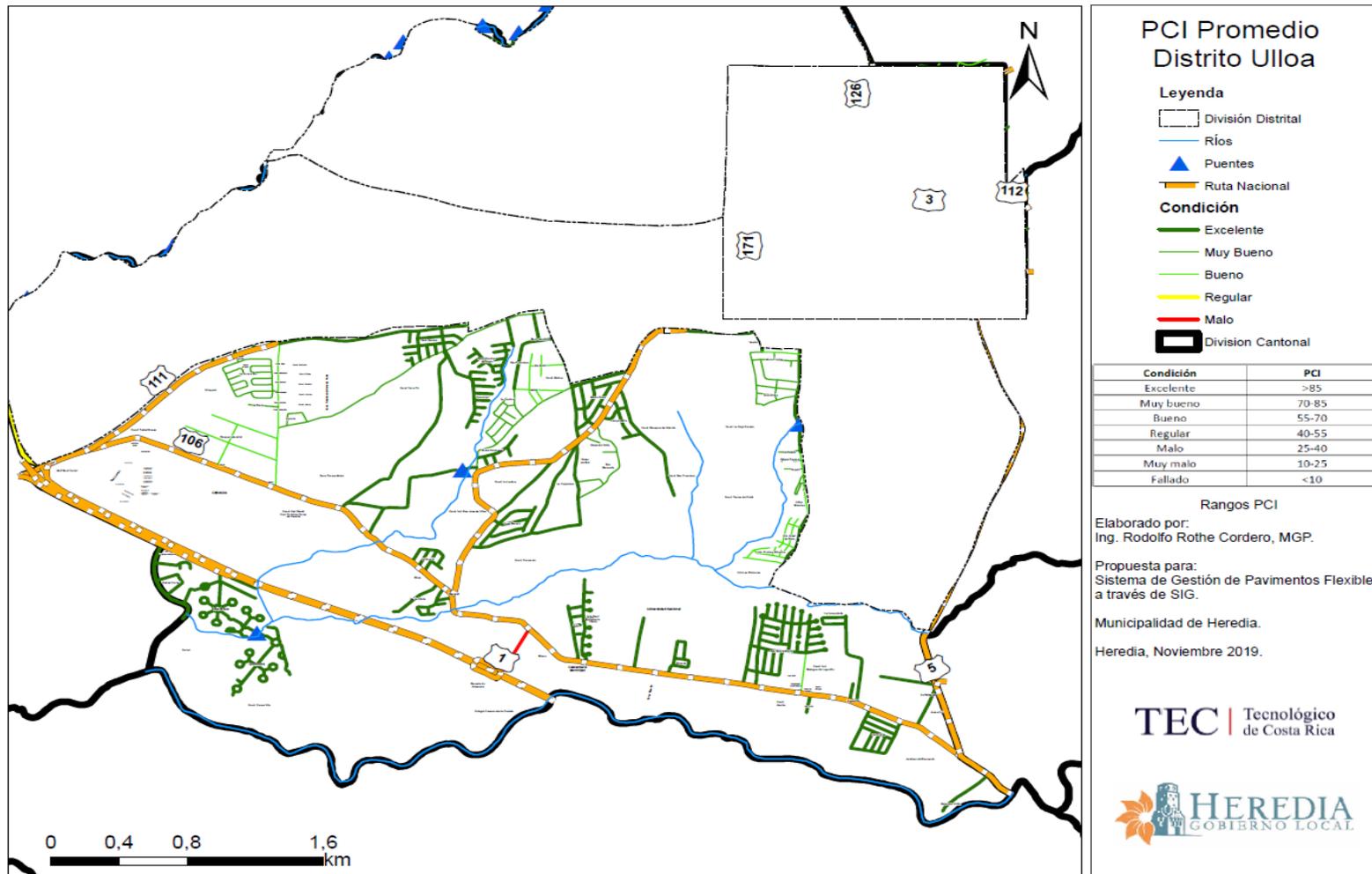


Ilustración 81. PCI Promedio de Distrito Ulloa

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito San Francisco a nivel funcional que se encuentran en un estado excelente, muy bueno, bueno y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador PCI.

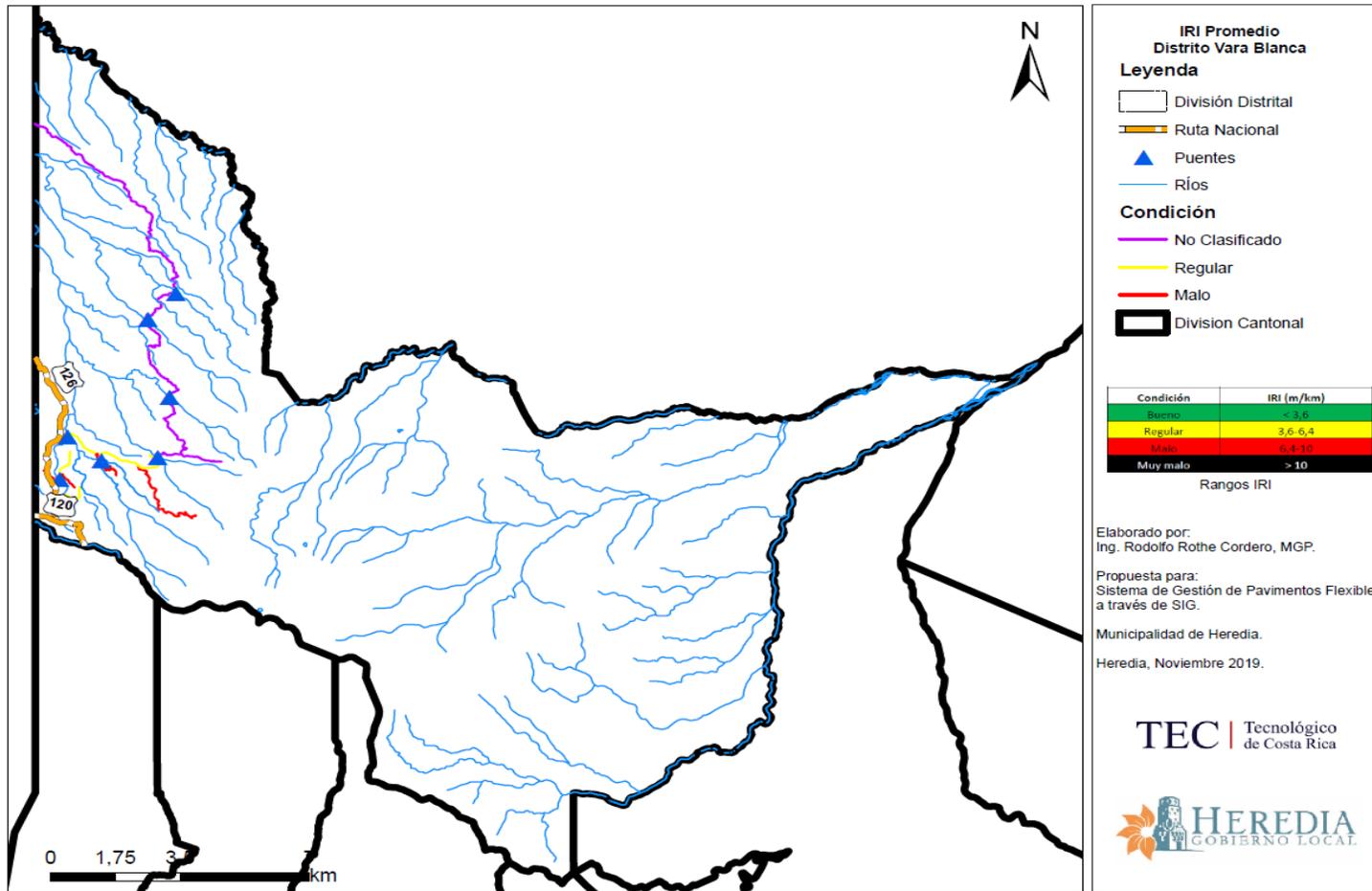


Ilustración 82. IRI Promedio de Distrito Vara Blanca

Fuente: elaboración propia (2019).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Vara Blanca a nivel funcional que se encuentran en un estado excelente, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador IRI. Existieron tramos no clasificados, pero son rutas alternas de lastre que se salieron del alcance del proyecto.

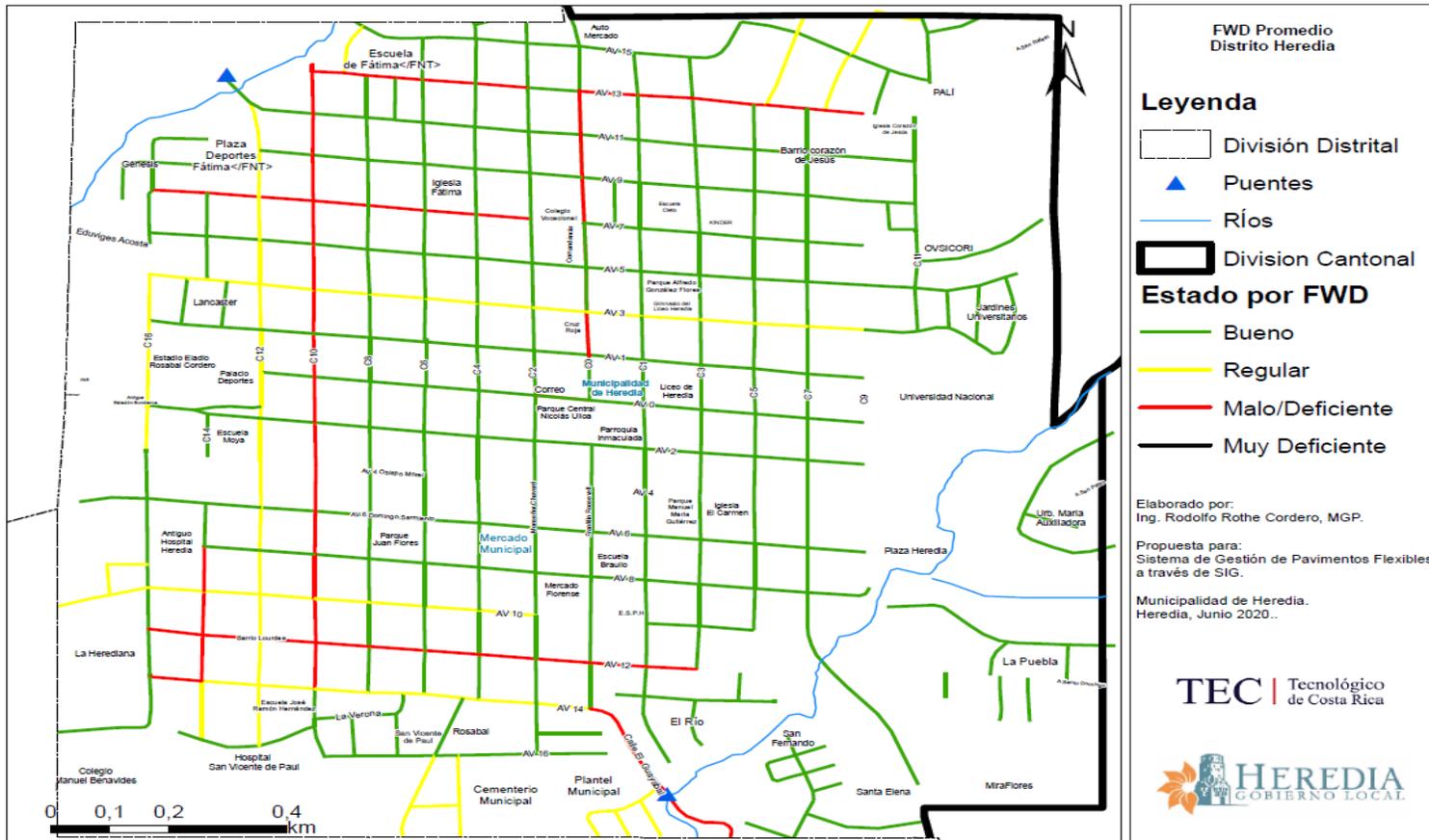


Ilustración 83. FWD Promedio de Distrito Heredia
Fuente: elaboración propia (2020).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Heredia a nivel estructural que se encuentran en un estado entre bueno, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador FWD.

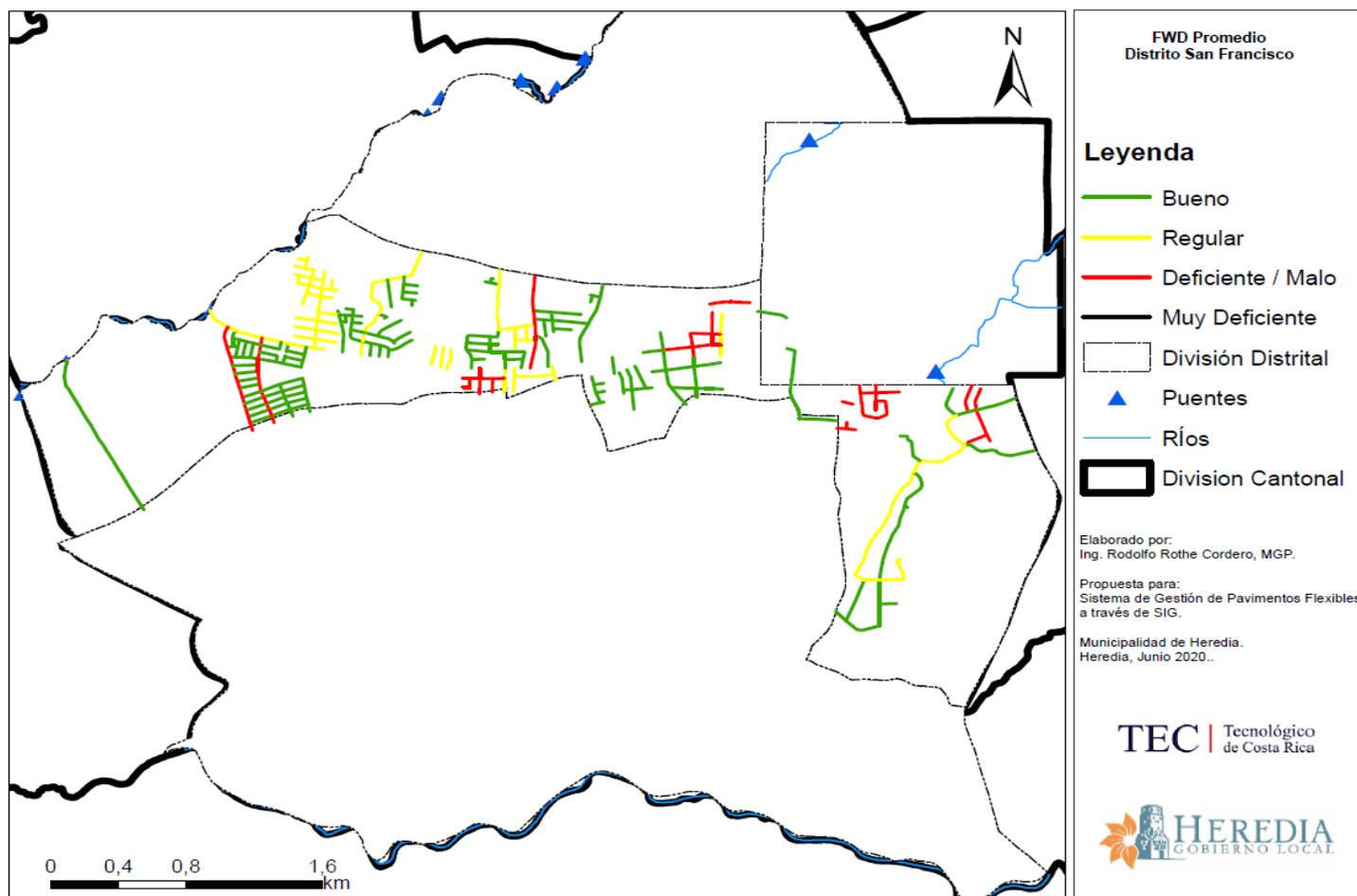


Ilustración 84. FWD de Distrito San Francisco

Fuente: elaboración propia (2020).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito San Francisco a nivel estructural que se encuentran en un estado entre bueno, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador FWD.

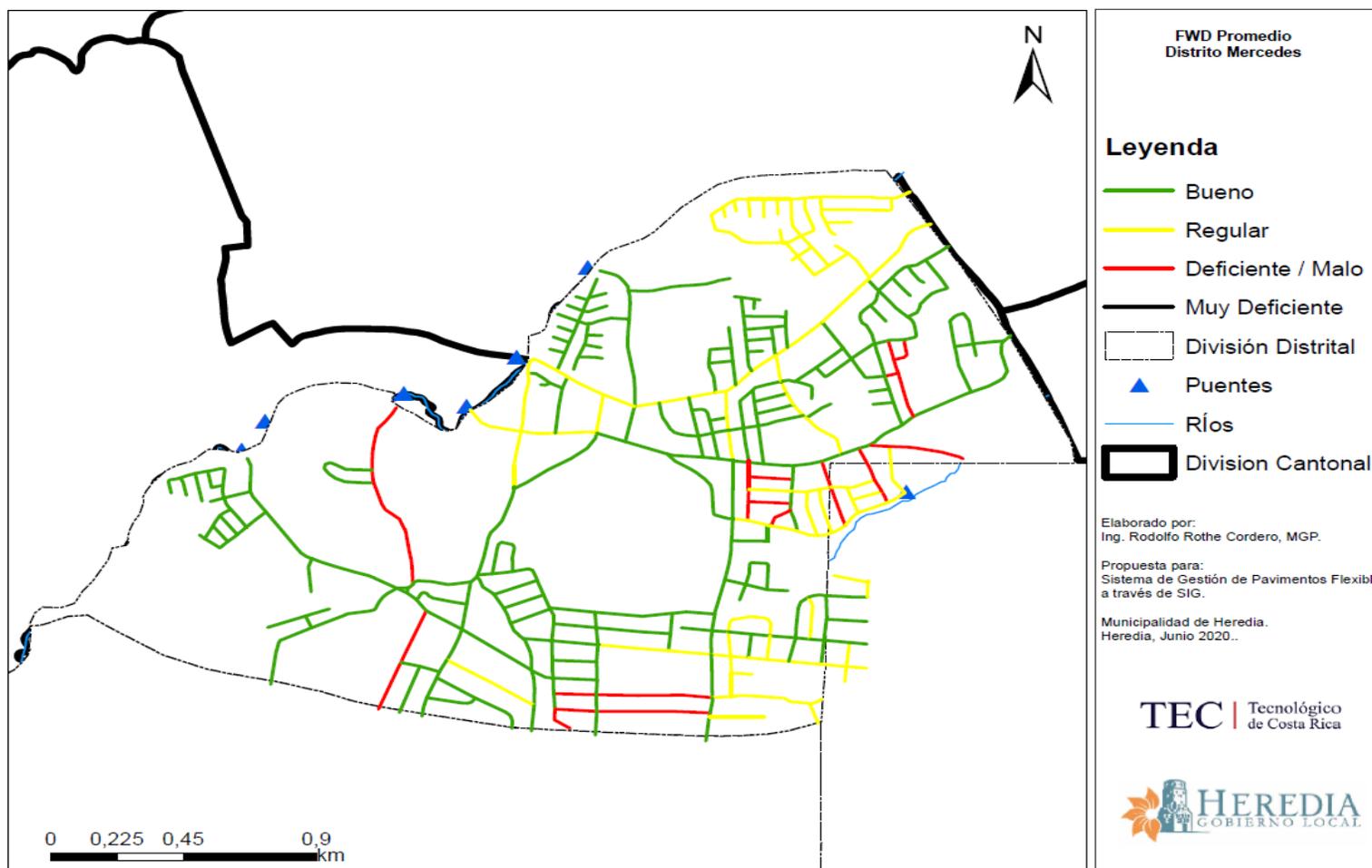


Ilustración 85. FWD de Distrito Mercedes

Fuente: elaboración propia (2020).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Mercedes a nivel estructural que se encuentran en un estado entre bueno, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador FWD.

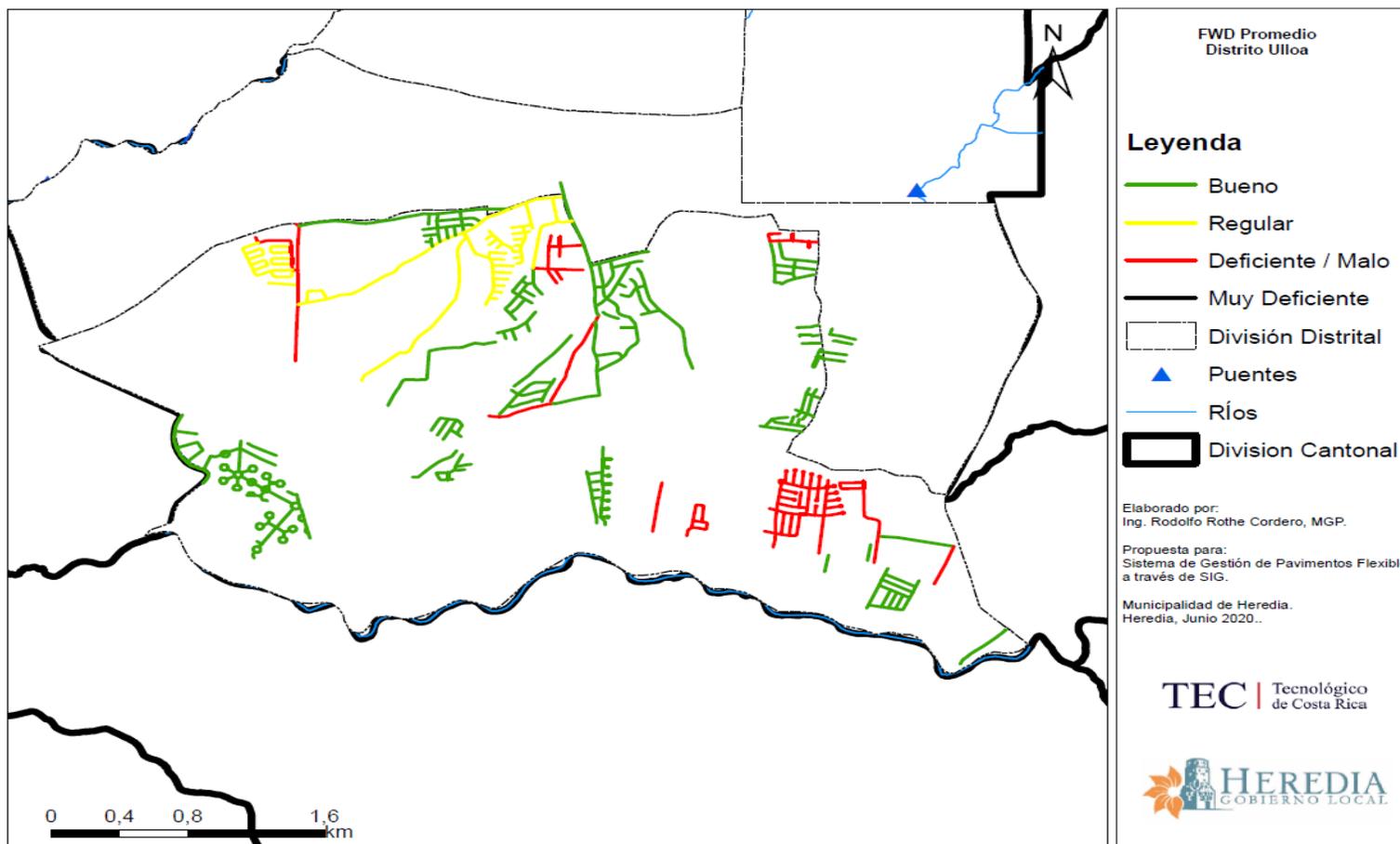
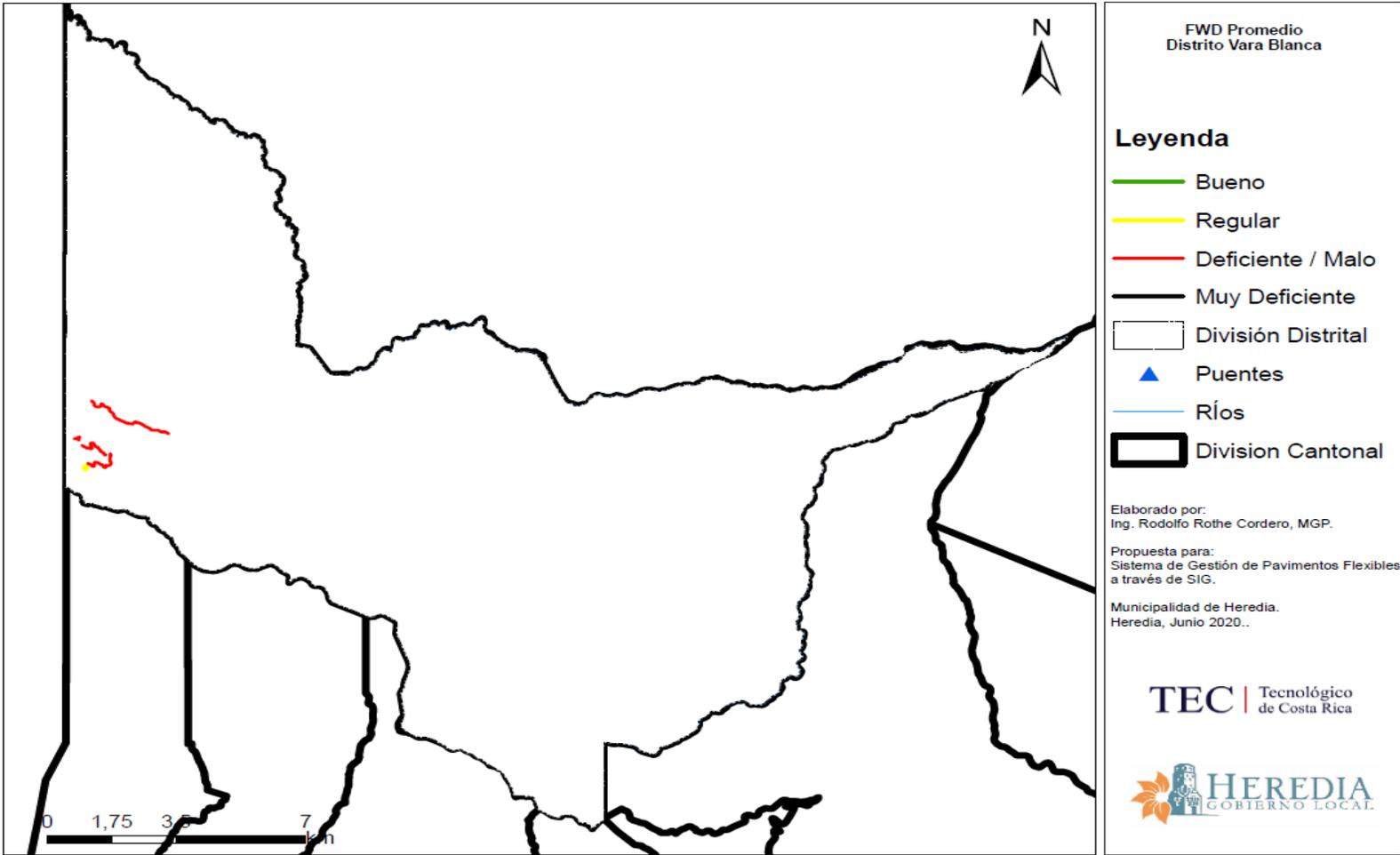


Ilustración 86. FWD de Distrito Ulloa
Fuente: elaboración propia (2020).

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Ulloa a nivel estructural que se encuentran en un estado entre bueno, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador FWD.



*Ilustración 87. FWD de Distrito Vara Blanca
Fuente: elaboración propia (2020).*

La ilustración anterior muestra como hay tramos de los pavimentos de Distrito Vara Blanca a nivel estructural que se encuentran en un estado entre bueno, regular y malo. Lo anterior de acuerdo con el indicador FWD.

Nota: PCI no se realizó en Distrito Vara Blanca ya que solo tiene 2.7 km de rutas primarias y 3.4km de rutas terciarias, su mayoría de red vial es no clasificada, por lo que se consideró realizar únicamente la evaluación del IRI en las pocas rutas asfaltadas. Tampoco se midió capacidad de fricción por el alcance de este proyecto.

Las herramientas SIG permitieron, con la información semilla, desarrollar una aplicación interactiva para el SGP que permita gestionar, mediante la relación de tablas, mapas y gráficos, tal y como se muestra en el siguiente dashboard. En la **Ilustración 88** se muestra la condición de los tramos de la red cantonal de Heredia con base en diferentes indicadores medidos.

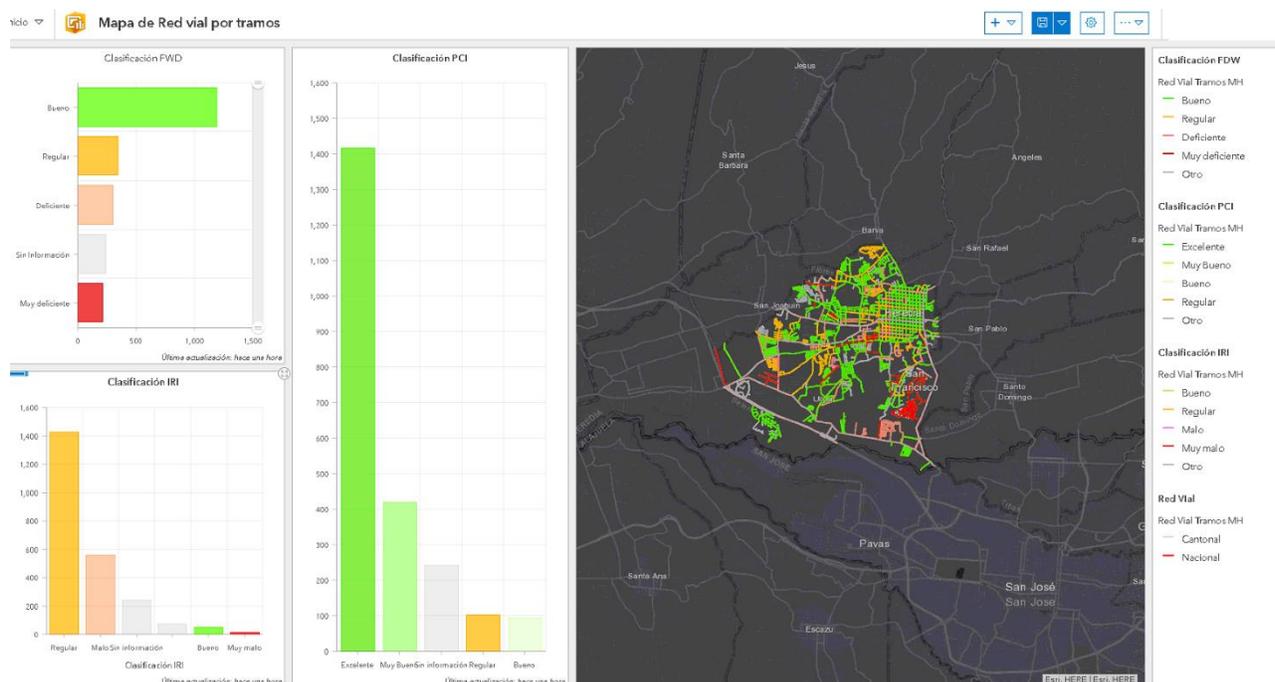


Ilustración 88. Dashboard del SGP-SIG del cantón de Heredia (Condición de la red con base a indicadores)
Fuente: elaboración propia (2020).

Ahora bien, conociendo los resultados obtenidos y representados en los mapas anteriores, se procede a realizar un ejemplo aplicado, o caso de estudio, con el fin de explicar las metodologías empleadas y priorización de intervenciones viales para las cuales servirá el SGP-SIG.

4.1.3.4. Caso de Estudio – Ejemplo Aplicado de Gestión.

De acuerdo con los resultados obtenidos mostrados en la sección anterior se aprovecharon las herramientas del SIG para poder mostrar los datos de una forma más fácil de interpretar, por lo que se desarrollaron los mapas de los resultados obtenidos en la red vial por tramos, para los parámetros: IRI, FWD y PCI, aplicando la Metodología I. Mapas ya mostrados anteriormente.

Se reitera que el ensayo para obtener el *Grip Number*, en este caso no se hizo porque se salía del alcance del proyecto.

Tal y como se mencionó en la sección de la base de datos, de los 237km de carreteras cantonales se crearon 2629 tramos homogéneos de distintas dimensiones, pero, en igualdad de parámetros, como geometría, clima, geología, características físicas, composición, ubicación, entre otras.

Estos resultados nacen de un levantamiento del 2017 donde se han hecho intervenciones durante el 2017, 2018, 2019 y 2020, las cuales ya se han actualizado en el SGP y se han realizado proyecciones con el fin de llevar un mejor control de cada tramo y priorizar intervenciones viales según corresponda. Este sistema creó la oportunidad de establecer una base de datos para las carreteras del municipio herediano con la capacidad de gestionar los pavimentos flexibles por medio de parámetro, políticas e indicadores.

Actualmente, con este SGP propuesto, se podrían priorizar intervenciones viales de una forma más equitativa por distrito y según su importancia de desarrollo, impulsando el ámbito comercial, industrial y turístico. De acuerdo con el análisis PAJ realizado y adjunto en apéndices, se obtuvieron los porcentajes de inversión por distrito por lo que, si la partida para pavimentos, según lo indicado en este documento, es de ¢1.100.000.000,00 (mil cien millones de colones), de esta forma se segregaría el presupuesto para invertir en el cantón de forma proactiva. Se muestra en la siguiente **Tabla 51**:

Tabla 51. Segregación de recursos económicos por distrito y nivel de gestión

Distrito	Orden (PAJ)	% Recursos	Total	70% Nivel de red	30% Nivel Proyecto
Ulloa	1	23.00%	¢253,000,000.00	¢177,100,000.00	¢75,900,000.00
San Francisco	2	23.00%	¢253,000,000.00	¢177,100,000.00	¢75,900,000.00
Heredia	3	20.00%	¢220,000,000.00	¢154,000,000.00	¢66,000,000.00
Mercedes	4	18.00%	¢198,000,000.00	¢138,600,000.00	¢59,400,000.00
Vara Blanca	5	16.00%	¢176,000,000.00	¢123,200,000.00	¢52,800,000.00

Fuente: elaboración propia (2020).

Una vez identificados los montos disponibles, se buscan las necesidades de la red vial y se enlistan para asignarles un tipo de intervención según su condición, para así poder determinar cuánto alcanza para programar obras.

Tal y como se mencionó, al ser 2629 tramos homogéneos, y de acuerdo con los principios del PAJ, los recursos se invertirían según dichos porcentajes y montos por distrito, por lo que, para cada distrito, se seleccionarían los primeros 10 caminos en peores condiciones para asignarles intervenciones, según los tramos en mal estado y recursos disponibles. De esta forma, se determina si se requiere algún análisis mayor y elaboración de algún proyecto.

Para efectos de este proyecto, se filtraron por distrito las carreteras con peores condiciones de acuerdo con IRI, PCI y FWD. Sin embargo, el PCI, al ser un método de auscultación visual sustituido por el equipo Geo 3D, con cálculos hechos en oficina con hojas de cálculo, se considera conservador para nivel de red, ya que casi todos los pavimentos dieron condición buena y excelente; se pueden observar los resultados en los mapas por distrito. No obstante, a nivel proyecto y con auscultación visual en sitio, el método es muy eficiente; se refleja en los resultados del caso de estudio que se detallará, más adelante, a nivel proyecto de Calle San Isidro en Mercedes de Heredia.

Al conocer lo anterior, las condiciones filtradas fueron las que obtuvieron peores parámetros de IRI y FWD: estado regular, malo /deficiente, muy malo y fallado o muy deficiente. Una vez identificados todos los tramos en mal estado, se filtran por jerarquía vial: primarias, secundarias y terciarias, de acuerdo con las notas J. A continuación de muestra la **Tabla 52** con dicha información.

Tabla 52. *Tramos del cantón de Heredia en peores condiciones de acuerdo a los parámetros IRI y FWD*

Orden PAJ	DISTRITO	UBICACIÓN	cod.c amino	FWD_PROM	CLASS_FWD	IRI_PROM	IRI_C LASIF	NOTAJ_FDW	NOTAJ_IRI
1	Ulloa	Calle La Simona	401.025	82.35	Regular	6.70	Malo	J1-R	J1-M
1	Ulloa	Calle Las Cloacas	401.029	119.52	Muy deficiente	5.15	Regular	J2-F	J2-R
1	Ulloa	Aurora	401.088	70.52	Deficiente	3.90	Regular	J3-M	J3-R
2	San Francisco	Urb. Los Itabos	401.026	97.92	Deficiente	6.12	Regular	J1-M	J1-R
2	San Francisco	Calle Chucos	401.030	82.42	Regular	6.30	Regular	J1-R	J1-R
2	San Francisco	Urb. Santa Cecilia	401.085	80.77	Regular	7.19	Malo	J2-R	J2-M
2	San Francisco	Urb. Radial Milpa	401.100	125.73	Muy deficiente	4.63	Regular	J3-F	J3-R
2	San Francisco	Urb. Bernardo Benavides	401.102	94.92	Deficiente	5.19	Regular	J3-M	J3-R
3	Heredia	Calle Guayabal	401.044	83.30	Deficiente	5.97	Regular	J1-M	J1-R
3	Heredia	Avenida 15	401.052	75.23	Deficiente	4.20	Regular	J1-M	J1-R
3	Heredia	Avenida 12	401.052	68.51	Regular	5.39	Regular	J1-R	J1-R

3	Heredia	Avenida 5	401.052	83.02	Regular	6.00	Regular	J1-R	J1-R
3	Heredia	Calle 7	401.052	63.27	Regular	5.00	Regular	J1-R	J1-R
3	Heredia	Cuadrantes La Puebla	401.020	83.02	Regular	6.00	Regular	J3-R	J3-R
4	Mercedes	Calle San Martín	401.016	84.21	Regular	7.09	Malo	J1-R	J1-M
4	Mercedes	Calle Diamante	401.014	77.31	Regular	5.29	Regular	J1-R	J1-R
4	Mercedes	Calle San Isidro	401.017	120.93	Muy deficiente	6.15	Regular	J2-F	J2-R
4	Mercedes	Calle El Claretiano	401.010	85.10	Regular	7.88	Malo	J2-R	J2-M
4	Mercedes	Cuadrantes Cubujuqui	401.111	74.35	Regular	6.50	Malo	J2-R	J2-M
4	Mercedes	Urb. Zumbado	401.081	81.63	Regular	3.91	Regular	J2-R	J2-R
4	Mercedes	Urb. Montebello	401.069	81.44	Regular	8.48	Malo	J3-R	J3-M
4	Mercedes	Urb. Boruca	401.061	78.14	Regular	6.28	Regular	J3-R	J3-R
5	Vara Blanca	Calle San Rafael	401003	133.90	Deficiente	3.89	Regular	J1-M	J1-R
5	Vara Blanca	Calle Azufre	401202	186.24	Muy deficiente	5.51	Regular	J3-F	J3-R
5	Vara Blanca	Calle Los Freseros	401198	129.16	Deficiente	5.16	Regular	J3-M	J3-R

Fuente: elaboración propia (2020).

Se visitan estos caminos para identificar y apreciar el estado real de cada uno. Así se puede revisar los deterioros del porqué se obtuvieron dichas notas J. De esta forma se logra el filtro de caminos con necesidad de intervención y lo que continua es priorizar según criterios de priorización y tomar una decisión de intervención acorde a la MRR e **Ilustración 46**.

Por lo que finalmente la lista de 14 intervenciones de diferente nivel de gestión sería la **Tabla 53**.

Tabla 53. Lista de intervenciones viales de diferente nivel para el cantón de Heredia

Ord en PAJ	DIST RITO	UBICACIÓN	cod. camino	NOTAJ_F DW	NOTAJ_I RI	NIVEL	INTERVENCIÓN	ACTIVIDAD
1	Ulloa	Calle La Simona	401.025	J1-R	J1-M	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO

1	Ulloa	Aurora	401.088	J3-M	J3-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
1	Ulloa	Calle Portal Del Valle	401.023	J3-B	J3-R	RED	REHABILITACIÓN MENOR	SOBRECAPA
2	San Francisco	Calle Chucos	401.030	J1-R	J1-R	RED	REHABILITACIÓN MENOR	SUSTITUCIÓN DE CAPA ASFÁLTICA
2	San Francisco	Urb. Los Itabos	401.026	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
2	San Francisco	Urb. Santa Cecilia	401.085	J2-R	J2-M	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO
3	Heredia	Calle Guayabal	401.044	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
3	Heredia	Avenida 15	401.052	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
3	Heredia	Avenida 0	401.052	J1-R	J1-R	RED	REHABILITACIÓN MENOR	SUSTITUCIÓN DE CAPA ASFÁLTICA
4	Mercedes	Calle San Martín	401.016	J1-R	J1-M	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO
4	Mercedes	Calle Diamante	401.014	J1-R	J1-R	RED	REHABILITACIÓN MENOR	SUSTITUCIÓN DE CAPA ASFÁLTICA
4	Mercedes	Calle San Isidro	401.017	J2-F	J2-R	PRO YEC TO	RECONSTRUCCIÓN	RECONSTRUCCIÓN
5	Vara Blanca	Calle San Rafael	401003	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
5	Vara Blanca	Calle Los Freseros	401198	J3-M	J3-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO

Fuente: elaboración propia (2020).

Dicha lista de 14 intervenciones se separa por nivel por lo que se forman dos listas nuevas:

NIVEL DE RED:

De acuerdo con las políticas generales del SGP, se seleccionan los caminos que están en peor estado y que alcanzan con los correspondiente a la gestión de este nivel: 70 % de los recursos para pavimentos.

Luego, se invierten en estos tramos que se deben conservar. Estos serán en orden jerárquico y de peor condición a mejor. A continuación, se muestra en la **Tabla 54** la lista de únicamente 4 intervenciones de rehabilitación menor que salieron de la lista filtrada por peores condiciones:

Tabla 54. *Lista de intervenciones viales a nivel de red para el cantón de Heredia*

Orden PAJ	DISTRITO	UBICACIÓN	cod.caminero	NOTA J_FD W	NOT AJ_IRI	NI VE L	INTERVENCIÓN	ACTIVIDAD
1	Ulloa	Calle Portal Del Valle	401.023	J3-B	J3-R	RE D	REHABILITACIÓN MENOR	SOBRECAPA
2	San Francisco	Calle Chucos	401.030	J1-R	J1-R	RE D	REHABILITACIÓN MENOR	SUSTITUCIÓN DE CAPA ASFÁLTICA
3	Heredia	Avenida 0	401.052	J1-R	J1-R	RE D	REHABILITACIÓN MENOR	SUSTITUCIÓN DE CAPA ASFÁLTICA
4	Mercedes	Calle Diamante	401.014	J1-R	J1-R	RE D	REHABILITACIÓN MENOR	SUSTITUCIÓN DE CAPA ASFÁLTICA

Fuente: elaboración propia (2020).

Para dichos tramos se deberían calcular los costos y revisar si con los recursos disponibles por distrito alcanzan las intervenciones para planificarlas y programarlas. Con los saldos se atenderían las Notas J (FWD e IRI): J#-E, J#-B y únicamente las J#-R que corresponden a rehabilitación menor. En esta lista no se mencionan esas notas J ya que, como se dijo en un inicio, solo se iban a agregar las notas J de condición regular que corresponden a rehabilitación mayor, mala y fallado (las peores). De igual forma, como se mencionó, se deberán considerar hasta agotar recursos por medio de técnicas de mantenimiento.

NIVEL DE PROYECTO:

De acuerdo con las políticas generales del SGP. Se seleccionan 10 proyectos de este nivel (Ver **Tabla 55**).

Tabla 55. *Lista de intervenciones viales a nivel de proyecto para el cantón de Heredia*

Orden PAJ	DISTRITO	UBICACIÓN	cod.caminero	NOT AJ_FD W	NOT AJ_IRI	NIV EL	INTERVENCIÓN	ACTIVIDAD
1	Ulloa	Calle La Simona	401.025	J1-R	J1-M	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO

1	Ulloa	Aurora	401.088	J3-M	J3-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
2	San Francisco	Urb. Los Itabos	401.026	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
2	San Francisco	Urb. Santa Cecilia	401.085	J2-R	J2-M	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO
3	Here dia	Calle Guayabal	401.044	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
3	Here dia	Avenida 15	401.052	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
4	Merc edes	Calle San Martín	401.016	J1-R	J1-M	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO
4	Merc edes	Calle San Isidro	401.017	J2-F	J2-R	PRO YEC TO	RECONSTRUCCIÓN	RECONSTRUCCIÓN
5	Vara Blanca	Calle San Rafael	401003	J1-M	J1-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO
5	Vara Blanca	Calle Los Freseros	401198	J3-M	J3-R	PRO YEC TO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO

Fuente: elaboración propia (2020).

Se tomó como caso de ejemplo a nivel de proyecto, donde se consideraron los parámetros IRI, FWD y PCI, para valorar los tipos de intervención con respecto a la condición del tramo y se calculó el CAUE con el fin de elegir la mejor opción de intervención. Este caso fue Calle San Isidro en Mercedes Norte debido a que fue la que presentó peor condición con la peor nota J_FWD y el caso poseía varias denuncias de los vecinos por problemas de inundación, mal estado del pavimento y desatención en la zona. De acuerdo con las políticas de priorización, la importancia de este caso lo coloca como prioridad de primer nivel, por lo que se eligió para investigación.

Tal y como se puede observar, de acuerdo con los resultados de laboratorio, este caso se calificó como un caso de reconstrucción. Sin embargo, por ser un proyecto, se debió estimar el presupuesto debido que la solución podría ser una rehabilitación mayor o reconstrucción y ambas requieren de diseños.

Por lo tanto, de acuerdo con la **Ilustración 46**, cuando es gestión a nivel proyecto se deben realizar ensayos más detallados, por lo que se hizo un estudio de perforaciones en la calle San Isidro para poder determinar el estado real y diseñar las propuestas de solución, para así tomar la decisión más económica que la reconstrucción completa del pavimento. A continuación, se describe el análisis a nivel proyecto efectuado.

Gestión a nivel proyecto de Calle San Isidro

Después de los resultados obtenidos mediante el diagnóstico vial realizado mediante la metodología I, se determinaron algunos caminos con resultados que reflejaban una mala condición en su capacidad estructural y funcional, por lo que se deberían revisar, con mayor profundidad, aplicando la metodología II y ensayos más detallados.

Uno de estos casos fue calle San Isidro de Mercedes Sur de Heredia.

Esta metodología II es ideal para diagnosticar la condición general de un tramo y gestionar a nivel de proyecto.

Tramo de Red Vial Seleccionado:

Se ha seleccionado un tramo de 517 metros de longitud pertenecientes a la red vial cantonal del cantón de Heredia, conocido como Calle San Isidro en Mercedes Norte de Heredia perteneciente al Cód. de Camino: 401017 (Ver **Ilustración 89**).

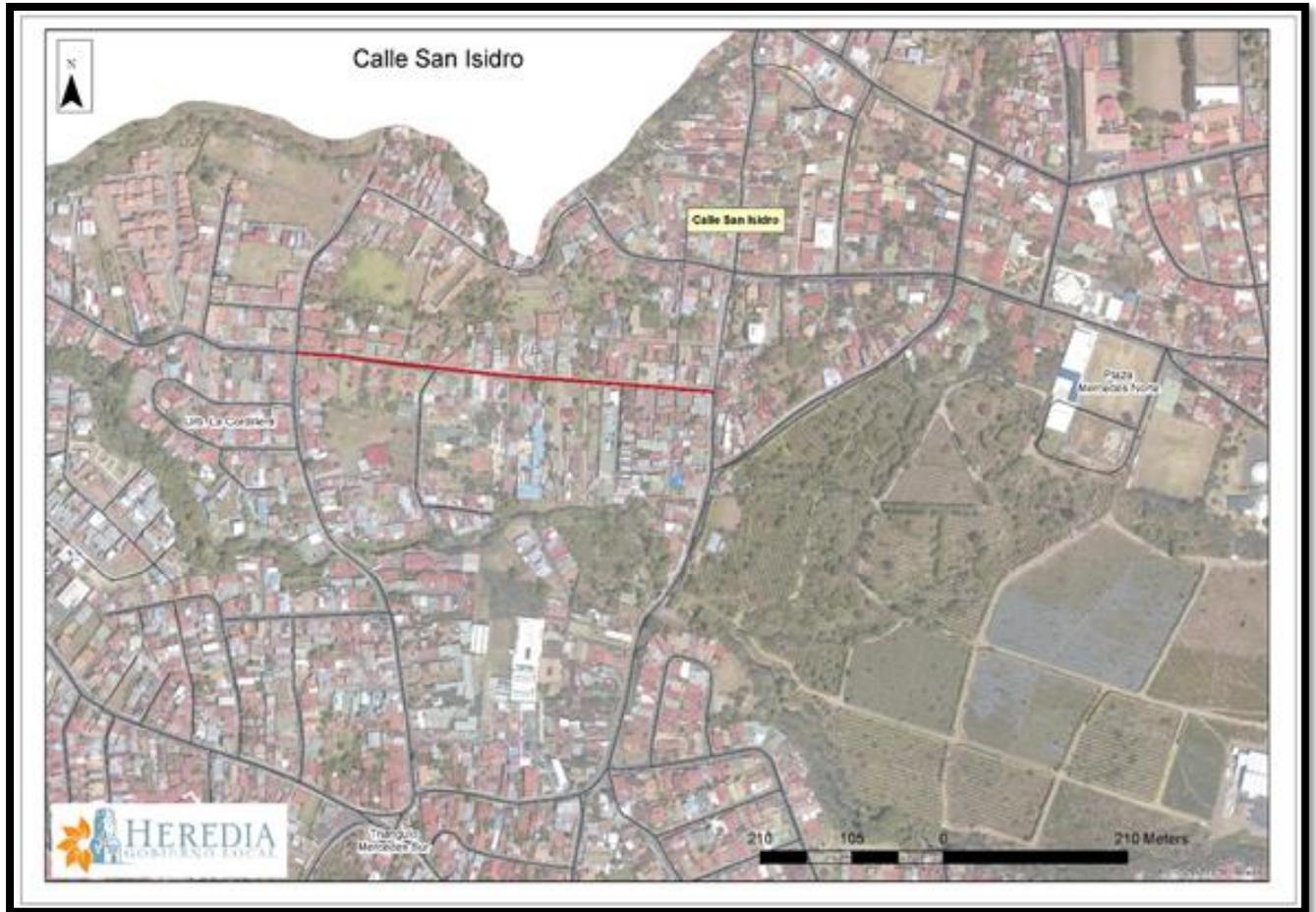


Ilustración 89. Croquis de ubicación de Calle San Isidro – Mercedes Norte de Heredia.

Fuente: Municipalidad de Heredia (2020).

Coordenadas E 485 265 – N 1 106 400 y E 484 787 – N 1 106 443, proyección CRTM-051.

Información del Tránsito del Tramo:

1. TPD: 1921 vehículos.
2. Ruta clasificada por la municipalidad de Heredia como una ruta secundaria por su TPD.
3. Velocidad promedio: 60 km/h.

Información de Materiales del Tramo:

El tramo cuenta con:

- Una capa de espesor de 10 cm en concreto asfáltico,
- Una base granular de 40 cm de espesor de lastre gris con tamaño máximo de 50mm,
- Una subbase de 50 cm de espesor de lastre gris con un tamaño máximo de 75mm.

Información General del Tramo - Inventario Físico:

1. Calle con pavimento flexible.
2. Dos carriles.
3. Ancho de superficie de ruedo: 6.00m
4. Ancho de derecho de vía 8.00m
5. Pendiente de 4%, considerado plano.
6. Tipo de espaldón natural y en concreto.
7. Tipo de drenajes: existen secciones con alcantarillado pluvial y cordón y caño, pero este no es a lo largo completo.
8. Zona Urbana.

Principales Deterioros Encontrados por Auscultación Visual:

De acuerdo con la sección 1 del manual “*Distress Identification Manual*” (LTPP) y con el Manual de Auscultación Visual del MOPT: se identificaron 4 tipos de deterioro. Se mencionan y muestran a continuación en la **Ilustración 90, Ilustración 91, Ilustración 92, Ilustración 93, Ilustración 94, Ilustración 95, Ilustración 96, Ilustración 97, Ilustración 98, Ilustración 99,**

Ilustración 100, Ilustración 101, Ilustración 102, Ilustración 103, Ilustración 104 e Ilustración 105. También, en la

Tabla 56 se muestra la medición y criterios de cada uno de los deterioros:

1. Parches



Ilustración 90. Parches calle San Isidro



Ilustración 91. Parches calle San Isidro



Ilustración 92. Parches calle San Isidro

Se obtuvieron resultados de mediciones de parches entre los 2m² hasta los 47m² y con desniveles menores a los 6mm y mayores a los 12mm.

2. Roderas:



Ilustración 93. Roderas Calle San Isidro



Ilustración 94. Roderas Calle San Isidro



Ilustración 95. Medición de roderas en Calle San Isidro

Se obtuvieron mediciones de roderas entre los 3.00m² con 13mm de hundimiento y 6.00m² con 44mm de hundimiento.

3. Agrietamientos por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados.



Ilustración 96. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro

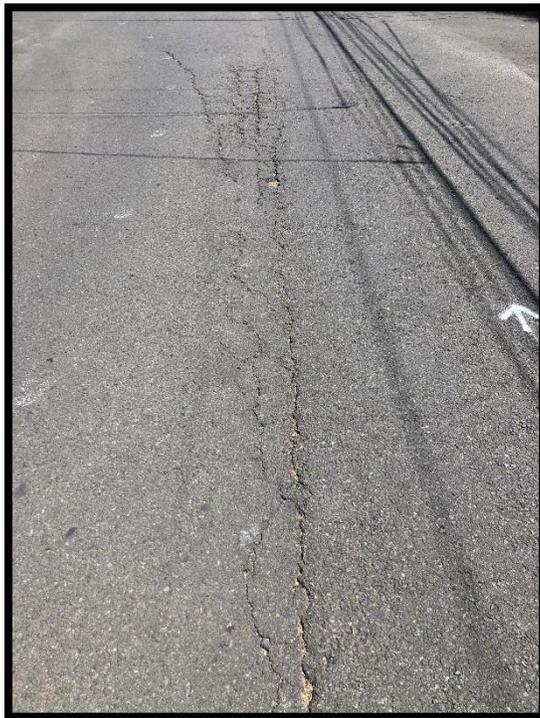


Ilustración 97. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro



Ilustración 98. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro

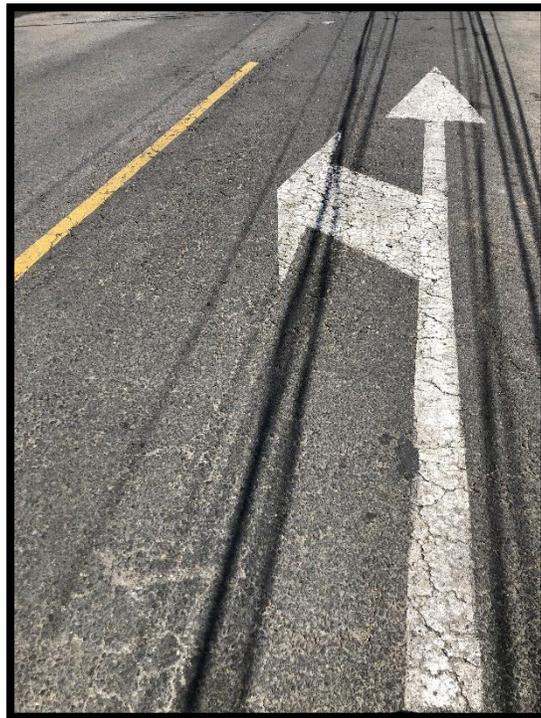


Ilustración 99. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo en Calle San Isidro



Ilustración 100. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados en Calle San Isidro



Ilustración 101. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados en Calle San Isidro



Ilustración 102. Agrietamiento por fatiga tipo piel de cocodrilo y pulimiento de agregados en Calle San Isidro

Se obtuvieron mediciones de agrietamiento por fatiga de 14.00m^2 y un área con pulimiento de agregados y desgaste de 24.00m^2 .

4. Agrietamientos longitudinales tipo ACP4b.



Ilustración 103. Agrietamiento longitudinal en Calle San Isidro



Ilustración 104. Agrietamiento longitudinal en Calle San Isidro



Ilustración 105. Medición de agrietamiento longitudinal en Calle San Isidro

Se obtuvieron mediciones de grietas longitudinales mayores a los 19mm de espesor y entre los 8.00m y 12.00m.

Tipos de Deterioro y Niveles de Severidad de acuerdo con el Manual (Distress Identification Manual, “LTPP”):

Se realizó una auscultación visual en sitio para poder aplicar el método PCI y determinar la condición del pavimento. Se adjuntan, en apéndices, las boletas del levantamiento en campo, también se calculó la unidad de muestra (UM) de acuerdo con el procedimiento y diagrama de flujo indicado en la **Ilustración 47**.

Ancho de calzada: 6.00 m

Longitud de UM: 47 m

Aplicando las ecuaciones mencionadas en sección de la metodología II se obtiene:

$N = \text{Longitud del tramo} / \text{Longitud de UM} = 517 / 47 = 11 < 100$ ok!

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

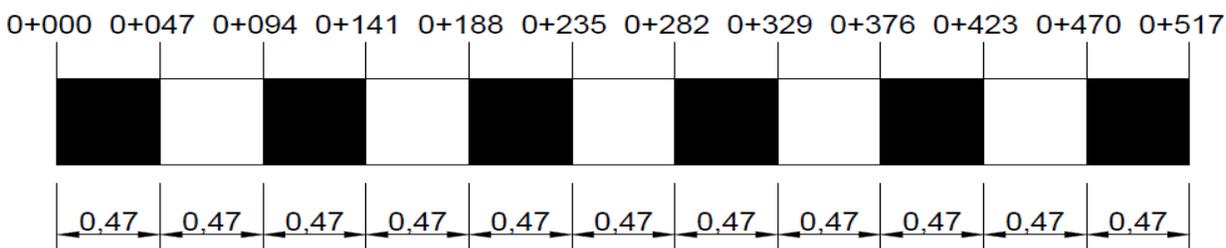
$$\sigma = 10 \text{ pav. flexible}$$

$$e = 5\%$$

$$n = \frac{11 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} * (11 - 1) + 10^2} = 6.77$$

$$i = \frac{11}{6.77} = 1.62 = 1$$

Se revisan 6 UM de 6m de ancho por 47m de largo: 282m² cada UM.



A continuación, se muestra la

Tabla 56 con las mediciones y severidad de los deterioros encontrados en cada estación de UM, los criterios utilizados son los estipulados y mostrados en la MRR.

Tabla 56. Mediciones de los deterioros encontrados en cada estación de UM

ESTACIÓN de UM	Tipo Deterioro	Medición	Criterio	Severidad	Total
0+000 a 0+047	Bacheo	(3) 1m x 3m: 9m ²	Desnivel < 6mm, no se determina bombeo.	Bajo	9
0+094 a 0+141	Bacheo	(2) 1mx 1m: 2m ²	Desnivel < 6mm, no se determina bombeo.	Bajo	2
0+188 a 0+235	Bacheo	1m x 2m: 2m ²	Desnivel < 6mm, no se determina bombeo.	Bajo	2
	Agrietamiento tipo piel de cocodrilo	14m x 1m: 14m ²	Patrón completo de piel de cocodrilo en un área definida (lados menores a 30cm)	Alto	14
0+282 a 0+329	Bacheo	1m x 2m: 2m ²	Desnivel > 12mm, no se determina bombeo.	Medio	2
	Agrietamiento longitudinal	Grietas de 2.5cm de espesor: 8m	Grieta >19mm	Alto	8
	Roderas	13mm de hundimiento en un área de 5m x 0.60m =3m ²	Solo se mide el hundimiento en mm en tramos de 15.25m	Medio	3
	Desgaste superficial	8m*3m= 24m ²	Perdida de agregado grueso y fino	Alto	24

0+376 a 0+423	Roderas	34mm en un área de 4m x 1m = 4m ²	Solo se mide el hundimiento en mm en tramos de 15.25m	Alto	4
	Bacheo	47m x 1m: 47m ²	Desnivel > 12mm, no se determina bombeo.	Medio	47
	Agrietamiento longitudinal	Grietas de 2.5cm de espesor: 12m	Grieta >19mm	Alto	12
0+470 a 0+517	Roderas	44mm de hundimiento en 6m x 1m= 6m ²	Solo se mide el hundimiento en mm en tramos de 15.25m	Alto	6
	Bacheo	47m x 1m: 47m ²	Desnivel > 12mm, no se determina bombeo.	Alto	47

Fuente: elaboración propia (2020).

Con la información obtenida en el proceso de auscultación se procedió a calcular el PCI del pavimento, se desglosa en la **Tabla 57** y

Tabla 58:

Tabla 57. Cálculo del PCI para Calle San Isidro de acuerdo con la Metodología II del SGP

UM	DETERIORO	SEVERIDAD	AREA UM	MEDIDA	UN	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1 (0+000 a 0+047)	BACHEO	BAJO 3	282,00	9,00	M2	3,19	7
2 (0+094 a 0+141)	BACHEO	BAJO 3	282,00	2,00	M2	0,71	3
3 (0+188 a 0+235)	BACHEO	BAJO 3	282,00	2,00	M2	0,71	3
	AGRIETAMIENTO POR FATIGA	ALTO 1	282,00	14,00	M2	4,96	54
4 (0+282 a 0+329)	RODERAS	MEDIO 2	282,00	3,00	M2	1,06	17
	BACHEO	MEDIO 2	282,00	2,00	M2	0,71	3
	AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL	ALTO 1	282,00	8,00	ML	2,84	19
	DESGASTE SUPERFICIAL	ALTO 1	282,00	24	M2	8,51	36
5 (0+376 a 0+423)	RODERAS	ALTO 1	282,00	4,00	M2	1,42	26
	AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL	ALTO 1	282,00	12,00	ML	4,26	23
	BACHEO	MEDIO 2	282,00	47,00	M2	16,67	64
	RODERAS	ALTO 1	282,00	6,00	M2	2,13	35

6 (0+470 a 0+517)	BACHEO	MEDIO	2	282,00	47,00	M2	16,67	38
-------------------	--------	-------	---	--------	-------	----	-------	----

Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla 58. Cálculo del PCI para Calle San Isidro de acuerdo con la Metodología II del SGP

MAX ADMISIBLE VD	# DE ITERACIÓN	VD1	VD2	VD3	VD4	VD5	SUMA	q	VDC	VCD MÁX	PCI UM	PCI DEL TRAMO
9,54	1	7					7	1	7	7	93	61
9,91	1	3					3	1	3	3	97	
	1	54	3				57	2	42	56	44	
5,22	2	54	2				56	1	56			
	1	36	19	17	3		75	4	43	48	43	
	2	36	19	17	2		74	3	48			
	3	36	19	2			57	2	44			
8,44	4	36	2				38	1	38			
	1	64	26	23			113	3	70	70	30	
	2	64	26	2			92	2	64			
4,31	3	64	2				66	1	66			
	1	38	35				73	2	52	52	48	
6,69	2	38	2				40	1	40			

Fuente: elaboración propia (2020).

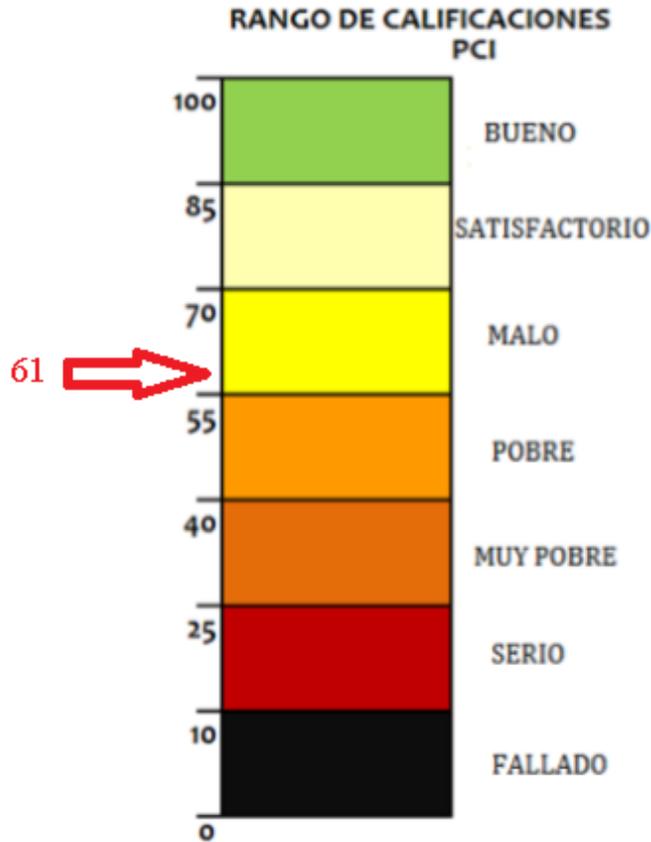


Ilustración 106. Resultado del PCI obtenido según escala y rangos de clasificación para Calle San Isidro
Fuente: elaboración propia (2020).

Con base en la escala y tabla anterior e **Ilustración 34**, se determina que el tramo seleccionado posee una condición mala. Inclusive el año anterior se realizó un levantamiento de IRI y FWD, a partir del cual dicho tramo se reportó funcionalmente en condición regular y estructuralmente en condición muy deficiente. A continuación, se presentan mapas de dichos resultados en la **Ilustración 107**, **Ilustración 108** e **Ilustración 109**.

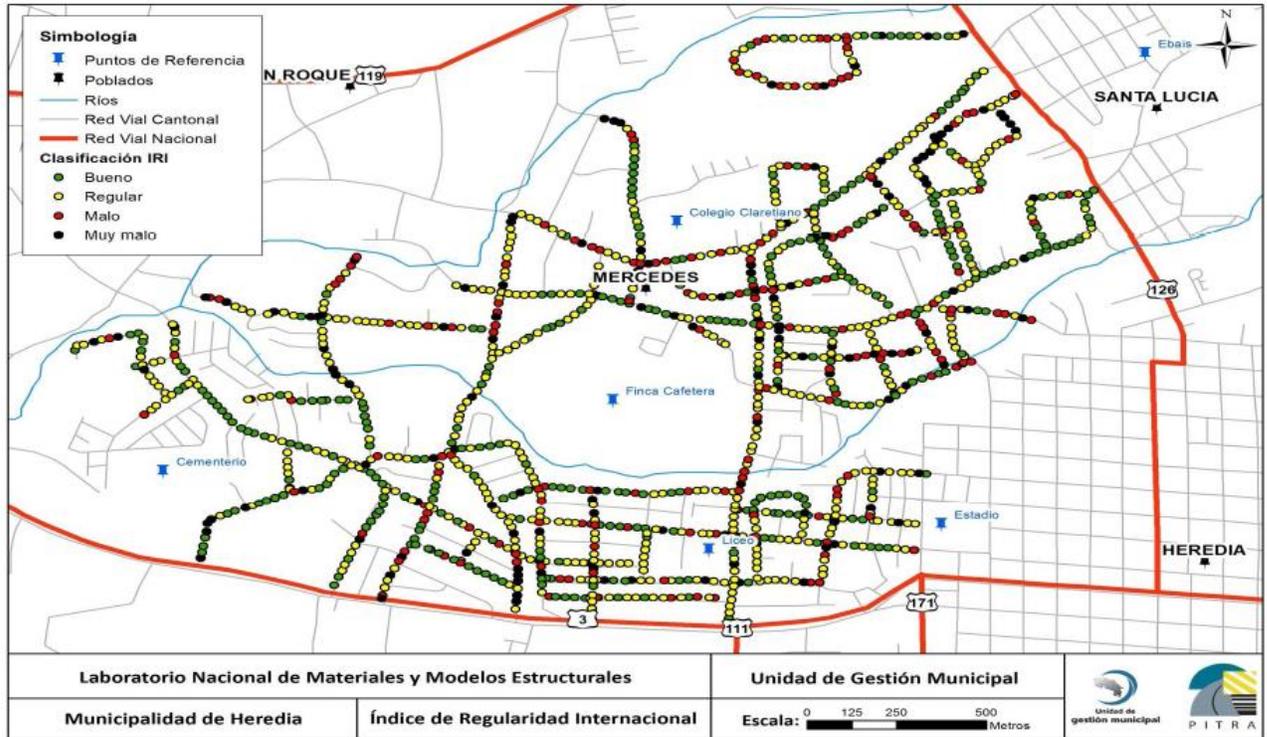


Ilustración 107. Levantamiento del IRI en la red vial del Distrito Mercedes Norte
 Fuente: LanammeUCR (2017).

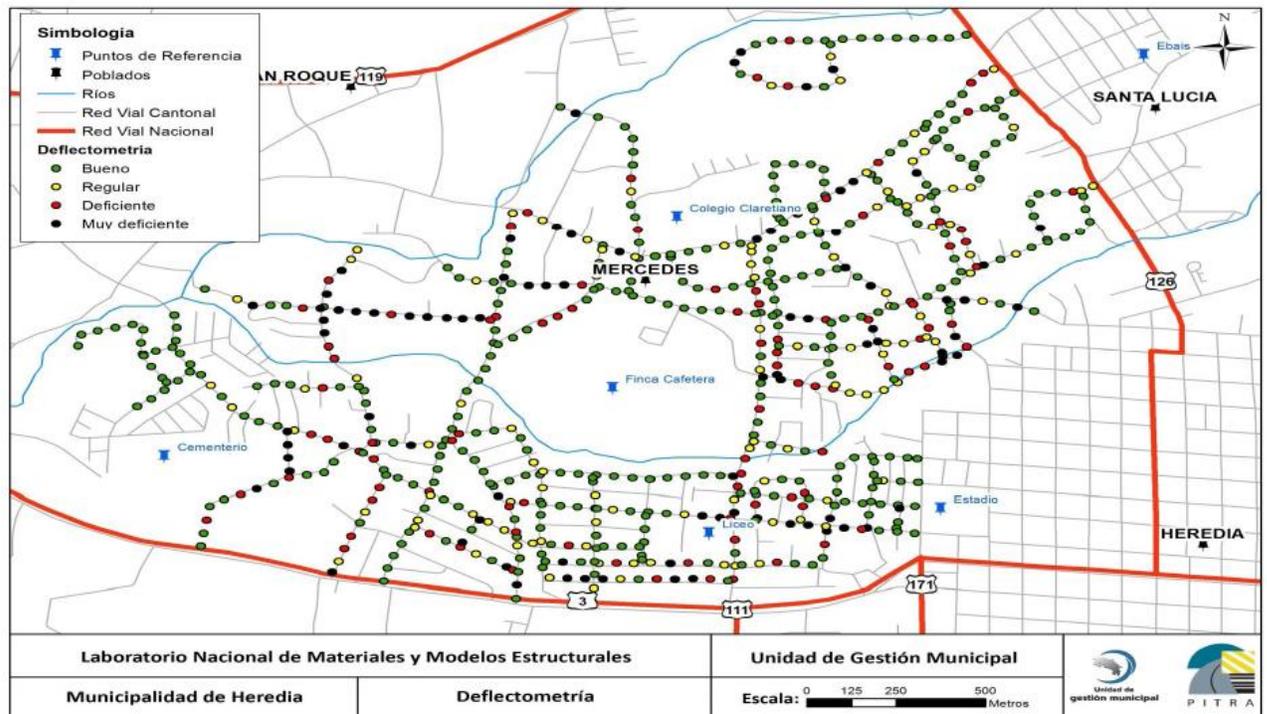
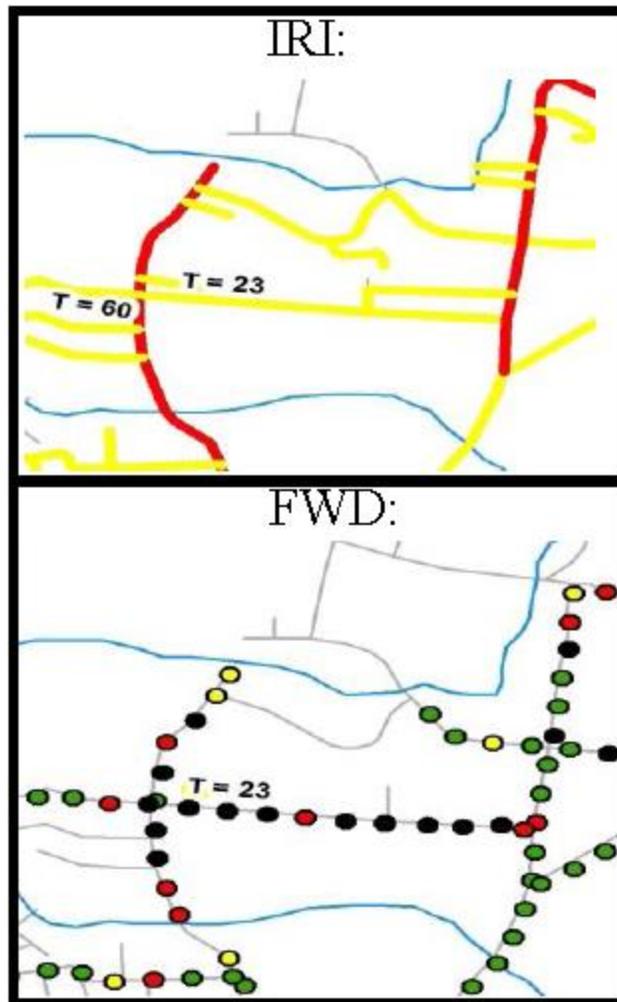


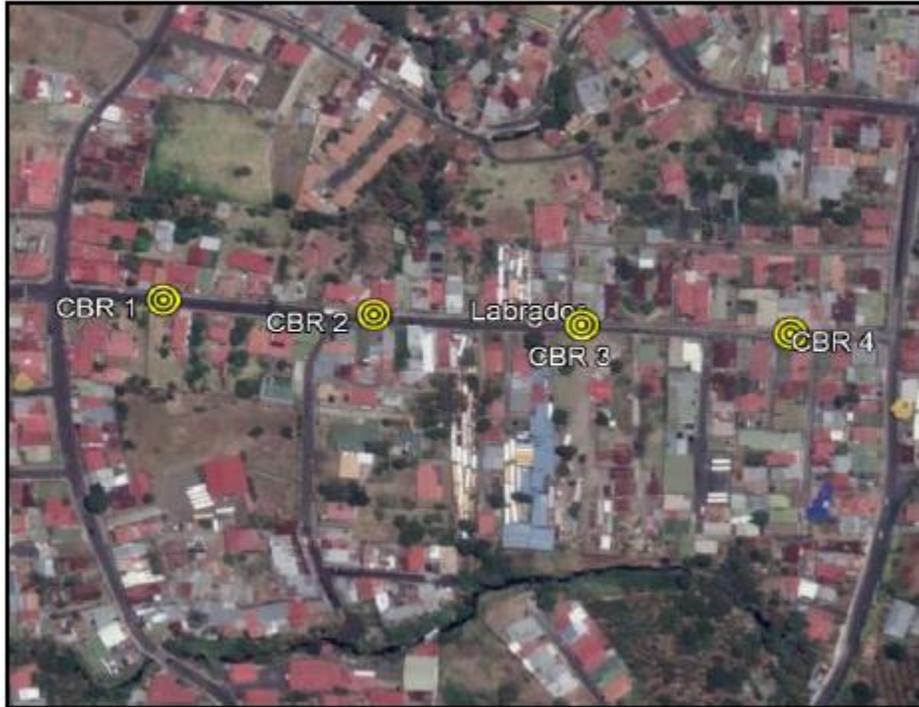
Ilustración 108. Levantamiento de Deflectometría FWD en la red vial del Distrito Mercedes Norte
 Fuente: LanammeUCR (2017).



*Ilustración 109. Comparación IRI vrs FWD del mismo tramo T:23 (Calle San Isidro)
Fuente: elaboración propia (2020).*

De la imagen anterior se refleja que, a nivel funcional y estructural, existen problemas en esta calle con un estado regular y malo respectivamente. Dicho estado ha empeorado desde el 2017 hasta la fecha; por la teoría de la curva de vida de un pavimento, una vez entra en zona crítica, se deteriora inmediatamente. Es por esta razón que se consideran ensayos destructivos para poder determinar el estado de la estructura de pavimento en sí y definir si la carretera es un caso real de reconstrucción o si se puede rehabilitar para reducir los costos de intervención.

Por lo anterior se procedió a realizar ensayos DCP, donde los resultados se correlacionaron con los de CBR in-situ, que determinaron resultados de una subrasante con muy poca capacidad de soporte. A continuación, se adjuntan los resultados y ubicación de estos, en la **Ilustración 110** y **Tabla 59**.



*Ilustración 110. Croquis de ubicación de ensayos DCP in-situ sobre tramo T:23 (Calle San Isidro)
Fuente: TecnoSolum Consultores Geotécnicos (2019).*

Tabla 59. Aceptabilidad de los resultados CBR

Sondeo	CAPA	Espesor (cm)	CBR (%)	Comentario
DCP1	1	40,8	74,3	CBR por encima del óptimo. Compactación del lado seco respecto al óptimo. La densidad no es la óptima, no obstante el valor de CBR se considera aceptable
	2	47,2	3,3	Material con CBR muy distinto al analizado. Se infiere que se trata del material natural de sitio encontrado a partir de los 40cm
DCP2	1	36,4	95,0	CBR por muy por encima del óptimo. Compactación del lado seco respecto al óptimo. La densidad no es la óptima, se espera mayor cantidad de vacíos. No aceptable
	2	53,5	5,4	Material con CBR muy distinto al analizado. Se infiere que se trata del material natural de sitio encontrado a partir de los 36cm
DCP3	1	29,3	95,0	CBR por muy por encima del óptimo. Compactación del lado seco respecto al óptimo. La densidad no es la óptima, se espera mayor cantidad de vacíos. No aceptable
	2	64,6	6,9	Material con CBR muy distinto al analizado. Se infiere que se trata del material natural de sitio encontrado a partir de los 30cm
DCP4	1	6,6	72,0	CBR por encima del óptimo. Compactación del lado seco respecto al óptimo. La densidad no es la óptima, no obstante el valor de CBR se considera aceptable
	2	31,8	10,7	Material con CBR muy distinto al analizado. Se infiere que se trata del material natural de sitio encontrado a partir de los 30cm
	3	9,1	42,8	Material con CBR muy distinto al analizado. Se infiere que se trata del material natural de sitio encontrado a partir de los 30cm. El aumento de densidad se asocia con una capa de 9cm de material naturalmente compactado
	4	43,7	6,1	Material con CBR muy distinto al analizado. Se infiere que se trata del material natural de sitio encontrado a partir de los 30cm (desde la capa 2)

Fuente: TecnoSolum Consultores Geotécnicos (2019).

Al tener valores de DCP y su correspondiente CBR alejados del valor obtenido como óptimo, se debe dudar de la capacidad de soporte del material y este se debe intervenir. Se deben considerar técnicas como la sustitución o estabilización, por ejemplo, se puede utilizar óxido de calcio (cal comercial) para controlar el contenido de humedad.

En el caso estudiado, los puntos 2 y 4 cuentan con una condición de compactación que no es la óptima, al estar del lado seco de la curva de densidad vrs humedad. La condición seca posee la ventaja de que se ve reflejada en un aumento en la capacidad de soporte (en la mayoría de los casos), pero se rechaza desde el punto de vista de compactación ya que presenta una condición de vacíos por debajo del óptimo. Las variaciones en humedad producto de lluvias o fugas en tuberías pueden causar afectación en estos vacíos; se producen ciclos de ocupación y salida de agua y aire, lo cual permite deformaciones y pérdidas de capacidad de soporte. Ante esto, es recomendable que, si no es posible realizar una re-compactación con condiciones de humedad y aplicación de energía óptima, a realizar sobre el tramo de carretera estudiado (al contar ya con cobertura de asfalto), entonces, al menos se debe dar prioridad a la protección del material ya colocado, de manera que no sufra efectos de variación de humedad. Lo anterior funciona dado que, como se menciona, la condición seca posee la ventaja de aumentar la capacidad de soporte pese, a que no cuenta con la densidad óptima.

Para poder trabajar el tramo de 517m que mide la calle San Isidro fue dividido en 3 tramos homogéneos para estudiarlo de forma focalizado y tomar la mejor decisión de intervención:

Segmentación de Calle San Isidro en 3 Tramos Homogéneos:

El tramo de red seleccionado mide 517m y este, al ser tan pequeño, comparte condiciones climatológicas, geometría similar, materiales constructivos similares, mismo TPD, pero al realizar la auscultación se determinaron deterioros diferenciados, también al hacer el cálculo del PCI se determinaron algunas semejanzas entre las UM. Todo lo anterior considerado para segmentar dicha red en 3 tramos homogéneos:

Tramo 1: de estación 0+000 a 0+172 (PCI promedio de 95, carretera en excelente estado con reparaciones menores en bacheo).

Tramo 2: de estación 0+172 a 0+345 (tramo sin cordón y caño en una parte con PCI promedio de 44, tramo considerado en condición regular por sus deterioros, tiene patrones de roderas, agrietamiento longitudinal, bacheo mal hecho y desgaste superficial)

Tramo 3: de estación 0+345 a 0+517 (tramo sin cordón de caño, con PCI promedio de 39, una condición mala que posee deterioros como roderas, bacheo mal hecho y agrietamiento longitudinal).

Estrategias de Intervención para Mantenimiento, Reforzamiento, Rehabilitación y Reconstrucción.

Las técnicas se escogen de acuerdo con el tipo de necesidad que se requiera solventar. Para cada tipo de deterioro en el pavimento habrá una técnica específica que permita detenerlo o evitar que aparezca cuando se aplica oportunamente.

De acuerdo con la MRR donde se recuentan las técnicas que permiten recuperar el nivel de servicio de un pavimento, entre los tipos de acciones se encuentran:

- Mantenimiento
- Rehabilitación Menor (sobrecapas o reforzamiento)
- Rehabilitación Mayor
- Reconstrucción

Niveles de Intervención por Tramo Homogéneo.

- Tramo 1: de estación 0+000 a 0+172.

Según se muestra en la escala, el pavimento presenta un estado considerado como excelente - bueno, (PCI promedio de 95). Por lo que se concluye que este tramo no ocupa ningún trabajo de momento, solamente se propone el monitoreo constante del segmento.

- Tramo 2: de estación 0+172 a 0+345.

Según los deterioros y el grado de severidad encontrados en este tramo homogéneo, se toma como una condición regular (PCI promedio de 44). Se propone realizar un recarpeteo para este tramo, por medio de sustitución de capa asfáltica y construcción de cordones de caño. También se podría considerar aplicar la intervención del tramo 3 que está en peor condición que este, esto por la cercanía y por la poca longitud de cada tramo homogéneo.

- Tramo 3: de estación 0+345 a 0+517.

Según los deterioros y el grado de severidad encontrado en este tramo homogéneo (PCI promedio de 39). Se toma como una condición mala, para lo cual se podría proponer realizar una rehabilitación mayor, por medio de una estabilización hasta el nivel de la capa granular afectada, construcción de cordones de caño y la implementación de una nueva carpeta de mezcla asfáltica en caliente.

Para aplicar alguna estrategia de intervención escogida, se tiene el siguiente cálculo del costo anual uniforme equivalente para distintos escenarios 1 y 2. Así se puede comparar cual intervención puede ser

más económicamente efectiva para solucionar el problema dado en cada tramo. Los costos unitarios para cada actividad fueron obtenidos del Programa de la Red Vial Cantonal II – MOPT-BID donde se promediaron varios costos unitarios ofertados por distintas empresas del mercado como MECO, Constructora Herrera, Constructora Dinaju y otras que licitaron para el programa, el cual consideraba rutas similares a las del cantón de Heredia.

ESCENARIO 1: Intervención única en unidades homogéneas 2 y 3 con rehabilitación mayor y nada en tramo 1.

Este escenario consistió en intervenir las unidades homogéneas 2 y 3 con una rehabilitación mayor, donde se mejora la base granular con cemento portland para formar una base estabilizada y se coloca una nueva carpeta asfáltica, esto más no hacer nada en el tramo 1. En la **Tabla 60** se muestra el desglose:

Tabla 60. *Intervención única en unidades homogéneas 2 y 3 con rehabilitación mayor y nada en tramo 1*

Actividades Constructivas	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (€)	Costo Total (€)
Recuperación de Base Granular y Carpeta Existente	m2	2070	€25,000.00	€51,750,000.00
Cemento portland para Base Estabilizada	Ton	41.4	€210,000.00	€ 8,694,000.00
Suministro, Colocación y Compactación de Base Granular	m3	414	€28,000.00	€11,592,000.00
Pavimento Bituminoso en Caliente	Ton	347.76	€60,000.00	€20,865,600.00
Material de Secado	m3	20.7	€25,000.00	€517,500.00
Emulsión Asfáltica para Imprimación	litros	2070	€400.00	€828,000.00
Cordón de Concreto de Cemento Hidráulico de 150 mm de Espesor en ambas márgenes de tramo 2	ml	344	€22,000.00	€7,568,000.00
			TOTAL	101,815,100.00

Fuente: elaboración propia (2020).

Con la Ecuación 1 y Ecuación 2 se procede a realizar el cálculo del CAUE:

$$\text{CAUE} = \text{VA} * i\%$$

Donde CAUE → Costo Anual Uniforme Equivalente

VA → Valor Actual

I% → tasa de interés anual

n → Vida útil

$$VA = [INVERSIÓN INICIAL] + \left[MONTO MANT. ANUAL * \frac{(1 - (1 + i\%)^{-n})}{i\%} \right] - [VR * (1 - I\%)^{-n}]$$

Donde VR → Valor Residual (no aplicable en este ejercicio académico por razones indicadas en la sección correspondiente al CAUE).

$$VA = [\$101.815.100,00] + \left[\$4.816.000,00 * \frac{(1 - (1 + 12\%)^{-10})}{12\%} \right]$$

$$CAUE = VA * i\%$$

$$CAUE = \$129.026.574,10 * 12\%$$

$$CAUE = \$15.483.188,89 / \text{Año}$$

Tabla 61. Resumen de CAUE Escenario 1

Inversión Inicial	¢101,815,100.00
Tasa Interés	12%
Monto Mantenimiento Anual	¢4.816.000,00
Vida Útil	10 años
Valor Actual (VA)	¢ 129.026.574,10
CAUE	¢15.483.188,89

Fuente: elaboración propia (2020).

Tomando en cuenta la inversión inicial y la estimación de costos de mantenimiento anual de todo el tramo en estudio, se estimó un CAUE de cerca de ¢15.5 millones de colones para un periodo de 10 años propuestos como vida útil de la intervención por ejecutar.

Nota: no se establece un valor residual o de rescate de la intervención propuesta para este ejercicio con fines académicos.

ESCENARIO 2: Intervención en Unidad Homogénea 2 con rehabilitación menor

Tabla 62. Intervención en Unidad Homogénea 2 con rehabilitación menor

Actividades Constructivas	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (¢)	Costo Total (¢)
Perfilado	M2	1035	¢1487.00	¢1.539.045,00
Pavimento Bituminoso en Caliente	Ton	174	¢60,000.00	¢10.432.800,00
Emulsión Asfáltica para Imprimación	litros	1035	¢400.00	¢414.000,00
Material de Secado	m3	10.35	¢25,000.00	¢258.000,00
			TOTAL	¢12.644.595,00

Fuente: elaboración propia (2020).

Cálculo Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE

$$CAUE = VA * i\%$$

$$VA = [INVERSIÓN INICIAL] + \left[MONTO MANT. ANUAL * \frac{(1 - (1 + i\%)^{-n})}{i\%} \right] - [VR * (1 - I\%)^{-n}]$$

Donde VR → Valor Residual (no aplicable en este ejercicio académico por razones indicadas en la sección correspondiente al CAUE).

$$VA = [\$12.644.595,00] + \left[\$ 2.408.000,00 * \frac{(1 - (1 + 12\%)^{-5})}{12\%} \right]$$

$$CAUE = VA * i\%$$

$$CAUE = \$26.250.332,05 * 12\%$$

$$CAUE = \$3.150.039,85 / \text{Año}$$

Tabla 63. Resumen de CAUE de intervención en unidad homogénea 2 con rehabilitación menor

Inversión Inicial	¢12.644.595,00
Tasa Interés	12%
Monto Mantenimiento Anual	¢ 2.408.000,00
Vida Útil	5 años
Valor Actual (VA)	¢26.250.332,05
CAUE	¢3.150.039,85

Fuente: elaboración propia (2020).

Tomando en cuenta la inversión inicial y la estimación de costos de mantenimiento anual de todo el tramo en estudio, se estimó un CAUE de cerca de ¢3.15 millones de colones para un periodo de 5 años propuestos como vida útil de la intervención por ejecutar.

Nota: no se establece un valor residual o de rescate de la intervención propuesta para este ejercicio con fines académicos.

Tabla 64. Intervención en Unidad Homogénea 3 con rehabilitación mayor

Actividades Constructivas	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Recuperación de Base Granular y Carpeta Existente	m2	1038	25,000.00	¢25.950.000,00
Cemento portland para Base Estabilizada	Ton	20.76	210,000.00	¢4.359.600,00
Suministro, Colocación y Compactación de Base Granular	m3	207.6	28,000.00	¢5.812.800,00
Pavimento Bituminoso en Caliente	Ton	175	60,000.00	¢10.500.000,00

Material de Secado	m3	10.38	25,000.00	¢259.500,00
Emulsión Asfáltica para Imprimación	litros	1038	400.00	¢415.200,00
Cordón de Concreto de Cemento Hidráulico de 150 mm de Espesor	ml	346	22,000.00	¢7.612.000,00
			TOTAL	¢54.909.100,00

Fuente: elaboración propia (2020).

Cálculo Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE

$$CAUE = VA * i\%$$

$$VA = [INVERSIÓN INICIAL] + \left[MONTO MANT. ANUAL * \frac{(1 - (1 + i\%)^{-n})}{i\%} \right] - [VR * (1 - I\%)^{-n}]$$

Donde VR → Valor Residual (no aplicable en este ejercicio académico por razones indicadas en la sección correspondiente al CAUE).

$$VA = [¢54.909.100,00] + \left[¢ 2.408.000,00 * \frac{(1 - (1 + 12\%)^{-10})}{12\%} \right]$$

$$CAUE = VA * i\%$$

$$CAUE = ¢68.297.287,05 * 12\%$$

$$CAUE = ¢8.195.674,45 / \text{Año}$$

Tabla 65. Resumen CAUE de intervención en unidad homogénea 3 con rehabilitación mayor

Inversión Inicial	¢54.909.100,00
Tasa Interés	12%
Monto Mantenimiento Anual	¢ 2.408.000,00
Vida Útil	10 años
Valor Actual (VA)	¢68.297.287,05
CAUE	¢ 8.195.674,45

Fuente: elaboración propia (2020).

Tomando en cuenta la inversión inicial y la estimación de costos de mantenimiento anual de todo el tramo en estudio, se estimó un Costo Anual Uniforme Equivalente de cerca de ¢8.2 millones de colones para un periodo de 10 años propuestos como vida útil de la intervención por ejecutar.

Nota: no se establece un valor residual o de rescate de la intervención propuesta para este ejercicio con fines académicos.

Entonces, si se analiza la situación para los tramos 2 y 3, si se atienden por separado, se tendría que sumar los CAUES debido a que son diferentes intervenciones con diferentes plazos de vida útil, por lo que se tendría que analizar que es más barato, hacer intervenciones distintas en diferentes plazos para que a los 10 años mantenga la carretera en un estado aceptable o hacer una sola intervención con un periodo de vida útil de 10 años.

Con estos últimos dos cálculos de intervenciones distintas se puede calcular un CAUE total para un periodo de 10 años, como se muestra en la

Tabla 66.

Tabla 66. CAUE total para tramos 2 y 3

CAUE	CAUE / vida útil 10 años
Tramo 2	2* $\text{C}\$3.150.039,85=$ $\text{C}\$6.300.079,70$
Tramo 3	$\text{C}\$8.195.674,45$
Total	$\text{C}\$14.495.754,15$

Fuente: elaboración propia (2020).

$\text{C}\$14.495.754,15$ sería lo que debe invertir la UTGVM por año para los dos tramos: tramo 2 con rehabilitación menor y tramo 3 con rehabilitación mayor en un periodo de análisis de 10 años para compararlo con la primera intervención que sería haciendo una rehabilitación mayor a ambos tramos 2 y 3 de un solo que costaría: $\text{C}\$15.483.188,89$. Existe una diferencia de $\text{C}\$987.434,74/\text{año}$.

Es por esto que después del análisis técnico se determinó que es necesario implementar dos distintas estrategias de intervención para todo el tramo en estudio (unidades homogéneas 2 y 3); para el tramo 3 una rehabilitación mayor que consiste en estabilización de la base y sobrecapa, mientras que el tramo 2 solamente perfilado y capa asfáltica; sin embargo, en caso de requerir priorizar por motivos meramente económicos, se utilizará el criterio de priorización usando el Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que implicaría intervenir primero la unidad homogénea 3 debido a su condición de deterioro.

Sin embargo, en caso que la proyección anual de recursos económicos con que cuenta la UTGVM del cantón de Heredia, asignados según la Ley 8114 y Ley 9329, sea suficiente para disponer de poco menos de 1 millón de colones adicionales por año, es posible ejecutar la Opción de Proyecto #1 que implicaría una única intervención (según la comparación de CAUES realizada), reduciendo así los costos de operación de los usuarios en cuanto a demoras, accidentabilidad, etc., que puede implicar dos intervenciones, una en el

Año 0 y otra en el Año 5 [el período de análisis es de 10 años para ambas intervenciones, pero la vida útil de la opción de proyecto #2 es de 5 años para el caso del Tramo 2.

Ahora bien, de acuerdo con lo indicado al inicio. Mercedes posee un 18 % de los recursos anualmente y Calle San Isidro se encuentra ahí. Su segregación de recursos es la mostrada en la

Tabla 67.

Tabla 67. Segregación de Recursos para Distrito Mercedes

Distrito	Orden (PAJ)	% Recursos	Total	70 % Nivel de red	30% Nivel Proyecto
Mercedes	4	18.00%	€198,000,000.00	€138,600,000.00	€59,400,000.00

Fuente: elaboración propia (2020).

Como se puede observar, no alcanzaría ejecutar el proyecto de Calle San Isidro si fuera por ese monto disponible, pero de acuerdo con las políticas generales del SGP donde se indicó lo siguiente:

De acuerdo con el monto respectivo para mantenimiento y conservación de la red 70% y para construcción de proyectos 30% por distrito. El 30% dado a cada distrito puede ser analizado y en caso de no ocuparse un proyecto en algún distrito específico, esos recursos se podrán invertir en un proyecto de otro distrito que sea urgente y de esa forma se refuerza el presupuesto para poder ejecutarlo. También está la opción de utilizar todo el 30% para hacer un solo proyecto cantonal (todos los distritos se benefician por el flujo de la red). De igual forma si el 30% en cualquiera de los distritos no se ejecutará como proyectos específicos se ejecutarán como mantenimiento y conservación de la red vial en los mismos distritos o según lo determine el la Junta Técnica del SGP de forma planificada y justificada. (p. 166)

Entonces a sabiendas que se eligieron 10 proyectos y dentro de estos 10 el que más urge es el de Calle San Isidro por su condición y denuncias de los contribuyentes, se realiza una selección utilizando los criterios de priorización y la política mencionada del SGP, quedando de la forma indicada en la **Tabla 68.**

Tabla 68. Lista de 10 proyectos seleccionados de acuerdo con las políticas del SGP

#	DIST RIT O	UBI CA CIÓN N	cod.camino	NI VE L	INTER VENCIÓN	ACTIVIDAD	DISPON IBLE EN PROYE CTOS	COSTO TOTAL	SALDO PARA NIVEL RED	NIVEL DE RED
1	Me rce des	Calle San Isidro	401.017	PR OY EC TO	RECON STRUC CIÓN	REHABILITAC IÓN MAYOR Y MENOR	€135,300,000.00	€101,815,100.00	€33,484,900.00	€172,084,900.00
2	Me rce des	Calle San Martín	401.016	PR OY EC TO	REHAB ILITAC IÓN MAYO R	RECICLADO Y REFUERZO		NO ALCANZA SE HACE EL OTRO AÑO	-	
3	San Fra nci sco	Urb. Los Itabos	401.026	PR OY EC TO	REHAB ILITAC IÓN MAYO R	ESTABILIZACI ÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO	€75,900,000.00	€75,900,000.00	SE DEBE ANALIZAR, MOMENTANEAMENTE €177,100,000.00, EN CASO QUE SOBRE DINERO DEL MONTO DISPONIBLE EN PROYECTOS SE LE DEBERÁ SUMAR AL MONTO DISPONIBLE A NIVEL DE RED	€177,100,000.00

Continuación de Tabla 68.

4	San Francisco	Urb. Santa Cecilia	401.085	PROYECTO	REHABILITACIÓN MAYOR	RECICLADO Y REFUERZO			
5	Heredia	Calle Guayabal	401.044	PROYECTO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO	€66,000.00	€66,000.00	SE DEBE ANALIZAR, MOMENTANEAMENTE €154,000,000.00 EN CASO QUE SOBRE DINERO DEL MONTO DISPONIBLE EN PROYECTOS SE LE DEBERÁ SUMAR AL MONTO DISPONIBLE A NIVEL DE RED
6	Heredia	Avenida 15	401.052	PROYECTO	REHABILITACIÓN MAYOR	ESTABILIZACIÓN CAPAS GRANULARES Y REFUERZO			

Continuación de Tabla 68.

7	Va	Calle	PR	REHAB	ESTABILIZACI	€52	€52,	SE DEBE ANALIZAR, MOMENTANEAMENTE €123,200,000.00 EN CASO QUE SOBRE DINERO DEL MONTO DISPONIBLE EN PROYECTOS SE LE DEBERÁ SUMAR AL MONTO DISPONIBLE A NIVEL DE RED	€123,200,000.00
	ra	San	OY	ILITAC	ÓN CAPAS	,800	800,		
	Bla	Rafa	EC	IÓN	GRANULARES	,000	000.		
	nca	el	TO	MAYOR	Y REFUERZO	.00	00		
8	Var	Calle	PR	REHABI	ESTABILIZACIÓ				
	a	Los	OY	LITACI	N CAPAS				
	Bla	Frese	EC	ÓN	GRANULARES Y				
	nca	ros	TO	MAYOR	REFUERZO				
9	Ull						€17	€177,100,000.00	
	oa						7,10		
1	Ull						0,00		
0	oa						0.00		
						Σ	€29		€803,484,900.00
							6,51		
							5,10		
							0.00		
						TO		€1,100,000,000.00	
						TA			
						L			

Fuente: elaboración propia (2020).

De acuerdo con la tabla anterior, los proyectos de 9 y 10 de Ulloa se removieron de la planificación debido a que estos adquirirían un nivel de importancia de segundo nivel por sus notas J y jerarquía del tramo. El monto que correspondía a Ulloa, a nivel proyecto, se le sumó a Mercedes para poder ejecutar el proyecto Calle San Isidro, con un total de ¢135,300,000.00. Ulloa solo tendrá ese año gestión a nivel de red con ¢177,100,000.00 para actividades de mantenimiento y rehabilitaciones menores en los tramos que se obtengan del análisis para dicho nivel, no tendrá proyectos de rehabilitaciones mayores o reconstrucciones.

Los otros distritos poseen proyectos, pero habría que ver cuánto costaría cada uno y hacer un análisis similar al ejecutado para ver si se realiza alguno de los seleccionados, situación que se escapa del alcance de este proyecto. Sin embargo, en la tabla anterior, se muestran los recursos disponibles. Se podría valorar la ejecución de todos esos proyectos o disminuirlos a los que se puedan alcanzar en un año y utilizar saldos en gestión a nivel de red. En todo caso, los proyectos que no se lleguen a ejecutar se programarían para el año siguiente y así sucesivamente. Al final de cuentas, el monto completo para ejecutar es de ¢1,100,000,000.00 sumando la gestión a nivel de red y proyecto.

De esta forma se puedan generar listas de proyectos y planes de conservación viales a nivel cantonal considerando los 3 niveles de gestión: operativo, táctico y estratégico, ya que se podría planificar a través del tiempo con planes anuales, quinquenales y hasta de 20 años plazo, invirtiendo en todos los distritos de una forma ordenada, inteligentemente y, sobre todo, de forma transparente, ya que al ser recursos públicos se demostraría su inversión con respaldo técnico.

5. CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con la elaboración del SGP-SIG se pudo generar una base de datos con la información semilla para comenzar a gestionar los pavimentos flexibles del cantón de una forma proactiva y no reactiva a través del tiempo. Además, se organizó la información vial que será de uso diario para la UTGVM ya que permite documentar información, consultar, analizar y planificar, a futuro, las intervenciones viales y, lo más importante, a través de este se puede priorizar y planificar obras según el nivel de importancia y condición de los pavimentos del cantón, por lo que permite tomar decisiones de una forma más efectiva.

Se logró incorporar nuevas opciones de intervención vial mediante la matriz MRR para que el municipio pueda implementarlas, según sea la mejor opción técnica y económicamente. Entre estas: Sello de grietas, T.S., reciclado reforzado y estabilización de capas granulares.

El SGP-SIG propuesto permite gestionar la información de una forma más real ya que se encuentra georeferenciada a cada pavimento flexible del cantón donde, gracias a las herramientas de un SIG, se puede representar, así como esta a través de mapas, gráficos y tablas para la elaboración de informes técnicos de gestión de pavimentos, controlar y analizar infinidad de escenarios y modelos. Además, se puede manipular desde cualquier dispositivo móvil como *tablets*, celulares o computadoras, lo cual permite, de forma visual, la comprensión y accesibilidad de la información para los usuarios.

Para efectos de evaluación de la red solamente se utiliza la combinación de los parámetros IRI, FWD, *Grip Number* y TPD. Sin embargo, se minimizará el cálculo del FWD debido a que las condiciones estructurales en estos pavimentos cantonales se mantienen, casi no se deforman por las pocas cargas a los que son sometidos, el tránsito pesado viaja por las rutas nacionales generalmente y las deflexiones en las rutas cantonales son mínimas, por lo que el FWD se puede considerar más a nivel proyecto y a nivel de red solamente cuando se quiera evaluar una sección importante de la red vial. A nivel de red se considera fuertemente la combinación del tránsito y el parámetro funcional que es más juzgado por la población, porque es el que verdaderamente se ve y genera una perspectiva que permite criticar los pavimentos, por lo que para cualquier municipalidad de este país es mejor mantener el IRI a nivel de megatextura (percepción del usuario) en estado bueno o excelente a nivel de red y hacer mejoras focalizadas a nivel proyecto cuando se requieran. Además, si no se le da mantenimiento a la red, tanto periódico como rutinario, de acuerdo con la vida útil de un pavimento y la curva teórica de deterioro, este se podría deteriorar rápidamente en el tiempo y cada día costaría más caro una intervención más elaborada.

Las políticas del SGP implementadas a nivel social, económico, ambiental y técnica permiten que se pueda priorizar a través de un análisis jerárquico (PAJ) la distribución de los recursos según el propósito de una carretera: maximizar la eficiencia de la industria, comercio y turismo, lo cual mejora la calidad de vida de la población. Estas políticas consideran los factores sociales, ambientales, técnicos y económicos que deben privar en un proceso de toma de decisiones para ser equitativo y razonable con la inversión de recursos públicos, debido que los contribuyentes pagan sus impuestos y merecen sus pavimentos en buenas condiciones. Sin embargo, a nivel global y de red existen rutas que sí requieren una atención prioritaria por lo que, con esta propuesta, se logró filtrar las obras que requieren ser intervenidas por distrito y se segregaron los recursos económicos disponibles para poder tomar las decisiones y priorizar cada uno de estas con la mejor técnica de conservación de pavimentos flexibles. Esta metodología aplicada se propuso para la Municipalidad de Heredia y se podría implementar en otros municipios, siempre y cuando se logre contar con la información de usos de suelo por actividades en la región y el inventario vial con al menos un primer diagnóstico de la red con las condiciones actuales, aplicando la medición de parámetros IRI, FWD, PCI, *Grip Number* y TPD.

Las notas J permiten desarrollar una metodología y forma de resumir el estado de condición de cada tramo de carretera cantonal, según su capacidad funcional (mediante parámetros IRI, PCI y *Grip Number*) y capacidad estructural (mediante parámetro FWD), para poder distribuir las distintas intervenciones viales mediante la matriz MRR, según la importancia jerárquica por TPD de dicho tramo y poder priorizar a través de políticas y criterios de priorización del SGP.

Con la base de datos creada e información que se vaya realimentando con el paso del tiempo se podrá desarrollar modelos de desempeño propios para los pavimentos flexibles del cantón mejorando la gestión de la red vial y beneficiando la inversión de recursos de Heredia, considerando los 3 niveles de gestión: operativo, táctico y estratégico, ya que se podría planificar a través del tiempo con planes anuales, quinquenales y hasta de 20 años plazo.

La tramificación en segmentos homogéneos permite gestionar la red vial de mejor manera ya que se pueden distribuir los recursos de una forma más factible e invertir equitativamente por distrito, atendiendo diversos tramos en condiciones no aceptables hasta agotar los recursos disponibles y permitiendo planificar, a futuro, los tramos que no se lograron atender por el alcance limitado. Como se pudo observar en el tramo de la red seleccionado, de tan solo 517 metros de longitud, donde se comparte misma zona climática, urbana, geometría y materiales similares, se evidenciaron patrones de deterioros similares en diferentes secciones por lo que, a través de estos, se pudo tramificar en 3 secciones homogéneas para facilitar el análisis, trabajo de estas y proponer una solución económica y técnicamente más factible. Sin embargo, la tramificación a nivel de red en segmentos muy pequeños o finos puede ser no tan práctico, podría complicar la toma de

decisiones y la logística de ejecución de intervenciones. Por esto, cada camino debe analizarse independientemente.

El tramo seleccionado de 517 metros de Calle San Isidro en Mercedes Norte de Heredia se debe intervenir utilizando técnicas de rehabilitación. Si los tramos por rehabilitar no se atienden pronto el pavimento entrará en una fase donde se deteriorará rápidamente hasta llegar a un nivel avanzado donde solo quede la opción de reconstruirlo, aumentando los costos.

El pavimento del tramo seleccionado presenta problemas con deterioros estructurales y funcionales, comprobado con ensayos de DCP, CBR, IRI y FWD. Además, con la auscultación visual y cálculos del PCI se obtuvieron resultados lógicos con respecto del estado de la calle y cada tramo reflejó su condición con su nota obtenida de PCI, por lo que se demostró que la metodología II propuesta puede ser muy eficiente a nivel proyecto, sin embargo, al ser focalizada requiere mayor tiempo y recurso humano.

Se determinó, mediante el caso de estudio, que con los cálculos de los diferentes CAUES es necesario implementar dos distintas estrategias de intervención para todo el tramo en estudio (unidades homogéneas 2 y 3); para el tramo 2 una rehabilitación mayor que consiste en estabilización de la base y sobrecapa; mientras que el tramo 3 solamente perfilado y sobrecapa; sin embargo, en caso de requerir priorizar por motivos meramente económicos, se utilizará el criterio de priorización usando el Índice de Condición del Pavimento (PCI), lo que implicaría intervenir primero la unidad homogénea 2 (Estacionamiento 0+172 a 0+345) debido a su condición de deterioro.

Se pudo determinar que el indicador PCI y la metodología I, empleándose el equipo Geo 3D, con cálculos en oficina con hojas de cálculo, arrojan resultados conservadores ya que casi todos los pavimentos reflejaron condición buena y excelente, se pueden observar los resultados en los mapas por distrito. Considerándose conservador. No obstante, a nivel proyecto y con auscultación visual en sitio como se planteó en la metodología II del sistema, el método es muy eficiente. Se refleja en los resultados del caso de estudio. Por esto, es mejor utilizar tanto parámetros funcionales como estructurales en conjunto con la auscultación visual en sitio para tomar mejores decisiones.

5.2. Recomendaciones

Se debe realizar nuevamente el estudio del diagnóstico vial y ojalá en la misma época del año en cada periodo indicado en las políticas técnicas, esto bajo el supuesto de que las condiciones no varían mucho en condiciones climatológicas, capacidad de los suelos, etc. Sin embargo, se recomienda hacerse cada 2 años, podría hacerse en invierno completamente y una porción en verano para generar factores de variación estacional y medir la capacidad de soporte de los suelos para poder en unos años establecer modelos del comportamiento de estos. La realización de un nuevo diagnóstico vial permitirá actualizar la base de datos con los resultados IRI, FWD, TPD, *Grip Number*, PCI y, además, permitirá ir generando información para tener un histórico que mejore la gestión en el futuro.

Se debe seguir alimentando la base de datos y generar a futuro un histórico con el paso del tiempo que permita desarrollar futuros modelos de desempeño de los pavimentos del cantón, implementar metodología mecanística empíricas para diseño y análisis estructural de estos y también generar planes estratégicos de inversión a largo plazo basados en modelos de desempeño propios de los pavimentos del cantón. De esta forma, se podrían desarrollar análisis por ciclos de vida de los pavimentos y obtener mejores resultados a nivel de inversión de recursos ya que los datos serían más focalizados en la red vial cantonal de Heredia.

A futuro, conociendo rendimientos e inversiones, se puede considerar la compra de algunos equipos para la UTGV y mejorar procesos constructivos de diversas técnicas u opciones de conservación y reconstrucción vial con el fin de no depender de subcontratos y poder atender la red vial de forma más efectiva, principalmente para realizar técnicas de sello de grietas y fisuras, perfilado y colocación de sobrecapas. El municipio cuenta con *back hoe*, vagonetas, niveladora únicamente. Para esto también se debe considerar la mano de obra (operadores de las nuevas máquinas).

Los tratamientos superficiales propuestos se recomiendan para rutas de poco tránsito, en este caso terciarias cuando económicamente sea la mejor opción después de realizar un análisis económico y técnico. No se deben colocar en temporada de invierno, solamente en verano. Esto dado el nivel tecnológico actual del país, pero podría cambiar.

Se recomienda calcular el indicador PCI a nivel de proyecto de forma focalizada ya que, de esta forma, se puede estudiar y analizar un tramo de forma correcta, considerando todos los tipos de deterioro que se pueden determinar en una inspección de auscultación visual a diferencia de utilizar la técnica que utilizó el LanammeUCR y metodología I de este proyecto, donde el Geo 3D toma vídeo y fotos pero los daños no se aprecian en su totalidad desde una computadora, por lo que puede ser conservador y no se apega a lo real. También el indicador FWD se recomienda calcularlo a nivel de red de forma parcial (principalmente en rutas primarias o tramos de red donde sea necesario e importante) y totalmente a nivel proyecto, ya que las

condiciones estructurales en estos pavimentos cantonales de Heredia se mantienen, casi no se deforman por las pocas cargas a los que son sometidos, el tránsito pesado viaja por las rutas nacionales generalmente y las deflexiones en las rutas cantonales son mínimas.

Se recomienda generar una sección adicional al SGP-SIG para pavimentos no clasificados como lastre, rígidos y semi-rígidos con el fin de incorporar estas opciones constructivas en carreteras cantonales. Para esto se deberán adaptar los campos del SIG, incorporar nuevas políticas, la matriz MRR con los tipos de deterioros, umbrales y criterios de decisión e intervención. Además, se puede ir trabajando en un sistema de gestión de puentes mediante el SIG municipal con una tabla adicional que se pueda concatenar o enlazar a la base de datos de pavimentos y, de esta forma, ir generando un solo sistema de gestión para que, a futuro, se puedan controlar todos los activos de forma georreferenciada. Para implementar esto se consideran cambios mayores en el SIG, por lo que deberán considerar las indicaciones respecto de cambios indicadas en este proyecto.

Se deberá realizar una investigación local de los pavimentos del cantón a largo plazo donde se puedan obtener datos reales de plazos de vida útil para cada tipo de intervención. Esto, sin duda alguna, mejorará el funcionamiento del SGP-SIG a la hora de proyectar futuras fechas para futuras intervenciones viales.

6. CAPÍTULO VI – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AASHO. “*The AASHO road test; American Association of State highway Officials report 5 pavement research*”. Highway Research Board, American Association of State Highway Officials, 1962.
- 2 Ley N.º 5060, Ley General de Caminos Públicos. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 22 de agosto de 1972.
- 3 Ley N.º 6227, Ley General de la Administración Pública. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 02 de mayo de 1978.
- 4 Naciones Unidas, CEPAL (1994). Caminos. *Un Nuevo Enfoque Para La Gestión y Conservación de Redes Viales*. Santiago de Chile, Chile.
- 5 Ley N.º 7494, Ley de Contratación Administrativa. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 02 de mayo de 1995.
- 6 Solminihač Tampier, Hernán E. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- 7 Ley N.º 8114, Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 04 de julio del 2001.
- 8 Chamoun, Y. (2002). *Administración Profesional de Proyectos La Guía*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- 9 Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- 10 Bull, A. (2003). *Mejoramiento de la gestión vial con aportes específicos del sector privado*. CEPAL - SERIE Recursos Naturales e Infraestructura, volumen N.º 56, 5-58.
- 11 *Federal Highway Administration. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Program*. [Manual de deterioros] Washington D.C. Estados Unidos de América. (2003).
- 12 AASHTO. (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. A Manual of Practice*. [Guía de diseño de pavimento empírico-mecanicista. Manual de Práctica] Washington D.C. Estados Unidos de América.
- 13 MOPT. *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010*. (2010).
- 14 SIECA. *Manual Centroamérica de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial* (2011).
- 15 Zúñiga, Juan; Trejos, José (2011). *Conteos Vehiculares*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes <http://www.mopt.go.cr/planificacion/#sito>.
- 16 Revista ARQHYS. 2012, 12. Concepto de pavimento. Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com. Obtenido 04, 2020, de <https://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>.
- 17 Díaz, H. (2013). Sistema Automático para la adquisición de imágenes de vías pavimentadas. *Revista Gerencia Tecnológica Informativa (GTI)*, Volumen 12 (número 32), 2013: 61-78.
- 18 Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2013). *Anuario de Información de Tránsito 2012*. Unidad de Gestión de Carreteras Dirección General de Planificación Sectorial: www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/AnuarioTránsito2012.pdf
- 19 LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal. Proyecto: LM-PI-GM-03-2014: Clasificación de los resultados obtenidos por el Deflectómetro de impacto para la evaluación estructural de la red vial cantonal. San José, Costa Rica. (2014).
- 20 Decreto N.º 38578-MOPT. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 21 de octubre del 2014.
- 21 MOPT. *Manual de Especificaciones Técnicas para Realizar el Inventario y Evaluación de la Red Vial Cantonal*. (2014).
- 22 MOPT. *Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos Carreteras y Puentes MCV-2015*. (2015).

- 23 Moya, L. (2015). *El uso de Sistemas de Información Geográfica para la planificación y gestión de infraestructura*. San José, Costa Rica.
- 24 Macea, L., Márquez, L., Morales, L. (2015). *Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo*. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVII (número 2), 223-235.
- 25 Ley N° 9329, Ley Especial Para La Transferencia De Competencias: Atención Plena y Exclusiva De La Red Vial Cantonal. Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica, San José. Costa Rica, 25 de octubre del 2015.
- 26 Cruz, W. & Pabón, C. (2016). *Gestión de Pavimentos a través de los SIG*. 18 Conferencia Colombiana de Usuarios Esri. Bogotá, Colombia.
- 27 MOPT. *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica MVA-2016*. (2016).
- 28 Rodríguez, J. (2017). *Gestión de Pavimentos: decisiones, estrategia y planificación de largo plazo. I Congreso Infraestructura de Transporte*, San José, Costa Rica.
- 29 LanammeUCR, Programa de Infraestructura del Transporte, Unidad de Gestión Municipal, Informe LM-PI-GM-INF-11-2017: Diagnóstico de la red vial cantonal de Heredia. San José, Costa Rica. (2017).
- 30 Decreto N° 40137-MOPT. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 23 de febrero del 2017.
- 31 Decreto N° 40138-MOPT. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 23 de febrero del 2017.
- 32 Decreto N° 40139-MOPT. *Diario Oficial La Gaceta de Costa Rica*, San José. Costa Rica, 23 de febrero del 2017.
- 33 PITRA LanammeUCR. *Tratamientos Superficiales como Alternativa en Rutas de Lastre*. (2017).
- 34 Poder Judicial de Costa Rica (2019). Portal Web Poder Judicial de Costa Rica: <https://www.poder-judicial.go.cr>
- 35 Municipalidad de Heredia (2019). Portal Web Municipalidad de Heredia. Heredia: <https://www.heredia.go.cr/es>
- 36 Esri, (2019). Portal Web Empresa Esri. Sistemas de Información Geográficos y sus objetivos: <https://www.esri.es>
- 37 Esri, ArcGIS I: Introducción a los SIG. (2019).
- 38 Esri, ArcGIS II: Flujos de Trabajo Esenciales. (2019).
- 39 Esri, ArcGIS III: Ejecutando Análisis. (2019).
- 40 Procuraduría General de la República (2019) Portal Web Procuraduría General de la República: <http://www.pgrweb.go.cr>
- 41 Información del Curso Planificación y Gestión Vial del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por la Ing. Fabiola Miranda Arguello, Msc. (2019).
- 42 Información del Curso Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por el Dr. Ing. Pedro Castro Fernández, MBA, MSc. (2019).
- 43 Información del Curso Sistemas de Información Geográfica Aplicado a Obras Viales del Programa de Maestría en Ingeniería Vial del TEC impartido por la Ing. Cassia Soto Montoya (2019).
- 44 Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), (2019). Portal Web Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/>
- 45 *American National Standards Institute (ANSI), Normas ASTM (American Society for Testing and Materials)*, (2019).
- 46 Solminihac, H; Echaveguren, N; Chamorro, A. (2019). *Gestión de Infraestructura Vial*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- 47 Municipalidad de Heredia, Dirección Financiera, Informes de Labores (2009-2019): Inversiones en Pavimentos. Heredia, Costa Rica (2019).
- 48 Departamento de Procesos y Sistemas PS4161 Gestión de la Producción I de la Universidad Simón Bolívar (2020) Portal Web de la Universidad Simón Bolívar: <http://prof.usb.ve/nbaquero/Problema de PAJ.pdf>.

7. CAPÍTULO VII – APÉNDICES

7.1. Análisis PAJ de acuerdo con la metodología expuesta en la sección correspondiente.

PASO 1: Seleccionar los atributos o factores que influyen en la decisión de intervención del pavimento (aparte de la condición) y planificar inversiones por distrito. Tal y como se mencionó en la **Tabla 17**.

Factor		Factores o atributos	Razón de peso otorgado	
Distritos	Comparados contra los diferentes factores o atributos	Jerarquía Vial: primarias	Distrito con mayor número de km de rutas primarias equivale a mayor importancia	Factores Técnicos
		Jerarquía Vial: secundarias	Distrito con mayor número de km de rutas secundarias equivale a mayor importancia	
		Jerarquía Vial: terciarias	Distrito con mayor número de km de rutas terciarias equivale a mayor importancia	
		Uso de suelo comercial	Distrito con mayor cantidad de usos de suelo comercial equivale a mayor importancia	
		Uso de suelo industrial	Distrito con mayor cantidad de usos de suelo industrial equivale a mayor importancia	
		Uso de suelo turístico	Distrito con mayor cantidad de sitios turísticos, focos o centros de atracción equivale a mayor importancia	
		Uso de suelo habitacional/ vivienda	Distrito con mayor cantidad de usos de suelo habitacional / vivienda equivale a mayor importancia	
		Población	Distrito con mayor cantidad de población equivale a mayor importancia	
		Geología	Distrito con geología de mejor consistencia de suelo equivale a mayor importancia	Factores Ambientales
		Precipitación	Distrito con mayores cantidades de precipitaciones promedio equivale a mayor importancia	
		Temperatura	Distrito con mayor temperatura intermedio promedio equivale a mayor importancia	

PASO 2: Elaborar escala de comparación por pares de atributos o factores, mediante el arreglo:

Escala:

Igualmente en Importancia= 1
Moderadamente más importante = 3
Mucho más importante = 5

DISTRITO VRS DISTRITO

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCIS CO	ULLO A	VARA BLANCA	
HEREDIA		1	1	1	1	4
MERCEDES	1		1	1	1	4
SAN FRANCISCO	1	1		1	1	4
ULLOA	1	1	1		1	4
VARA BLANCA	1	1	1	1		4

SUMA	4	4	4	4	4	TIENEN LA MISMA
1/SUMA	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	IMPORTANCIA, MISMO PESO.

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCIS CO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDI O	
HEREDIA	0	0.25	0.25	0.25	0.25	1	0.2	20%
MERCEDES	0.25	0	0.25	0.25	0.25	1	0.2	20%
SAN FRANCISCO	0.25	0.25	0	0.25	0.25	1	0.2	20%
ULLOA	0.25	0.25	0.25	0	0.25	1	0.2	20%
VARA BLANCA	0.25	0.25	0.25	0.25	0	1	0.2	20%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

JERARQUIA VIAL PRIMARIAS VRS DISTRITOS

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCIS CO	ULLO A	VARA BLANCA	
HEREDIA		5	5	5	5	20
MERCEDES	0.2		3	0.3333 33333	3	6.5333333 3
SAN FRANCISCO	0.2	0.33333 3333		0.3333 33333	3	3.8666666 7

ULLOA	0.2	3	3		3	9.2
VARA	0.2	0.33333	0.33333333	0.3333		1.2
BLANCA		3333	3	33333		

SUMA	0.8	8.66666	11.3333333	6	14	
1/SUMA	1.3	0.1	0.1	0.2	0.1	

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCIS CO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDI O	
HEREDIA		0.57692	0.44117647	0.8333	0.3571428	2.2	0.44	44%
MERCEDES	0.25		0.26470588	0.0555	0.2142857	0.7845471	0.16	16%
SAN FRANCIS CO	0.25	0.03846		0.0555	0.2142857	0.5583028	0.11	11%
ULLOA	0.25	0.34615	0.26470588		0.2142857	1.0751454	0.22	22%
VARA BLANCA	0.25	0.03846	0.02941176	0.0555		0.3734288	0.07	7%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

JERARQUIA VIAL SECUNDARIAS VRS DISTRITOS

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCIS CO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA
HEREDIA		0.2	0.2	0.3333	3	3.7333333
MERCEDES	5		3	5	5	18
SAN FRANCIS CO	5	0.33333		5	5	15.333333
ULLOA	3	0.2	0.2		5	8.4
VARA BLANCA	0.3333	0.2	0.2	0.2		0.9333333

SUMA	13.333	0.93333	3.6	10.533	18	
1/SUMA	0.1	1.1	0.3	0.1	0.1	

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCIS CO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDI O	
HEREDIA		0.21428	0.05555555	0.0316	0.1666666	0.4681535	0.09	9%
		5714	6	4557	67	1		

MERCEDES	0.375		0.83333333	0.474683544	0.27777778	1.96079466	0.39	39%
SAN FRANCISCO	0.375	0.357142857		0.474683544	0.27777778	1.48460418	0.30	30%
ULLOA	0.225	0.214285714	0.055555556		0.27777778	0.77261905	0.15	15%
VARA BLANCA	0.025	0.214285714	0.055555556	0.018987342		0.31382861	0.06	6%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

JERARQUIA VIAL TERCIARIAS VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERC EDES	SAN FRANCISCO	ULLOA A	VARA BLANCA	
HEREDIA		0.2	0.2	0.2	1	1.6
MERCEDES	5		0.333333333	0.2	5	10.5333333
SAN FRANCISCO	5	3		0.2	5	13.2
ULLOA	5	5	5		5	20
VARA BLANCA	1	0.2	0.2	0.2		1.6
SUMA	16	8.4	5.733333333	0.8	16	
1/SUMA	0.1	0.1	0.2	1.3	0.1	

	HEREDIA	MERC EDES	SAN FRANCISCO	ULLOA A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.023809524	0.034883721	0.25	0.0625	0.37119324	0.07	7%
MERCEDES	0.3125		0.058139535	0.25	0.3125	0.93313953	0.19	19%
SAN FRANCISCO	0.3125	0.357142857		0.25	0.3125	1.23214286	0.25	25%
ULLOA	0.3125	0.595238095	0.872093023		0.3125	2.09233112	0.42	42%
VARA BLANCA	0.0625	0.023809524	0.034883721	0.25		0.37119324	0.07	7%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

POBLACIÓN VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	
HEREDIA		0.33333333	0.2	0.33333333	5	5.86666667
MERCEDES	3		0.2	0.33333333	5	8.53333333
SAN FRANCISCO	5	5		5	5	20
ULLOA	3	3	0.2		5	11.2
VARA BLANCA	0.2	0.2	0.2	0.2		0.8

SUMA	11.2	8.53333333	0.8	5.86666667	20	
1/SUMA	0.1	0.1	1.3	0.2	0.1	

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.0390625	0.25	0.056818182	0.25	0.59588068	0.12	12%
MERCEDES	0.267857143		0.25	0.056818182	0.25	0.82467532	0.16	16%
SAN FRANCISCO	0.446428571	0.5859375		0.852272727	0.25	2.1346388	0.43	43%
ULLOA	0.267857143	0.3515625	0.25		0.25	1.11941964	0.22	22%
VARA BLANCA	0.017857143	0.0234375	0.25	0.034090909		0.32538555	0.07	7%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

LLUVIA VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	
HEREDIA		1	1	1	0.33333333	3.33333333
MERCEDES	1		1	1	0.33333333	3.33333333
SAN FRANCISCO	1	1		1	0.33333333	3.33333333
ULLOA	1	1	1		0.33333333	3.33333333

VARA BLANCA	3	3	3	3		12
-------------	---	---	---	---	--	----

SUMA	6	6	6	6	1.33333333
1/SUMA	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCISCO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA	0	0.16666667	0.16666667	0.16666667	0.25	0.75	0.15	15%
MERCEDES	0.16666667	0	0.16666667	0.16666667	0.25	0.75	0.15	15%
SAN FRANCISCO	0.16666667	0.16666667	0	0.16666667	0.25	0.75	0.15	15%
ULLOA	0.16666667	0.16666667	0.16666667	0	0.25	0.75	0.15	15%
VARA BLANCA	0.5	0.5	0.5	0.5	0	2	0.4	40%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

TEMPERATURA VRS DISTRITOS

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCISCO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA
HEREDIA		1	1	1	0.33333333	3.33333333
MERCEDES	1		1	1	0.33333333	3.33333333
SAN FRANCISCO	1	1		1	0.33333333	3.33333333
ULLOA	1	1	1		0.33333333	3.33333333
VARA BLANCA	3	3	3	3		12

SUMA	6	6	6	6	1.33333333
1/SUMA	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8

	HERE DIA	MERC EDES	SAN FRANCISCO	ULLO A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.16666667	0.16666667	0.16666667	0.25	0.75	0.15	15%

MERCEDES	0.16666667		0.16666667	0.16666667	0.25	0.75	0.15	15%
SAN FRANCISCO	0.16666667	0.16666667		0.16666667	0.25	0.75	0.15	15%
ULLOA VARA BLANCA	0.16666667	0.16666667	0.16666667		0.25	0.75	0.15	15%
	0.5	0.5	0.5	0.5		2	0.4	40%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

USO DE SUELO COMERCIO VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA A	VARA BLANCA	
HEREDIA		3	5	5	5	18
MERCEDES	0.33333333		3	3	3	9.33333333
SAN FRANCISCO	0.2	0.33333333		3	3	6.53333333
ULLOA VARA BLANCA	0.2	0.33333333	0.33333333		3	3.86666667
	0.2	0.33333333	0.33333333	0.33333333		1.2
SUMA	0.93333333	4	8.66666667	11.33333333	14	
1/SUMA	1.1	0.3	0.1	0.1	0.1	

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA A	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.75	0.57692307	0.441176471	0.357142857	2.1252424	0.43	43%
MERCEDES	0.357142857		0.346153846	0.264705882	0.214285714	1.1822883	0.24	24%
SAN FRANCISCO	0.214285714	0.08333333		0.264705882	0.214285714	0.77661064	0.16	16%
ULLOA VARA BLANCA	0.214285714	0.08333333	0.038461538		0.214285714	0.5503663	0.11	11%
	0.214285714	0.08333333	0.038461538	0.029411765		0.36549235	0.07	7%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

INDUSTRIAL VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	
HEREDIA		1	0.333333333	0.2	1	2.53333333
MERCEDES	1		0.333333333	0.333333333	1	2.66666667
SAN FRANCISCO	3	3		0.2	5	11.2
ULLOA	5	3	5		5	18
VARA BLANCA	1	1	0.2	0.2		2.4

SUMA	10	8	5.866666667	0.933333333	12	
1/SUMA	0.1	0.1	0.2	1.1	0.1	

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.125	0.056818182	0.214285714	0.083333333	0.47943723	0.10	10%
MERCEDES	0.1		0.056818182	0.357142857	0.083333333	0.59729437	0.12	12%
SAN FRANCISCO	0.3	0.375		0.214285714	0.416666667	1.30595238	0.26	26%
ULLOA	0.5	0.375	0.852272727		0.416666667	2.14393939	0.43	43%
VARA BLANCA	0.1	0.125	0.034090909	0.214285714		0.47337662	0.09	9%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

TURISMO VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	
HEREDIA		5	5	3	0.2	13.2
MERCEDES	0.2		0.333333333	0.2	0.2	0.933333333
SAN FRANCISCO	0.2	3		0.333333333	0.2	3.733333333
ULLOA	0.333333333	5	3		0.2	8.533333333
VARA BLANCA	5	5	5	5		20

SUMA	5.733333333	18	13.33333333	8.533333333	0.8
1/SUMA	0.2	0.1	0.1	0.1	1.3

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.277777778	0.375	0.3515625	0.25	1.25434028	0.25	25%
MERCEDES	0.034883721		0.025	0.0234375	0.25	0.33332122	0.07	7%
SAN FRANCISCO	0.034883721	0.166666667		0.0390625	0.25	0.49061289	0.10	10%
ULLOA	0.058139535	0.277777778	0.225		0.25	0.81091731	0.16	16%
VARA BLANCA	0.872093023	0.277777778	0.375	0.5859375		2.1108083	0.42	42%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

VIVIENDA VRS DISTRITOS

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	SUMA
HEREDIA		0.333333333	0.2	0.2	5	5.733333333
MERCEDES	3		0.333333333	0.333333333	5	8.666666667
SAN FRANCISCO	5	3		3	5	16
ULLOA	5	3	0.333333333		5	13.33333333
VARA BLANCA	0.2	0.2	0.2	0.2		0.8

SUMA	13.2	6.533333333	1.066666667	3.733333333	20
1/SUMA	0.1	0.2	0.9	0.3	0.1

	HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA	SUMA	PROMEDIO	
HEREDIA		0.051020408	0.1875	0.053571429	0.25	0.54209184	0.11	11%
MERCEDES	0.227272727		0.3125	0.089285714	0.25	0.87905844	0.18	18%

SAN FRANCISCO	0.3787 87879	0.45918 3673		0.8035 71429	0.25	1.8915429 8	0.38	38%
ULLOA	0.3787 87879	0.45918 3673	0.3125		0.25	1.4004715 5	0.28	28%
VARA BLANCA	0.0151 51515	0.03061 2245	0.1875	0.0535 71429		0.2868351 9	0.06	6%
SUMA	1	1	1	1	1	5	1	100%

RESUMEN DE PROMEDIOS EN UNA MATRIZ CON TODOS LOS RESULTADOS ANTERIORES

DISTRITO	IMPOR TANCIA	JERARQUÍA VIAL			POBLACIÓN Y USO DE SUELO					AMBIENTE	
		PRIMARIA S	SECUNDARIA S	TERCIARIA S	COMERCI O	INDU STRIA	TUR ISM O	VIVI END A	POBL ACIÓN N	LL UVI A	TEMPE RATUR A
HEREDIA	0.2	0.44	0.09	0.07	0.43	0.10	0.25	0.11	0.12	0.15	0.15
MERCEDES	0.2	0.16	0.39	0.19	0.24	0.12	0.07	0.18	0.16	0.15	0.15
SAN FRANCISCO	0.2	0.11	0.30	0.25	0.16	0.26	0.10	0.38	0.43	0.15	0.15
ULLOA	0.2	0.22	0.15	0.42	0.11	0.43	0.16	0.28	0.22	0.15	0.15
VARA BLANCA	0.2	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.42	0.06	0.07	0.4	0.4

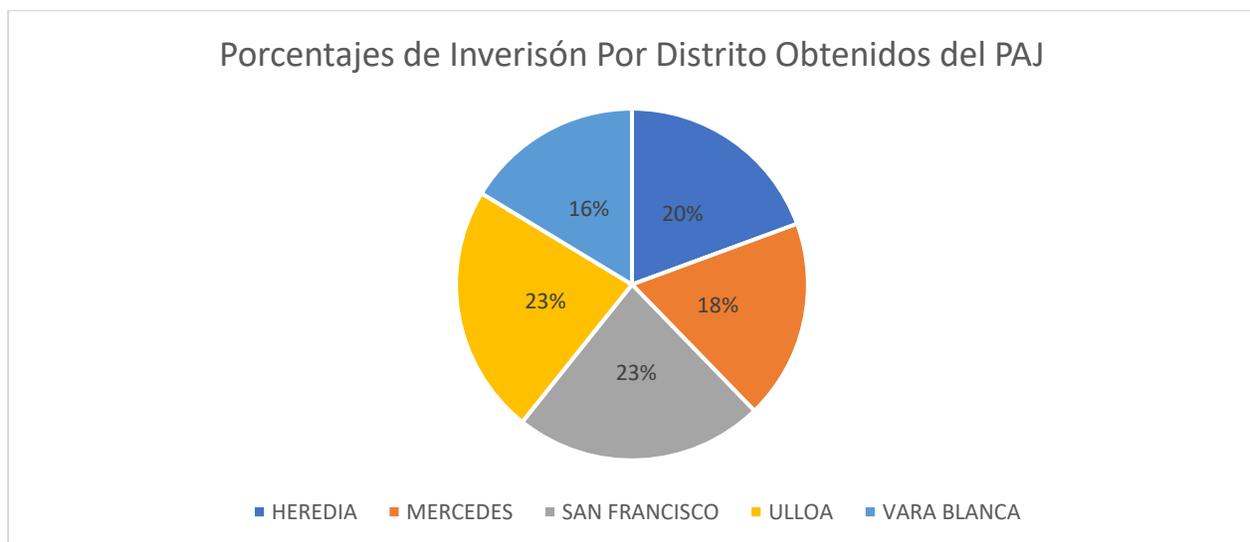
	IMPOR TANCIA	JERARQUÍA VIAL			POBLACIÓN Y USO DE SUELO					AMBIENTE	
		PRIMARIA S	SECUNDARIA S	TERCIARIA S	COMERCI O	INDU STRIA	TUR ISM O	VIVI END A	POBL ACIÓN N	LL UVI A	TEMPE RATUR A
HEREDIA	0.2	0.09	0.02	0.01	0.09	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03
MERCEDES	0.2	0.03	0.08	0.04	0.05	0.02	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03
SAN FRANCISCO	0.2	0.02	0.06	0.05	0.03	0.05	0.02	0.08	0.09	0.03	0.03
ULLOA	0.2	0.04	0.03	0.08	0.02	0.09	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03
VARA BLANCA	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.08	0.01	0.01	0.08	0.08
SUMA	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

PASO 3: Se calculan los pesos por factores:

HEREDIA	MERCEDES	SAN FRANCISCO	ULLOA	VARA BLANCA
---------	----------	---------------	-------	-------------

JERARQUÍA	14.0%	18.0%	21.0%	19.0%	4.0%
PRIMARIA	9.0%	3.0%	2.0%	4.0%	1.0%
SECUNDARIA	2.0%	8.0%	5.0%	3.0%	1.0%
TERCIARIA	1.0%	4.0%	5.0%	8.0%	1.0%
POBLACIÓN	2.0%	3.0%	9.0%	4.0%	1.0%
USO DE SUELO	18.0%	12.0%	18.0%	20.0%	12.0%
COMERCIO	9.0%	5.0%	3.0%	2.0%	1.0%
INDUSTRIA	2.0%	2.0%	5.0%	9.0%	2.0%
TURISMO	5.0%	1.0%	2.0%	3.0%	8.0%
VIVIENDA	2.0%	4.0%	8.0%	6.0%	1.0%
AMBIENTALES	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	16.0%
LLUVIA	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	8.0%
TEMPERATURA	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%	8.0%
	38%	36%	45%	45%	32%

Estos son los pesos por distrito que equivalen a los siguientes porcentajes dentro de un 100 %:



Fuente: elaboración propia (2020).

Los porcentajes obtenidos se utilizaron para distribuir los recursos económicos por distrito según la importancia de los distintos factores en cada uno de estos.

7.2. Boletas de auscultación en sitio para caso de estudio: Calle San Isidro de Mercedes Norte.

Pág 1

Fecha: 16/02/2020
 # Unidad de Muestreo: 1
 Secc. Control: Calle San Isidro
 Provincia, Cantón y Distrito: Heredia, Heredia, Mercedes

Est. Inicial: 0+000
 Est. Final: 0+047
 Código de Vía/Ruta: 401217

Longitud de la UIM: 47m
 Inspeccionada por: R. the Cruz

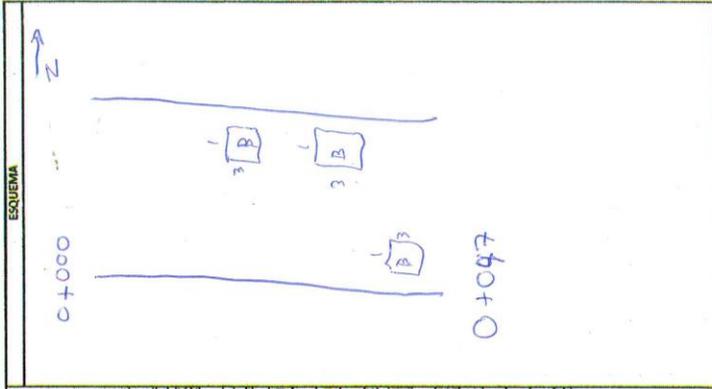
Posición GPS: E 485265 - N 1706400
 E 484787 - N 1706443

Hoja 116

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Marcar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas	01. Cuero de lagarto						
	02. Longitudinal - Transversal						
	03. Reflejo de juntas						
	04. Bloque						
	05. Borde						
	06. Arco						
Deformaciones	07. Roderas						
	08. Abultamientos y hundimientos						
	09. Corrugación						
	10. Depresiones						
	11. Hinchamiento						
	12. Corrimiento/Desplazamiento						
Textura Superficial	13. Exudación						
	14. Pulimiento de agregados						
	15. Desprendimiento de agregados						
Misceláneos	16. Desgaste superficial						
	17. Escalonamiento cabeza-espaldón						
	18. Perches						
	19. Huecos						
	20. Cruce de línea férrea						

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:



Página 1

Unidad de Muestreo: 6
 Fecha: 0+476
 Sec. Control: 0+577
 Provincia, Cantón y Distrito:

Est. Inicial: 0+476
 Est. Final: 0+577
 Código de Vía/Ruta:

Hoja 6/6

Longitud de la UMI:
 Inspeccionada por: Cruz
Carmona
Reilly
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Rellenar la celda que corresponde con la severidad)			Simbología	ESQUEMA
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		
Grietas	01. Cuero de lagarto	X						
	02. Longitudinal - Transversal							
	03. Reflejo de juntas							
	04. Bloque							
	05. Borde							
Deformaciones	06. Arco							
	07. Roderas	X						
	08. Abultamientos y Hundimientos							
	09. Corrugación							
	10. Depresiones							
Textura Superficial	11. Hinchamiento							
	12. Corrimiento/Desplazamiento							
	13. Exudación							
	14. Pulimiento de agregados							
	15. Desprendimiento de agregados							
Misceláneos	16. Desgaste superficial							
	17. Escalonamiento cabalza-espaldón							
	18. Perches							
	19. Huecos							
	20. Cruce de líneas ferreas							

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:

Hoja 5/6

Longitud de la UMI:
Inspeccionada por: Reyna
Corcuera
CVA

Posición GPS:

Estc. Inicial: 0+376
Estc. Final: 0+423
Código de Via/Estrada: 401013

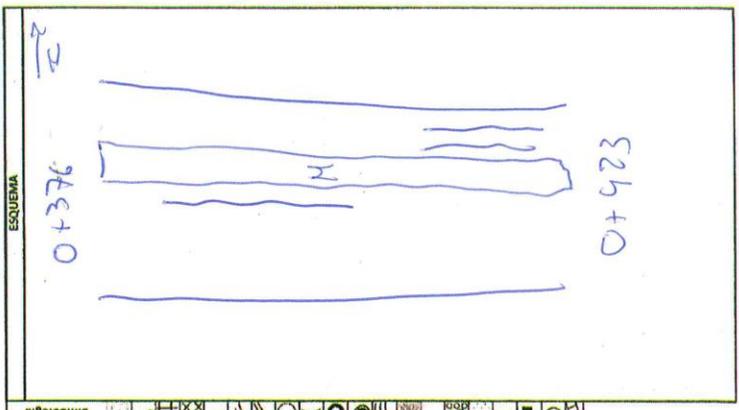
Unidad de Muestreo: 5
Secc. Control:
Provincia, Cantón y Distrito:

Pág 1

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Elicar la casilla que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas	01. Cuero de ligarto	X					
	02. Longitudinal - Transversal	X					
	03. Reflejo de juntas			X			
	04. Bloque						
	05. Borde						
	06. Arco						
Deformaciones	07. Roderas	X					
	08. Abultamientos y Hundimientos						
	09. Corrugación						
	10. Depresiones						
	11. Hinchamiento						
	12. Corrimiento/Desplazamiento						
Textura Superficial	13. Exudación						
	14. Pulimiento de agregados						
	15. Desprendimiento de agregados						
	16. Desgaste superficial						
Misceláneos	17. Escalonamiento cabeza-espaldón						
	18. Perches						
	19. Huecos						
	20. Cruce de línea férrea						

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:



Página 1

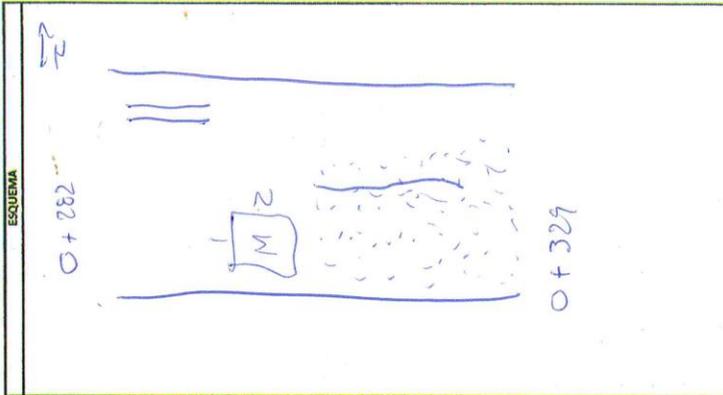
Unidad de Muestreo: 4
 Fecha: 0 + 282
 Sect. Control: 4
 Provincia, Cantón y Distrito:

Estc. Inicial: 0 + 282
 Estc. Final: 0 + 329
 Código de Vía/#Ruta:

Hoja 46

Longitud de la UMI:
 Inspeccionada por: Rolando Cordero
 Posición GPS:

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Escribir la medida que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas							
01. Cuero de lagarto	X						
02. Longitudinal - Transversal	X						
03. Reflejo de juntas							
04. Bloque							
05. Borde							
06. Arco							
07. Roderas							
08. Abultamientos y Hundimientos							
09. Corrugación							
10. Depresiones							
11. Hinchamiento							
12. Corrimiento/Desplazamiento							
13. Exudación							
14. Pulimiento de agregados							
15. Desprendimiento de agregados							
16. Desgaste superficial	X						
17. Escalonamiento calzada-estación							
18. Perches							
19. Huecos							
20. Cruce de línea férrea							
Deformaciones							
Textura Superficial							
Misceláneos							



Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B encima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:

Página 1

Fecha: 16/02/2020
 # Unidad de Muestreo: 2
 Secc. Control: Barrio San Isidro
 Provincia, Cantón y Distrito: Hernández, Heredia, Heredia

Est. Inicial: 0+094
 Est. Final: 0+141
 Código de Vía/Ruta: 401017

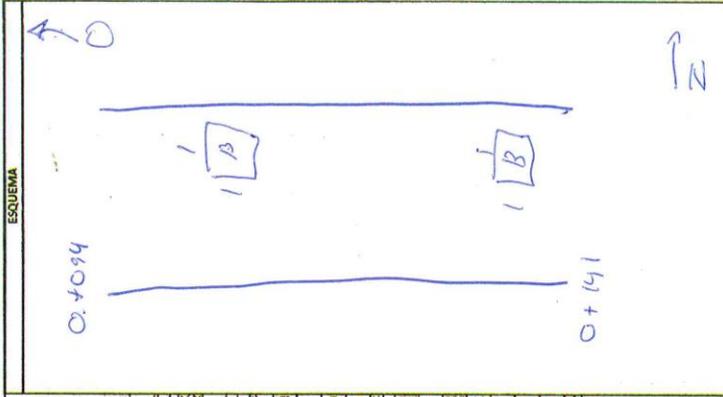
Hoja 2/6

Longitud de la UM: 47m
 Inspeccionada por: Reto Cruz
Ceballos
 Posición GPS: _____

Deterioros Pavimento Flexible	Severidad (Marcar con X)			Medida (Llenar la celda que corresponde con la severidad)			Simbología
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Grietas	01. Cuero de lagarto	<input checked="" type="checkbox"/>					
	02. Longitudinal - Transversal						
	03. Reflejo de juntas						
	04. Bloque						
	05. Bordo						
	06. Arco						
Deformaciones	07. Roderas						
	08. Abultamientos y Hundimientos						
	09. Corrugación						
	10. Depresiones						
	11. Hinchamiento						
Textura Superficial	12. Corrimiento/Desplazamiento						
	13. Exsicción						
	14. Pulimiento de agregados						
	15. Desprendimiento de agregados						
	16. Desgaste superficial						
Misceláneos	17. Escalamiento cabalzo-espaldón						
	18. Perches						
	19. Huecos						
	20. Cruce de línea férrea						

Nota: Anotar el nivel de severidad de cada deterioro en el croquis con una A, M o B endcima del dibujo, según corresponda.

Observaciones:



8. CAPÍTULO VIII - ANEXOS

8.1. Datos meteorológicos utilizados para el proyecto.

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INFORMACION
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS
(estaciones mecánicas)

ESTACION : 84 111 SANTA LUCIA, HEREDIA			Latitud: 10 ° 01 ' N Longitud: 84 ° 06 ' O Altitud. 1200 m.s.n.m												
Elementos	Periodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
LLUVIA	1983	2018	20.5	22.5	39.8	115.6	330.8	324.1	208.8	259.7	431.8	435.0	185.0	51.4	2425
TEM.MAX.	1983	2018	24.3	25.3	26.4	26.8	26.0	25.3	25.1	24.6	25.1	24.0	24.5	23.5	
TEM.MIN.	1983	2018	14.9	14.8	14.8	15.4	15.9	15.8	16.0	15.2	15.3	15.0	15.6	15.1	
TEM.MED.	1983	2018	19.6	20.0	20.6	21.1	20.9	20.6	19.9	20.2	19.5	20.1	19.3		
HUMEDAD	1983	2001	72.9	72.4	71.0	73.8	81.4	84.1	80.9	83.5	86.9	86.2	81.3	75.6	
BRILLO SOLAR	1983	2017	8.6	8.7	8.6	7.4	4.9	3.9	4.2	4.4	4.2	4.3	4.8	7.0	
EVAPORACION TANQUE	1983	2008	5.0	5.8	6.1	5.6	4.0	3.4	3.5	3.4	3.2	3.3	3.4	4.3	
VIENTO DIR. PREDOMINANTE															
Promedio dias con lluvia >= 0.1 mm.			5	4	4	10	22	23	20	22	25	25	19	9	188.0 Total.

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas.

Fuente: IMN (2019).

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INFORMACION
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS
 (estaciones mecánicas)

ESTACION : 69 691 LA TIRIMBINA 2 Latitud: 10 ° 25 ' N Longitud: 84 ° 07 ' O Altitud. 18 m.s.n.m

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	
	2009	2018														
LLUVIA	2009	2018	332.2	218.0	188.1	127.9	392.7	492.9	626.7	354.7	256.2	353.0	433.6	299.4	4075.4	
TEM.MAX.	2009	2018	29.5	29.9	30.3	31.4	31.6	31.0	29.6	30.9	31.7	31.4	29.9	28.8		
TEM.MIN.	2009	2018	20.3	20.1	20.2	21.1	21.8	22.3	22.0	21.9	21.6	21.6	20.8	20.8		
TEM.MED.	2009	2018	24.9	25.0	25.3	26.2	26.7	26.6	25.8	26.4	26.6	26.5	25.4	24.8		
VIENTO DIR. PREDOMINANTE																
Promedio dias con lluvia >= 0.1 mm.			16	13	14	11	16	16	20	16	14	16	18	16	185.0	Total.

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas.

Fuente: IMN (2019).

8.2. Datos de población del cantón de Heredia utilizados para el proyecto.

Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo 2019																	
Provincia, cantón, distrito y sexo	Total	Grupos de edades															75 y más
		0 - 4	5 - 9	10 - 14	15 - 19	20 - 24	25 - 29	30 - 34	35 - 39	40 - 44	45 - 49	50 - 54	55 - 59	60 - 64	65 - 69	70 - 74	
Heredia	519	36	37	37	39	40	42	47	43	36	31	30	28	23	16	11	16
	170	514	221	977	210	437	096	326	449	830	711	307	722	265	949	077	079
Heredia	141	8	9	9	9	10	10	13	12	10	9	8	8	6	5	3	4
	683	941	241	283	864	461	995	573	564	600	085	814	388	798	005	268	803
Heredia	19					1	1	2	2	1	1	1	1	1			
	143	833	851	843	835	042	309	274	151	787	495	410	298	024	733	462	796
Mercedes	29	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1		1
	383	740	826	826	922	962	097	930	699	283	967	919	838	497	109	729	039
San Francisco	57	4	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	3	2	1	1	1
	879	006	132	150	468	727	791	141	738	009	450	366	226	628	942	276	829
Ulloa	34	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1		1
	344	296	360	397	568	657	726	144	899	455	113	061	974	607	189	780	118
Vara Blanca	934	66	72	67	71	73	72	84	77	66	60	58	52	42	32	21	21

Fuente: INEC (2019).

8.3. Constancia de defensa pública del proyecto de graduación

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción
Unidad de Posgrado
Maestría en Ingeniería Vial

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Con fundamento en lo establecido por la Maestría en Ingeniería Vial, el Tribunal Examinador del Proyecto Final de Graduación denominado:

Propuesta de un Sistema de Gestión de Pavimentos Flexibles a través de un Sistema de Información Geográfico para la Municipalidad de Heredia.

Y, habiendo analizado el resultado del trabajo presentado por el(los) estudiante(s):

Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre	No. de carné
ROTHE	CORDERO	RODOLFO	2018319738

Se emite el siguiente dictamen el día 16 de diciembre del 2020:

<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Reprobado
	<input type="checkbox"/> Se recomienda <input type="checkbox"/> No se recomienda <i>Brindaría una nueva oportunidad para Defensa Pública.</i> Nueva fecha: _____

Dando fé de lo acá expuesto firmamos,

MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA) Firmado digitalmente por MILTON ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA) Fecha: 2020.12.17 10:01:21 -06'00' Ing. Milton Sandoval Quirós, MBA, Representante de la Escuela de Ingeniería en Construcción.	PEDRO LUIS CASTRO FERNANDEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por PEDRO LUIS CASTRO FERNANDEZ (FIRMA) Fecha: 2020.12.18 12:08:03 -06'00' Ing. Pedro Castro Fernández, PhD. Profesor Lector.
GIANNINA ORTIZ QUESADA (FIRMA) Firmado digitalmente por GIANNINA ORTIZ QUESADA (FIRMA) Fecha: 2020.12.17 08:11:29 -06'00' Ing. Giannina Ortiz Quesada, MSc. Coordinadora Unidad de Posgrado y profesora guía.	



Autor: Rodolfo Rothe (2021). Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).