

**Universidad de Costa Rica
Facultad de ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

Desarrollo de una metodología práctica para realizar gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal a partir de inventarios de condición superficial

Proyecto de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Luis Carlos Zamora Bustamante

Directora del proyecto de Graduación:

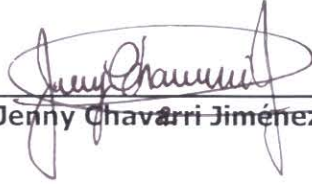
Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScEng.

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Octubre, 2011

Aprobación



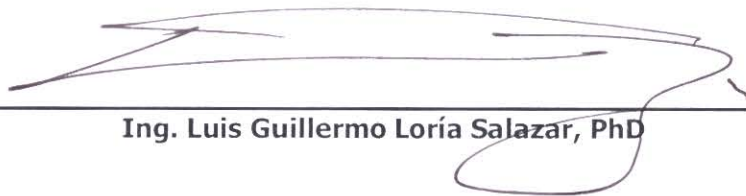
Ing. Jenny Chavarri Jiménez MSc.Eng



Luis Carlos Zamora Bustamante



Ing. Jaime Allen Monge, MSc.Eng



Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD

Fecha: 2011, Octubre, 27

El suscrito, Luis Carlos Zamora Bustamante, cédula 1-1218-0834 estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A35798**, manifiesta que es el autor del Proyecto Final de Graduación **Desarrollo de una metodología práctica para realizar gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal a partir de inventarios de condición superficial**, bajo la Dirección de la **Ing. Jenny Chaverri Jiménez MScEng**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (Versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice la información contenida en esta obra

Dedicatoria

“Gracias te damos, oh Dios, gracias te damos.
Pues cercano está tu nombre;
Los hombres cuentan tus maravillas”
Salmos 75:1

Este trabajo lo dedico a Mami y a mi Tita por el apoyo incondicional que han mostrado durante tantos años, a Pa por su ejemplo, sudor y coraje durante toda una vida, en general a toda la familia Zamora Bustamante y Abarca Zamora por la incansable solidaridad y aliento, sin los cuales hubiera sido impensable el inicio y la culminación de este proceso.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por sus grandes maravillas, a mi familia por la confianza y el apoyo a través de los años.

Un agradecimiento especial a la Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MSc.Eng, la cual ha sido la mentora de este proyecto y formadora a nivel profesional, al Ing. Jaime Allen Monge, MSc.Eng por su disponibilidad y grandes aportes, y al Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD el cual se encargo de enriquecer el proyecto.

Es importante recordar a todo el personal del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, especialmente al departamento de Auditoria Técnica por el apoyo y las facilidades a lo largo del proceso, y al Ing. Oscar Hernández de la Municipalidad de Belén, el cual se encargo de ayudar en la etapa de auscultación visual en el cantón herediano.

A mis amigos de carrera Eduardo Salas y José Rodríguez con quienes he trabajado hombro a hombro en esta última etapa, y a mis amigos de vida, que sin necesidad de mencionarlos se suben en este barco, los cuales se encargan de dar desde su posición un gran aporte en mi vida.

A todos mis más sinceros agradecimientos.

Índice General

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación	1
1.1.1 Problema específico.....	1
1.1.2 Importancia	4
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivo específico	5
1.3 Antecedentes teóricos y prácticos	6
1.4 Delimitación del problema	7
1.4.1 Alcance	7
1.4.2 Limitaciones.....	7
MARCO TEÓRICO	9
2.1 Gestión de pavimentos flexibles.....	9
2.1.1 Sistemas de administración de infraestructura vial	12
2.1.1.1 Sistemas de administración de pavimentos (SAP).....	13
2.1.1.2 Manejo de la información.....	14
2.1.1.3 Indicadores de condición.	15
2.2 Condición superficial de los pavimentos flexibles	16
2.2.1 Deterioros superficiales más comunes de Costa Rica.	17
2.2.1.1 Grieta longitudinal (en las marcas de rodamiento).....	17
2.2.1.2 Grieta longitudinal (No asociada a solicitaciones de carga)	18
2.2.1.3 Grietas transversales	19
2.2.1.4 Cuero de lagarto (fatiga)	20
2.2.1.5 Grietas en bloque.....	21
2.2.1.6 Juntas de construcción	22
2.2.1.7 Grietas en arco	23
2.2.1.8 Grietas de borde	24
2.2.1.9 Roderas o ahuellamiento.....	25
2.2.1.10 Desplazamientos o corrimientos.....	26
2.2.1.11 Ondulaciones	27
2.2.1.12 Hinchamientos	28
2.2.1.13 Hundimientos.....	29
2.2.1.14 Pulimento	30
2.2.1.15 Desprendimiento de agregado	31
2.2.1.16 Huecos	32
2.2.1.17 Parches	33
2.2.1.18 Exudación.....	34
2.2.1.19 Escalonamiento entre calzada y espaldón	35
2.2.2 Catálogos de deterioros superficiales	36
2.2.2.1 Pavement surface condition field rating manual for asphalts Pavements... 37	
2.2.2.2 Flexible Pavement Distress Identification Nevada DOT.....	38
2.2.2.3 M.5.1 Manual de deterioros de pavimentos flexibles.....	38
2.2.2.4 Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project	40
2.2.2.5 Distress identification manual for the long-term pavement performance Program	41
2.2.2.6 Catálogo Centroamericano de daños a pavimentos viales.....	41
2.2.2.7 Pavement condición index ASTM D6433-03	42
2.2.2.8 Catálogo VIZIR	43
2.2.3 Determinación del catálogo a emplear.....	44

2.3	Indicador de condición superficial PCI_A	47
2.3.1	Metodología de evaluación de la condición del pavimento.....	48
2.3.1.1	Selección de las unidades de muestreo.....	50
2.3.1.2	Selección de unidades de muestreo adicionales.....	51
2.3.1.3	Procedimiento de inspección.....	51
2.3.1.4	Cálculo del PCI_A de las unidades de muestreo.....	52
2.3.1.5	Cálculo de PCI_A para una sección de pavimento.....	53
3.1	Características de cantón de Belén.....	55
3.2	Recolección de datos de los deterioros de la condición superficial.....	57
3.2.1	Escogencia de tramos de carretera.....	57
3.2.2	Escogencia de las unidades mínimas de muestra.....	58
3.2.3	Trabajo de campo.....	61
	INDICADORES DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	66
4.1	Capacidad estructural.....	66
4.1.1	Índice de capacidad estructural.....	67
4.2	Rugosidad Internacional.....	68
4.2.1	Índice de rugosidad.....	68
4.3	Indicador de la condición del pavimento (PCI_{SP}).....	69
4.3.1	Actualización de valores del PCI_{SP}	71
4.4	Condición superficial.....	76
	PLANES DE INVERSIÓN.....	86
5.1	Optimización lineal.....	87
5.1.1	Modelo de optimización lineal.....	88
5.1.1.1	Tipo de activo.....	88
5.1.1.2	Tipo de pavimento.....	88
5.1.1.3	Transiciones de los tratamientos.....	88
5.1.1.4	Clasificación de la ruta.....	90
5.1.1.5	Clasificación del tránsito.....	90
5.1.1.6	Tramos homogéneos.....	90
5.1.1.7	Cantidad de tratamientos de preservación.....	90
5.1.2	Optimización lineal de las inversiones.....	91
5.1.2.1	Tasa de inflación.....	91
5.1.2.2	Tasa de descuento nominal.....	92
5.2	Inventario de la red vial cantonal.....	93
5.3	Periodo de análisis.....	93
5.4	Ventanas de operación.....	93
5.5	Transiciones y costos.....	94
5.6	ESCENARIOS DE INVERSIÓN.....	96
5.6.1	Escenario 1: presupuesto de US\$ 360 000.....	96
5.6.2	Escenario 2: presupuesto de US\$ 720 000.....	106
5.6.3	Escenario 3: presupuesto de US\$ 900 000.....	115
5.7	CONCORDANCIA DE LOS PLANES DE INVERSIÓN.....	125
	PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES.....	126
6.1	Descripción de la hoja de cálculo.....	127
6.1.1	Limitaciones del uso de la hoja de cálculo.....	127
6.1.2	Restricciones del uso de la hoja de cálculo.....	127
6.1.3	Planteamiento de la hoja de cálculo.....	127
6.1.3.1	Tránsito.....	128
6.1.3.2	Clasificación de ruta.....	128
6.1.3.4	Mejora del PCI.....	129
6.1.3.4	Indicador de priorización.....	130
6.1.4	Funcionamiento de la hoja de cálculo.....	130

6.2 Empleo de la hoja de cálculo	132
6.2.1 Ingreso de los datos	132
6.2.1.1 Datos	132
6.2.1.1 Calificación	138
6.2.2 Determinación de las inversiones	139
6.2.2.1 Descripción de los datos	139
6.2.2.2 Determinación de inversiones	142
6.2.2.3 Resultados de las intervenciones	144
6.3 Resultados de la hoja de priorización	146
6.4 Escenarios de inversión	148
6.4.1 Escenario 1: presupuesto de US\$ 360.000	149
6.4.2 Escenario 2: presupuesto de US\$ 720.000	155
6.5 Comparación de la hoja de priorización en relación a otros programas	160
METODOLOGÍA PRÁCTICA PARA REALIZAR GESTIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A	
NIVEL MUNICIPAL	164
7.1 Inicio de la gestión de pavimentos flexibles	166
7.1.1 Necesidades de la red vial municipal	166
7.1.2 Objetivos de la gestión de pavimentos flexibles	166
7.1.3 Identificación de los involucrados	167
7.1.4 Información inicial de la red	167
7.1.5 Limitaciones de la gestión de pavimentos flexibles	167
7.1.6 Resumen del inicio de la gestión de pavimentos flexibles	168
7.2 Planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles	170
7.2.1 Metodología de evaluación de la red	171
7.2.2 Planeamiento del tiempo	171
7.2.2.1 Tiempo de ejecución de las pruebas de campo	171
7.2.2.1.1 Auscultación visual	171
7.2.2.1.2 Información de tránsito	172
7.2.2.1.2 Información estructural de las carreteras	172
7.2.2.1 Tiempo de análisis de los datos	173
7.2.3 Recursos Humanos	173
7.2.3.1 Operadores para la auscultación visual	173
7.2.3.2 Ayudante para la auscultación visual	174
7.2.3.3 Digitadores	174
7.2.4 Presupuesto	174
7.2.5 Resumen planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles	174
7.3 Ejecución de la gestión de pavimentos flexibles	176
7.3.1 Determinación de los tramos homogéneos	176
7.3.2 Determinación del flujo vehicular	176
7.3.3 Determinación de los costos por intervención	177
7.3.3.1 Estrategias de conservación y rehabilitación de pavimentos	177
7.3.3.1.1 Preservación	178
7.3.3.1.2 Rehabilitación	179
7.3.3.1.3 Reconstrucción total	180
7.3.3.1.4 Análisis de fatiga	181
7.3.4 Determinación de los indicadores de condición superficial	183
7.3.5 Resumen de la conformación de la información	184
7.3.6 Realización de los planes de inversión	186
7.3.7 Implementación de los planes de inversión	189
7.4 Control de la gestión de pavimentos flexibles	189
7.4.1 Control de la realización gestión de pavimentos flexibles	189
7.4.2 Control del cumplimiento de las inversiones	189

7.5 Cierre de la gestión de pavimentos flexibles.....	190
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	191
8.1 Conclusiones.....	191
8.2 Recomendaciones	194
Bibliografía	197
APÉNDICE A.1	200
APÉNDICE A.2	201
APÉNDICE A.3	207
APÉNDICE B.1	210
B.1.1 Curva de deterioro del pavimento a partir de datos de SAI y PRI (PCI_{SP}).....	210
B.1.2 Curva de deterioro del pavimento a partir de la auscultación visual (PCI_A)....	211
APÉNDICE B.2	215
APÉNDICE B.3	218
APÉNDICE C	220
ANEXO E	225

Índice de figuras

Figura 2.3: Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.....	13
Figura 2.4: Grietas longitudinales.....	17
Figura 2.5: Grietas longitudinales no producidas por vehículos	18
Figura 2.6: Grietas transversales	19
Figura 2.7: Cuero de lagarto	20
Figura 2.8: Grietas en bloque	21
Figura 2.9: Grietas por juntas de construcción	22
Figura 2.10: Grietas en arco.....	23
Figura 2.11: Grietas de borde.....	24
Figura 2.12: Roderas	25
Figura 2.13: Desplazamientos/corrimientos	26
Figura 2.15: Hinchamientos	28
Figura 2.16: Hundimientos.....	29
Figura 2.17: Pulimento	30
Figura 2.18: Desprendimiento de agregados.....	31
Figura 2.19: Huecos	32
Figura 2.20: Parches	33
Figura 2.21: Parches	34
Figura 2.22: Escalonamiento entre calzada y espaldón	35
Figura 2.23: Calificación de la carretera por PCI_A	47
Figura 3.1: Hoja 1:50000 Cantón de Belén	55
Figura 3.2: Mapa Red municipal del cantón de Belén a evaluar.....	60
Figura 3.3: Ejemplo de levantamiento de datos de condición superficial.....	61
Figura 3.4: Bacheo	62
Figura 3.5: Piel de cocodrilo (cuero de lagarto).....	62
Figura 3.6: Grieta longitudinal	63
Figura 3.7: Hundimientos.....	63
Figura 3.8: Desprendimiento de agregados	64
Figura 3.9: Desprendimiento de carpeta.....	64
Figura 3.10: Ausencia de espaldón	65
Figura 4.1: Imagen de hoja de Auscultación visual, tramo 3, unidad de muestra 4....	76
Figura 4.2: Datos de densidad.....	77
Figura 4.3: Grieta de borde	77
Fuente: ASTM D6433.....	77
Figura 4.4: Cuero de lagarto	78
Fuente: ASTM D6433.....	78
Figura 4.5: Grietas longitudinal y transversal	78
Fuente: ASTM D6433.....	78
Figura 4.6: Ejemplo de cálculo del CDV	80
Figura 4.7: Mapa Condición de la Red municipal del cantón de Belén. PCI_{SP}	84
Figura 4.8: Mapa Condición de la Red municipal del cantón de Belén. PCI_A	85
Figura 5.1: Área asociada a cada estado (PCI_{SP}) Presupuesto US\$360.000 anuales	97
Figura 5.2: Área asociada a cada estado. (PCI_A) Presupuesto US\$360.000 anuales	97
Figura 5.3: Valor del PCI_{SP} según tipo de tránsito. Presupuesto US\$360.000 anuales..	98
Figura 5.4: Valor del PCI_A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$360.000 anuales...	99
Figura 5.5: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_{SP} . Presupuesto US\$360.000 anuales.....	100
Figura 5.6: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales.....	100

Figura 5.7: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales	101
Figura 5.8: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	101
Figura 5.9: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales	102
Figura 5.10: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	102
Figura 5.11: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales	103
Figura 5.12: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	103
Figura 5.13: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI _{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales	104
Figura 5.14: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	104
Figura 5.15: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI _{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales	105
Figura 5.16: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	105
Figura 5.17: Área asociada a cada estado. (PCI _{SP}) Presupuesto US\$720.000 anuales	106
Figura 5.18: Área asociada a cada estado. (PCI _A) Presupuesto US\$720.000 anuales.	106
Figura 5.19: Valor del PCI _{SP} según tipo de tránsito. Presupuesto US\$720.000 anuales	107
Figura 5.20: Valor del PCI _A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$720.000 anuales	108
Figura 5.21: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI _{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales.....	109
Figura 5.22: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales.....	109
Figura 5.23: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales	110
Figura 5.24: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	110
Figura 5.25: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales	111
Figura 5.26: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	111
Figura 5.27: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales	112
Figura 5.28: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	112
Figura 5.29: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI _{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales	113
Figura 5.30: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	113
Figura 5.31: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI _{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales	114
Figura 5.32: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	114
Figura 5.33: Área asociada a cada estado.(PCI _{SP}) Presupuesto US\$900.000 anuales	115
Figura 5.34: Área asociada a cada estado. (PCI _A) Presupuesto US\$900.000 anuales.	116
Figura 5.35: Valor del PCI _{SP} según tipo de tránsito. Presupuesto US\$900.000 anuales	117
Figura 5.36: Valor del PCI _A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$900.000 anuales	117

Figura 5.37: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI _{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales.....	118
Figura 5.38: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI _A Presupuesto US\$900.000 anuales.....	118
Figura 5.39: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales.....	119
Figura 5.40: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _A Presupuesto US\$9000.000 anuales.....	120
Figura 5.41: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales.....	120
Figura 5.42: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _A Presupuesto US\$900.000 anuales.....	121
Figura 5.43: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales.....	121
Figura 5.44: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _A Presupuesto US\$900.000 anuales.....	122
Figura 5.45: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI _{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales.....	123
Figura 5.46: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI _A Presupuesto US\$900.000 anuales.....	123
Figura 5.47: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI _{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales.....	124
Figura 5.48: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI _A Presupuesto US\$900.000 anuales.....	124
Figura 6.1: Ingreso de datos parte I.....	133
Figura 6.2: Ingreso de datos parte II.....	134
Figura 6.3: Ingreso de datos parte III.....	135
Figura 6.4: Ingreso de datos parte IV.....	136
Figura 6.5: Ingreso de datos parte V.....	137
Figura 6.6: Ingreso de datos parte VI.....	137
Figura 6.7: Ingreso de datos parte VII.....	138
Figura 6.8: Descripción de datos I.....	140
Figura 6.9: Descripción de datos II.....	141
Figura 6.10: Descripción de datos III.....	142
Figura 6.11: Determinación de inversiones I.....	142
Figura 6.12: Determinación de inversiones II.....	143
Figura 6.13: Determinación de inversiones III.....	143
Figura 6.14: Resultados de las intervenciones I.....	144
Figura 6.15: Resultados de las intervenciones II.....	144
Figura 6.16: Resultados de las intervenciones III.....	145
Figura 6.17: Resultados de las intervenciones IV.....	145
Figura 6.18: Gráficos con los resultados de las intervenciones I.....	146
Figura 6.19: Gráficos con los resultados de las intervenciones II.....	147
Figura 6.20: Área asociada a cada estado. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales ...	149
Figura 6.21: Kilómetros de vía asociado a cada estado. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales.....	149
Figura 6.22: Valor del PCI según tipo de tránsito. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales.....	150
Figura 6.23: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales.....	151
Figura 6.24: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales.....	152

Figura 6.25: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	152
Figura 6.26: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _A Presupuesto US\$360.000 anuales	153
Figura 6.27: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. Presupuesto US\$360.000 anuales	154
Figura 6.28: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. Presupuesto US\$360.000 anuales	154
Figura 6.29: Área asociada a cada estado. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales ...	155
Figura 6.30: Kilómetros de vía asociado a cada estado. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	156
Figura 6.31: Valor del PCI _A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$720.000 anuales	156
Figura 6.32: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales.....	157
Figura 6.33: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	158
6.34: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	158
Figura 6.35: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI _A Presupuesto US\$720.000 anuales	159
Figura 6.36: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. Presupuesto US\$720.000 anuales	159
Figura 6.37: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. Presupuesto US\$720.000 anuales	160
Figura 7.1: Esquema metodológico de las etapas para realizar la gestión de pavimentos.	165
Figura 7.2: Esquema metodológico para la realización del plan de inversiones.....	170
Figura A2.1: Calle 4-07-001.....	202
Figura A2.2: Tramos 1 y 2	202
Figura A2.2: Tramos 1, 2 y 3.....	203
Figura A2.3: Introducción de datos	205
Figura A2.4: Procesamiento de información paso I	205
Figura A2.5: Procesamiento de información paso II	206
Figura A2.6: Procesamiento de información paso III.....	206
Figura A3.1: Odómetro	207
Figura A3.2: Escantillón graduado.....	207
Figura A3.3: Regla graduada	208
Figura A3.4: Carretilla para el transporte del equipo.....	208
Figura A3.5: Implementos de seguridad	209
Figura B.1.1: Curva de deterioro del pavimento en función del tiempo (menor que 128000 ESALs)	211
Figura B.1.2: Curva de deterioro en función del tiempo calles primarias (Arterial) ...	212
Figura B.1.3: Curva de deterioro en función del tiempo calle de travesía (Conectores)	213
Figura B.1.4: Curva de deterioro en función del tiempo calle secundaria (Residencial)	213
Figura E.1: Cuero de lagarto	225
Figura E.2: Exudación.....	225
Figura E.3: Agrietamiento en bloque	226
Figura E.4: Abultamiento y Hundimientos.....	226
Figura E.5: Corrugación	227
Figura E.6: Depresión.....	227
Figura E.7: Grieta de borde	228
Figura E.8: Grieta de reflexión de juntas	228

Figura E.9: Desnivel entre carril y el espaldón.....	229
Figura E.10: Grietas longitudinal y transversal	229
Figura E.11: Parcheo	230
Figura E.12: Pulimento de agregados.....	230
Figura E.13: Huecos	231
Figura E.14: Cruce de vía férrea	231
Figura E.15: Ahuellamiento	232
Figura E.16: Desplazamiento	232
Figura E.17: Grieta parabólica	233
Figura E.18: Hinchamiento.....	233
Figura E.19: Desprendimiento de agregados.....	234
Figura E.20: Valor deducido total.....	235

Índice de cuadros

Cuadro 2.1: Longitudes de unidades de muestreo	48
Cuadro 2.2: Cantidad de unidades mínimas de muestreo	50
Cuadro 3.1: Estadística poblacional	56
Cuadro 3.1: Tramos homogéneos y unidades mínimas de muestra	58
Cuadro 4.1: Valores de los indicadores SAI, PRI y PCI_{SP} para los tramos homogéneos	69
Cuadro 4.2: TPDA asociado a los valores máximos de $ESAL_S$ establecido para las curvas de deterioro.....	71
Cuadro 4.3: Ecuaciones de la edad del pavimento en función del PCI para tránsito bajo.	71
Cuadro 4.4: Datos de sobrecapas colocadas en las rutas de la municipalidad de Belén.	73
Cuadro 4.5: Valores de PCI corregidos.	74
Cuadro 4.6: Información de los deterioros.....	79
Cuadro 4.7: Proceso iterativo para el cálculo del mayor CDV, paso I	79
Cuadro 4.8: Proceso iterativo para el cálculo del mayor CDV, paso II.....	80
Cuadro 4.9: Valores de PCI y áreas para las diferentes unidades de muestra.....	81
Cuadro 4.10: Valores de PCI condición superficial	82
Cuadro 5.1: Ventanas de operación.	94
Cuadro 5.2: Resumen de costos según el tipo de tratamiento	95
Cuadro 6.1: Ventanas de Operación PCI condición superficial.....	148
Cuadro 6.2: Características de la hoja de priorización en función de los programas computacionales más usados.	161
Cuadro 7.1: Datos del inicio de la gestión de pavimentos flexibles para el cantón de Belén.	168
Cuadro 7.2: Datos del planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles para el cantón de Belén.....	175
Cuadro 7.3: Clasificación según el TPDA	177
Cuadro 7.4: condición del pavimento según el número estructural (SN)	178
Cuadro 7.5: Espesores de carpeta asfáltica para rehabilitación, diseño de 20 años...	180
Cuadro 7.6: Diseños propuestos para la reconstrucción total.....	181
Cuadro 7.7: Cuadro de revisión del cumplimiento de las actividades cantón de Belén	184
Cuadro 7.8: Condición superficial y tránsito para los tramos homogéneos de la red vial municipal del cantón de Belén.....	185
Cuadro 7.9: Resumen de las inversiones sobre el cantón de Belén, escenario 2: presupuesto de US\$ 720.00	187
Cuadro A.1: Tabla de recolección de datos de condición superficial	200
Cuadro B.2.1: Edades del pavimento para los tramos homogéneos a partir de datos de SAI y PRI.....	215
Cuadro B.2.2: Edades del pavimento para los tramos homogéneos a partir de datos de auscultación visual	216
Cuadro B.3: Resumen de las inversiones sobre el cantón de Belén, escenario 1: presupuesto de US\$ 360.00	218
Cuadro C.1: Datos del inicio de la gestión de pavimentos flexibles.....	220
Cuadro C.2: Resumen del planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles.....	221
Cuadro C.3: Información de los códigos de las actividades.....	221
Cuadro D: Deterioros y severidades del PCI.....	222
Cuadro D: Deterioros y severidades del PCI.....	223
Cuadro D: Deterioros y severidades del PCI.....	224

Zamora Bustamante, Luis Carlos
Desarrollo de una metodología práctica para realizar gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal a partir de inventarios de condición superficial.
Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.:
L. Zamora B.,2011
xiv, 189, [24]h; ils. col. -23 refs.

RESUMEN

La gestión de pavimentos es una herramienta indispensable para la adecuada ubicación de recursos y asegurar el buen desempeño de una red de carreteras. En Costa Rica a nivel municipal, las prácticas de gestión han sido limitadas debido a la capacidad técnica y su desarrollo organizacional. Por ello se propone desarrollar una metodología práctica y simple para realizar gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal a partir de inventarios de condición superficial.

El estudio se realizó para la Municipalidad de Belén para una red de 30 Km. Se determinó un índice de condición de pavimentos (PCI_A) conformado por los deterioros superficiales; y considerando los conceptos de gestión de carreteras, se formuló como herramienta un método para la gestión usando el programa Excel de Microsoft. Este se verificó cualitativamente con métodos avanzados de gestión (optimización lineal), obteniendo resultados satisfactorios. La aplicación de este método se limita a redes viales de 80 km. Finalmente, se realiza un procedimiento para la implementación de un sistema de gestión de pavimentos para municipalidades.

Se concluye que esta es una herramienta factible para municipalidades con poca capacidad técnica y redes de densidad baja. Existe la limitación de no optimizar la condición de la red, ni la inversión. Se recomienda que el usuario se familiarice con las buenas prácticas de gestión de pavimentos para su aplicación. L.C.Z.B

PAVIMENTOS; GESTIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES; DETERIOROS SUPERFICIALES.
Ing. Jenny Chaverri Jiménez. MSc.Eng.
Escuela de Ingeniería Civil.

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

Los caminos y las carreteras van directamente relacionados con el desarrollo de un país, “Las comunidades crecen en lo cultural, en lo social y en lo económico a medida de que existen posibilidades de comunicarse y trasladarse” (Solminihaq, H 1998). Lo que convierte en prioridad de cualquier nación el manejo óptimo del sistema vial, responsabilidad que recae en los entes encargados de su administración.

En el país, la red vial se encuentra dispuesta en dos amplios grupos: la red vial nacional compuesta por las carreteras primarias, secundarias y terciarias las cuales se encuentran bajo la tutela del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y la red vial cantonal, administrados por las 81 municipalidades. El Estado cuenta aproximadamente con 28.455 kilómetros de carreteras municipales, lo que representa casi el 80% de la longitud de todo el patrimonio vial.

En Costa Rica durante la década de los noventa se disminuyó sustancialmente las inversiones en carreteras, esto debido a políticas de austeridad en el gasto público, lo que declinó a un deterioro acelerado de toda la red. Según el informe de la red vial nacional realizado por LanammeUCR en el año 2006, en términos de regularidad superficial se determina que del total de las carreteras nacionales sólo el 32.1% poseen una regularidad buena, un 32.6% moderada y el restante 35.2% se encuentra en condición pobre o completamente deteriorada.

En el caso de la evaluación del estado estructural, la evaluación se llevó a cabo utilizando ensayos de deflectometría que revelan el estado de una carretera mediante la

medición de las deformaciones del pavimento a partir de un carga de impacto aplicada, teniendo como referencia que entre más bajos sean los valores de las deformaciones se infiere que mejor es el estado estructural de la carretera. En dichos ensayos se reveló que únicamente el 11.6% de la red presenta deflexiones bajas, el 51,8% deflexiones de moderadas a altas, y el 36.6% posee deflexiones muy altas, severamente dañadas o no evaluables.

Las burocracias existentes en la actualidad, para la utilización del dinero destinado a la recuperación de las carreteras, hacen que el proceso de contratación y ejecución de obras sea lento y engorroso.

Dados los antecedentes nacionales se hace urgente implementar cambios dentro de las herramientas empleadas en el manejo de la infraestructura vial, puesto que en la mayoría de los gobiernos locales no se realizan metodologías específicas para la administración de caminos y carreteras, lo que impide un correcto uso de los recursos y limita la capacidad de mejoras a largo plazo.

Sin un diagnóstico que indique cual es la condición en la que se encuentra el sistema de carreteras, se produce una gran incertidumbre en la toma de decisiones para la planificación, lo que tiene como consecuencia que sólo se mitiguen los problemas, pero que no se planteen soluciones estratégicas para evitar los problemas. Por esto, son necesarios instrumentos de evaluación de la red, que se encarguen de nutrir con la información adecuada, que sirva de base sólida en la resolución de los problemas que afectan la planificación. Además las herramientas deben ser de fácil acceso a las municipalidades, inclusive las que cuenten con recursos económicos limitados, ya que la correcta planificación repercutirá en el desarrollo del cantón.

A nivel mundial, se ha reconocido la utilización de metodologías a partir de datos de condición estructural y regularidad superficial como adecuados para la administración de pavimentos flexibles, no obstante, los altos costos de los ensayos y los software de trabajo lo hacen excluyentes para las municipalidades con recursos limitados.

Con las diferentes metodologías de mantenimiento de las carreteras, la implementación de evaluaciones de la red vial a partir de inventarios de deterioros

superficiales, se convierte en una herramienta de gran importancia a la hora de elaborar planes de mantenimiento y rehabilitación de las redes.

El empleo de metodologías de evaluación visual, proponen soluciones de bajo costo de equipo y bajo costo de mano de obra, ya que no requiere de un adiestramiento costoso del personal a cargo, ni emplea operadores altamente calificado para la recolección de datos. Pero es necesario determinar en qué grado estas medidas puede ser efectivas a las condiciones municipales de Costa Rica.

1.1.2 Importancia

El valor del capital intelectual es muy alto, y representa una ventaja competitiva y sostenible para las diferentes empresas e instituciones, el empleo de herramientas que nos facilite la adquisición y el manejo de la información se convierten en el instrumento que impulsa el buen funcionamiento de cualquier administración. Para la creación y mantenimiento de la infraestructura de pavimentos flexibles es necesario desarrollar una plataforma de información básica, que funcionará de cimientos para la toma de decisiones tácticas y técnicas.

El crecimiento económico que muestra el país en lo que a transporte se refiere hace necesarias la implementación y aplicación de metodologías que evalúen el estado de los pavimentos flexibles.

La implementación de metodologías de bajo costo y fácil manejo son necesarias para otorgar homogeneidad de oportunidades en el desarrollo de los cantones más pobres, tanto económico como socialmente. La utilización de un modelo basado en un levantamiento visual, proporciona una herramienta de bajo costo para las municipalidades, que puede llevar a la creación de datos veraces, certeros, y oportunos, que permitan alimentar los motores de la administración de pavimentos.

La importancia de la creación de una metodología práctica para la administración de pavimentos flexibles a partir de datos de condición superficial de las carreteras, radica en dar una herramienta que logre maximizar los beneficios en las inversiones sobre una red vial cantonal, proporcionando políticas fundamentadas en razonamientos técnicos, que ayuden a lograr una recuperación de la red a mediano plazo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología práctica para realizar gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal a partir de inventarios de condición superficial.

1.2.2 Objetivo específico

1. Comparar los resultados de la realización de planes de inversión a nivel de red vial cantonal con la aplicación de un indicador de condición superficial basado en auscultación visual, contra planes de inversión basados en indicadores de capacidad estructural y de regularidad superficial.
2. Estudio de metodologías de inventarios viales, específicamente en deterioros superficiales y la determinación de los que más se apegan a las condiciones y necesidades municipales.
3. Realizar una auscultación visual de la red de caminos y carreteras de la municipalidad de Belén
4. Descripción de la metodología a emplear en la utilización de un indicador de condición superficial basado en auscultación visual como herramienta en la gestión de pavimentos para los gobiernos locales.
5. Elaboración de hojas de cálculo en el programa Excel, las cuales mediante un sistema de indicadores programados faciliten la priorización de los tramos de carretera sobre los cuales se deben invertir recursos.

1.3 Antecedentes teóricos y prácticos

Dentro del marco de administración de pavimentos flexibles, existen varios trabajos de graduación que se refieren a los temas, delimitando las aplicaciones a zonas geográficas específicas, y empleando diversas metodologías, sin considerar los diferentes escenarios que se pueden obtener al emplear únicamente índices de condición superficial basados en deterioros, en comparación a los datos obtenidos mediante ensayos de regularidad superficial y deflectometría.

Los pocos trabajos existentes sobre el índice de condición superficial basado en inventarios de deterioros para pavimentos flexibles, no han tenido la acogida necesaria por las administraciones municipales, esto a pesar de que algunas metodologías de evaluación tienen mucho tiempo en circulación en el exterior, y se han aplicado con resultados satisfactorios.

Existen varios proyectos del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica que se han encargado de la búsqueda de un catálogo de deterioros para las carreteras nacionales, así como trabajos de graduación de la Universidad de Costa Rica que buscan la obtención de un índice de condición superficial. Además de esto se han empleado datos de condición superficial, deflectometría y regularidad en la realización de planes de inversión sobre pavimentos, pero sin realizar planes de inversión exclusivamente a partir de datos de auscultación visual. Por lo tanto no se han comparado los resultados de gestiones con indicadores de condición superficial en relación con planes de inversión basados en indicadores de regularidad superficial y deflectometría.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcance

Las evaluaciones que se realizan contemplan únicamente las calles primarias, secundarias o de travesía del catón de Belén, aproximadamente 30 Km de carretera.

La creación de hojas de cálculo que faciliten la priorización de los tramos de carreteras, no contempla la creación de ningún programa computacional. Se empleará el programa Excel 2003 de Microsoft.

La metodología propuesta para la aplicación de un índice de condición de deterioros de pavimentos flexibles, no contemplará todas las variables que se puedan suscitar dentro del comportamiento del mismo, solo se emplearán las que por medio del análisis de información se considere relevante.

No se emplea ningún tipo de indicador social en la realización de las inversiones de capital sobre los tramos de carretera, todos los criterios de esta índole quedan abiertos a posteriores análisis al proyecto.

1.4.2 Limitaciones

La red de caminos y carreteras de la municipalidad de Belén contempla alrededor de 60,68 km pero se tienen únicamente valoraciones para 30km, los cuales se encuentran con datos de deflectometría y regularidad, por lo que los datos de condición superficial sólo se levantarán para las rutas ya estudiadas.

Para el caso de Costa Rica no existe en la actualidad un inventario que detalle los tipos de deterioros existentes para las vías del país.

Los datos empleados referentes a el Cantón de Belén son una muestra de un red vial cantonal urbana, dichos datos no representan las condiciones de todo el país. Por lo cual los resultados obtenidos a partir de los mismos son de carácter cualitativo y no cuantitativo.

Los datos de deflectometría y regularidad superficial fueron realizados en el año 2008, y la evaluación de condición superficial mediante auscultación visual fue realizada en octubre del 2010. A pesar de inferir los datos de las carreteras del cantón para el año 2010 mediante el uso de argumentos teóricos y suposiciones utilizadas en estudios anteriores, esto puede representar fuentes de error en la comparación con los datos del levantamiento visual.

El país no cuenta con una curva de deterioro de las carreteras basada en auscultación visual, que permita predecir el comportamiento de las carreteras con el paso del tiempo, aunado a esto no se dispone de información consistente que permita la creación de dicha curva. Por tales motivos se emplean curvas de origen foráneo a pesar de no estar basadas en la realidad nacional.

2.1 Gestión de pavimentos flexibles.

Para desarrollar sistemas de gestión, es necesario establecer metodologías que nos lleven a mejores condiciones del pavimento, y que a la vez se encarguen de reducir los costos. Por tales motivos es que hoy en día los sistemas de gestión de pavimentos se establecen como procesos sistemáticos los cuales se encuentran en una constante revisión y actualización según la experiencia adquirida y a la información cualitativa del desempeño del pavimento.

“Se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se puede prolongar a menor costo cuando se implementa un sistema de conservación a intervalos estratégicamente planeados. Se establece que los tratamientos de pavimentos no deben realizarse al azar, sino que se deben aplicar estratégicamente y de acuerdo a un programa que fomente la administración efectiva de la red vial” (Salomón, D. 2008).

La serie de actividades que tiene como propósito retardar el deterioro del pavimento empleando tratamientos de bajo costo se definen como conservación de pavimentos. Estos tratamientos se encargan de aumentar la vida útil de los pavimentos, además de ahorrar molestias a los usuarios del sistema.

La idea central de la gestión de pavimentos es aplicar el tratamiento correcto, en el momento correcto, al pavimento correcto. Lo que implica la identificación oportuna de las necesidades del pavimento.

Es importante hacer notar que aproximadamente el 40% de los deterioros de un pavimento surgen en el 75% de la vida útil de una carretera, lo cual permite establecer mantenimientos preventivos que nos ayuden a prolongar la vida de la estructura, antes

de que se llegue a las etapas donde los costos son más elevados. A continuación la figura 2.1 nos muestra una condición típica de deterioro del pavimento.

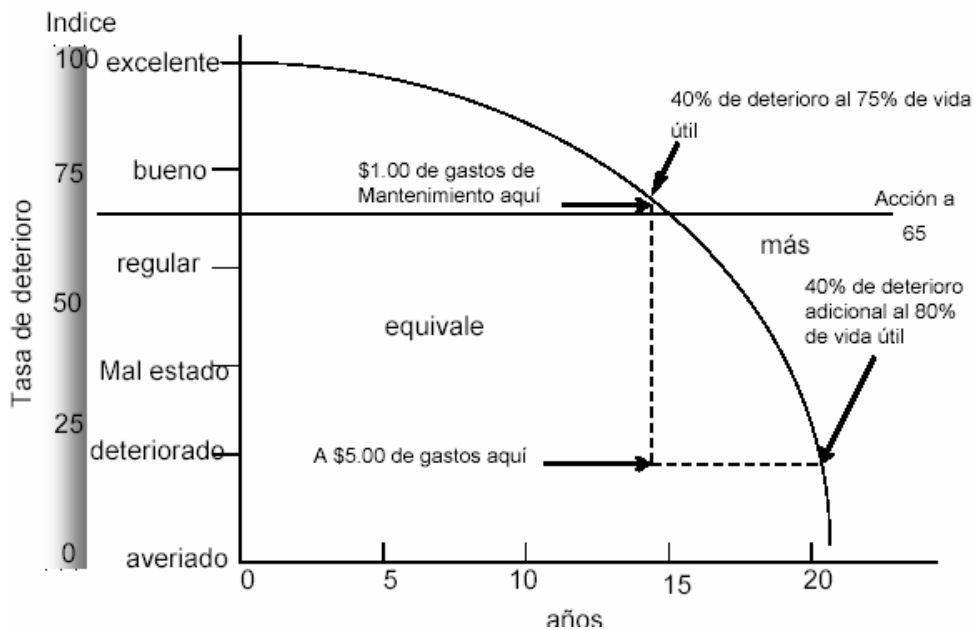


Figura 2.1: Curva típica del deterioro de un pavimento

Fuente: Salomón, D. 2008

Las necesidades de intervención en una carretera se pueden tipificar en tres grupos, el primero compuesto por todos los tratamientos preventivos, el segundo por la necesidad de rehabilitación y el último es la reconstrucción. Por lo general la reconstrucción y la rehabilitación son de muy alto costo en comparación con los tratamientos preventivos. “Cada dólar invertido hoy en el mantenimiento preventivo, evita el gasto de cinco dólares en rehabilitación. Un tratamiento hecho ‘a tiempo’ es crítico para asegurar un buen desempeño de los pavimentos. La conservación de pavimentos le ofrece a las organizaciones gubernamentales una manera efectiva de extender sus presupuestos y proteger a largo plazo la infraestructura vial.” (Salomón, D. 2008). A continuación la figura 2.2 nos muestra un ejemplo de las relaciones entre el costo y la intervención a lo largo de la vida útil de una carretera.

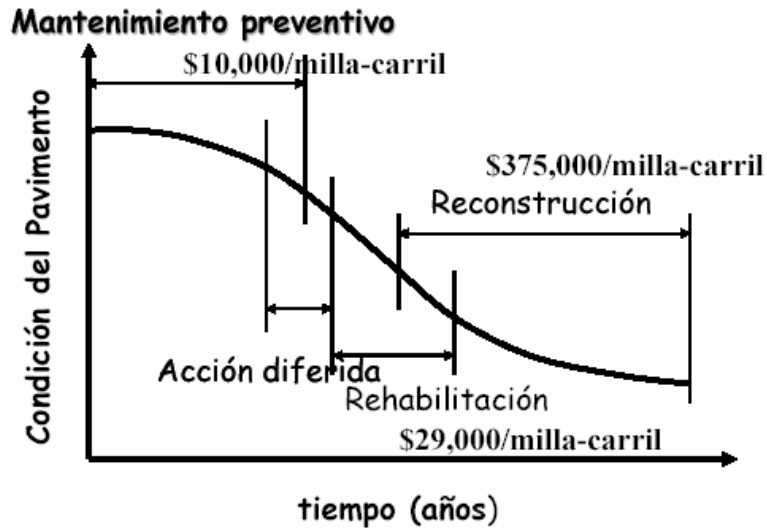


Figura 2.2: Costos relativos a mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción.

Fuente: Salomón, D. 2008

Un programa de conservación del pavimento eficaz se encarga de intervenir las estructuras de pavimento cuando estas todavía están en condiciones buenas, antes de la aparición de deterioros graves. Mediante la aplicación de un tratamiento que represente un bajo costo en relación al beneficio, se puede lograr restaurar la condición del pavimento cercana a su estado original.

El efecto acumulativo del empleo sistemático de tratamientos preventivos se encarga de retardar las costosas intervenciones de rehabilitación o reconstrucción, obteniendo una ganancia económica importante al final de la gestión, además de evitar todas las incomodidades y pérdidas económicas al usuario por el cierre de vías por largo tiempo, normalmente asociado a los trabajos de reconstrucción.

Mantenimiento preventivo: Este consiste en los trabajos realizados sobre las carreteras que tratan de contener el avance de los deterioros, ayudando a minimizar las inversiones de capital para mantener el sistema en condiciones óptimas de servicio.

Rehabilitación: Consiste en mejoras estructurales que extienden la vida útil del pavimento existente y en muchos casos mejoran las capacidades de carga de la vía. Por lo general las técnicas más habituales de rehabilitación incluyen tratamientos de restauración y superposiciones estructurales. Las rehabilitaciones proveen a la carretera de una nueva superficie de rodamiento dando a los usuarios un transitar más seguro y confortable.

Reconstrucción: Es el reemplazo de la estructura del pavimento por la colocación de una nueva estructura del pavimento equivalente o mayor. La reconstrucción por lo general requiere la eliminación completa y la sustitución de la estructura del pavimento. Los costos asociados a esta intervención son muy altos, y sólo se aplican a las carreteras en estados deplorables.

2.1.1 Sistemas de administración de infraestructura vial

La infraestructura vial comprende todos los elementos que van de cerca a cerca a lo largo de una carretera, se compone tanto de aspectos que inciden en la operación de la vía, como de aspectos que afectan el entorno.

El pavimento es el elemento principal de la infraestructura vial, de este dependen la mayoría de los costos del usuario, igualmente este elemento es el que consume la mayor parte de los recursos económicos y financieros tanto para su construcción como para su mantenimiento. Con el fin de administrar correctamente todos los elementos que componen un sistema de transporte, es que surge la gestión de la infraestructura vial, esta gestión comprende; "el conjunto de operaciones que tiene como objetivo conservar por un periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad, y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión. Todo lo anterior minimizando los costos monetario, social y ecológico" (Solminihac, H. 1998).

Con el propósito de mantener las condiciones apropiadas de las vías para todos los usuarios, se inserta la prioridad de construir caminos de buena calidad, y de ser necesario intervenir en ellos de forma pertinente. Se debe realizar un esquema de conservación de red que garantice:

- Adecuada conservación de caminos de la red a un costo apropiado.
- Mantenimiento de la red vial siguiendo un programa a largo plazo.
- Optimizar el costo y los beneficios del sistema racionalizando el uso de los recursos.
- Control permanente de los efectos sobre el medio ambiente.
- Implementación de un control de la efectividad de la conservación.

2.1.1.1 Sistemas de administración de pavimentos (SAP)

Los sistemas de administración SAP surgen como respuesta a la necesidad de una herramienta que permitiera invertir los recursos disponibles de manera eficiente, buscando una mejora continua de la red de pavimentos.

Un sistema de gestión de pavimentos presenta una estructura general bien definida, compuesta por cinco pasos, a continuación se muestra la figura 2.1 donde se observan los pasos de los sistemas SAP:

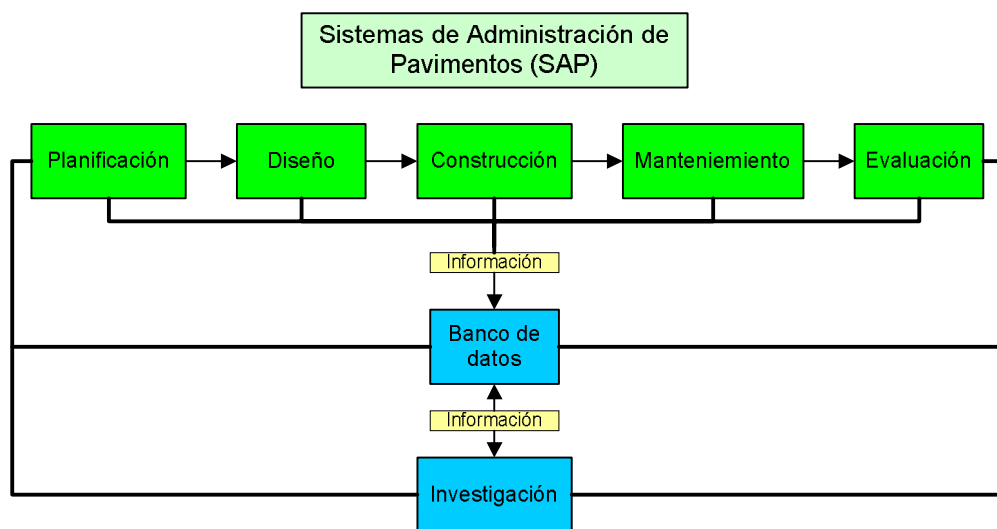


Figura 2.3: Estructura general de un sistema de gestión de pavimentos.
Fuente: Adaptado de Haas, 1993.

- Planificación: adquisición de la información de tránsito, evaluación de la red vial, establecimiento de prioridades y programación de trabajos.
- Diseño: Información de materiales, costos, tráfico, etc. Desarrollo de alternativas, análisis de las alternativas planteadas, selección.
- Construcción: Especificaciones de contratos. Programación del trabajo. Operaciones de construcción y control de calidad.
- Mantenimiento: Estándares, operaciones de mantenimiento, control de presupuesto.
- Evaluación: monitoreo periódico de las condiciones del pavimento.

El sistema es retroalimentado por los bancos de datos generados en el proyecto, y por los trabajos realizados en investigación de pavimentos.

2.1.1.2 Manejo de la información

Para una adecuada administración es necesario obtener la información suficiente que facilite dictaminar la condición de la red y el cambio de esta con el paso del tiempo, “Una base de datos que contenga información suficiente que sustente de manera técnica y fundamentada las inversiones que se deben realizar es fundamental para cumplir los objetivos establecidos por la agencia.”(López. S 2009). Dentro de la información necesaria se encuentran los datos históricos de las vías en relación de intervenciones y tránsito. Además es preciso tener datos de la condición actual, por lo que se han creado diversas metodologías y ensayos que ayuden a determinar la condición de la red en función de diversas características.

La gestión de pavimentos se encuentra enmarcada en la relación existente entre las solicitudes que va a tener la carretera a lo largo de su vida útil, que son básicamente tránsito y clima. Las características de diseño y construcción, son las encargadas de determinar el modo de respuesta de ellos, las cuales son medidas a partir de cualidades y características funcionales y estructurales como:

- Irregularidad superficial
- Resistencia al deslizamiento
- Deterioro superficial
- Comportamiento estructural

Para poder determinar las decisiones dentro de un sistema de administración de pavimentos es indispensable la incorporación de una evaluación de la red actual, y esta no puede ser llevada a cabo si no existe información de campo, que sea obtenida por medio de una metodología adecuada a las condiciones del país.

2.1.1.3 Indicadores de condición.

“Los indicadores de condición son estimadores que permiten calificar de forma cuantitativa o cualitativa el estado actual de un pavimento como resultado de un procedimiento que asocia la condición (calificación) de la estructura de pavimento con el deterioro observado mediante el proceso de auscultación sistemática del mismo. En la mayoría de los casos el procedimiento que asocia calificación con deterioro observado es de carácter matemático, es decir una expresión clasificándose en este caso en indicadores simples o combinados.” (Brenes. A 2007)

Los indicadores simples son aquellos que dependen de una sola característica para determinar la condición del pavimento, y se realizan con el propósito de una valoración en particular.

Los indicadores combinados son aquellos que emplean varios indicadores simples, por lo que emplean diversas características para su cálculo, y las repercusiones de la combinación de los mismos. Estos indicadores son comúnmente empleados en la toma de decisiones en la gestión de pavimentos.

Un indicador combinado es el PSI “Índice de habilidad de servicio presente” por sus siglas en ingles, este hace referencia a una calificación según la habilidad de servicio que presente el pavimento, esto con una escala de cero a cinco. Está en función de la extensión de los daños tales como; rugosidad, roderas, agrietamiento y baches. Además se describe mediante la siguiente fórmula:

$$PSI = 5,03 - 1.19 \log(1 + SV) - 1.38RD^2 - 0.01\sqrt{C + P} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

SV: medida de rugosidad de la superficie de rodamiento o varianza de las pendientes a intervalos de 30cm.

RD: profundidad medida de las roderas en pulgadas

C: área de agrietamiento en pies cuadrados

P: área de baches relativa, medida como unidades de baches por cada mil pies cuadrados de pavimento.

2.2 Condición superficial de los pavimentos flexibles

Una carretera está compuesta por una serie de capas de distintos materiales, con espesores y capacidades estructurales definidas, colocadas y conformadas para recibir y transmitir de forma reducida las cargas de tránsito al terreno (subrasante). La superficie de rodamiento es la capa superior de la calzada, la cual debe brindar una determinada capacidad estructural, regularidad, resistencia al deslizamiento y mantener una serviciabilidad aceptable para los usuarios.

Se define como deterioro superficial a todas las afectaciones en la capacidad estructural, resistencia al deslizamiento, regularidad y serviciabilidad que se pueden observar desde la superficie de rodamiento.

A nivel mundial se han creado diferentes manuales que tratan de tipificar los deterioros que se pueden encontrar en una calzada. Los mismos tratan de adecuarse a las condiciones climáticas, geométricas y estructurales de los lugares de origen. A continuación se muestran los deterioros más comunes para el caso de Costa Rica.

2.2.1 Deterioros superficiales más comunes de Costa Rica.

2.2.1.1 Grieta longitudinal (en las marcas de rodamiento)

Son las grietas en la carretera que aparecen en las zonas donde suelen pasar las llantas de los vehículos, las cuales van paralelas a la línea de centro de la calzada.

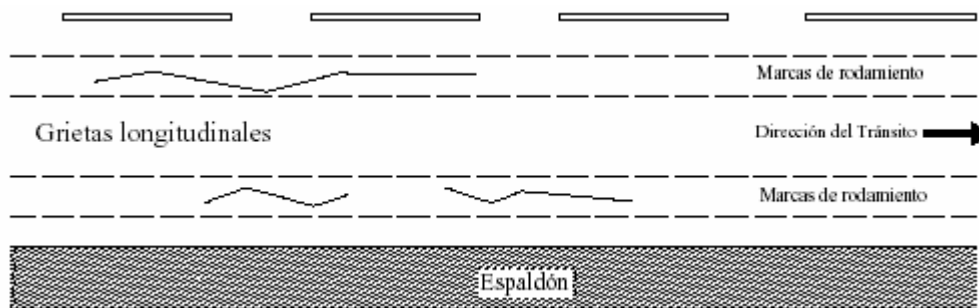


Figura 2.4: Grietas longitudinales

Posibles causas:

- Cargas repetitivas en el pavimento, ocurre en huella de carros por fenómeno de fatiga (Debilidad Estructural).
- Base Inestable, Deficiente espesor de Pavimento.
- Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto.

2.2.1.2 Grieta longitudinal (No asociada a solicitaciones de carga)

Son grietas paralelas a la línea centro de la carretera, pero que no se encuentran dentro de la zona de paso de las ruedas de los vehículos.

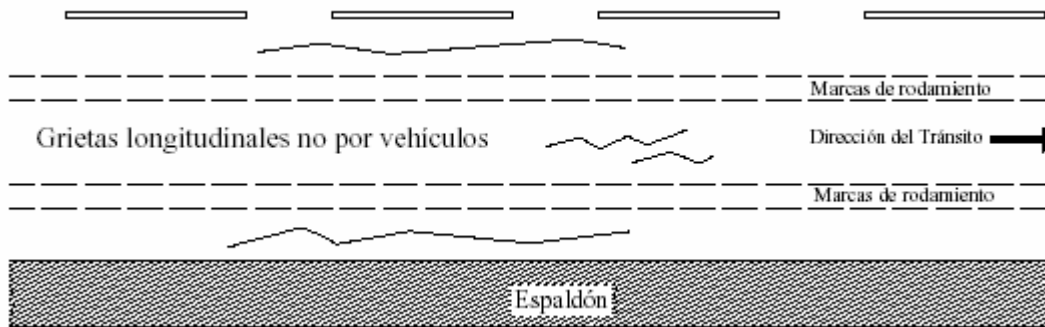


Figura 2.5: Grietas longitudinales no producidas por vehículos

Posibles causas:

- Deformación de la superficie del pavimento o tensión y compresión de la misma, las grietas producto de esto comienzan en la superficie y luego descienden.
- Pueden ser producto de una deficiencia constructiva (Base inestable, mal drenaje, ligantes asfálticos muy duros, entre otras) o el reflejo de otra grieta por debajo, no son producto de las cargas y no se ubican en las líneas de ruedo.
- Juntas longitudinales de construcción inadecuadamente trabajadas.

2.2.1.3 Grietas transversales

Son las grietas que se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de la construcción. Usualmente este tipo de grietas no están asociados con carga.

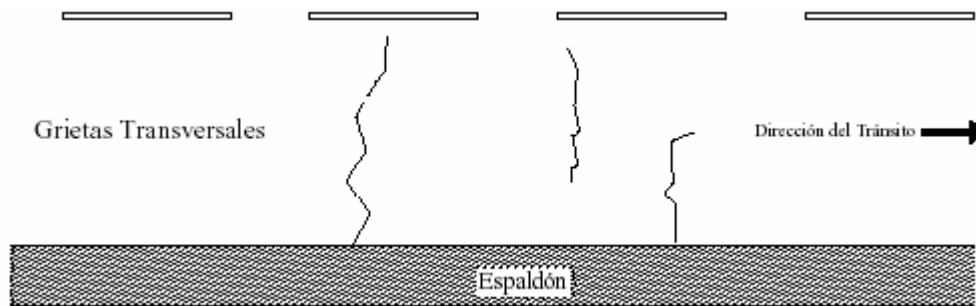


Figura 2.6: Grietas transversales

Posibles causas:

- Deformación de la superficie del pavimento o tensión y compresión de la misma, las grietas producto de esto comienzan en la superficie y luego descienden.
- Pueden ser producto de una deficiencia constructiva (Base inestable, mal drenaje, ligantes asfálticos muy duros, entre otras) o el reflejo de otra grieta por debajo, no son producto de las cargas y no se ubican en las líneas de ruedo.
- Juntas longitudinales de construcción elaboradas inadecuadamente.

2.2.1.4 Cuero de lagarto (fatiga)

Es un grupo de grietas interconectadas, las cuales forman polígonos de ángulos agudos que se desarrollan en un patrón que se asemeja a la malla de un gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.6 m.

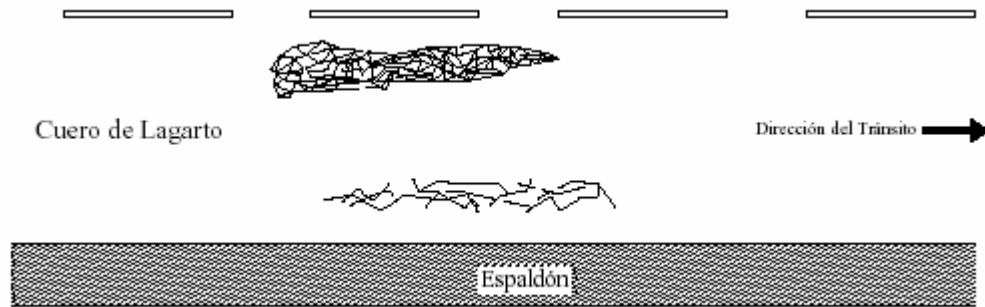


Figura 2.7: Cuero de lagarto

Posibles causas:

- Falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil.
- Ligante Envejecido.
- Subdrenaje inadecuado en sitios aislados.

2.2.1.5 Grietas en bloque

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar de tamaño de 0.3 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito.

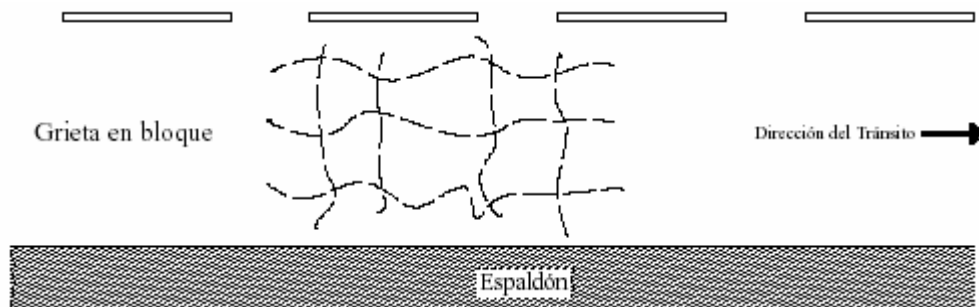


Figura 2.8: Grietas en bloque

Posibles causas:

- Se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria).
- Por el reflejo de grietas en capas estabilizadas.
- Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

2.2.1.6 Juntas de construcción

Son las grietas que ocurren a lo largo de las juntas de construcción. Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland o en la junta de una base granular con una base estabilizada.

El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

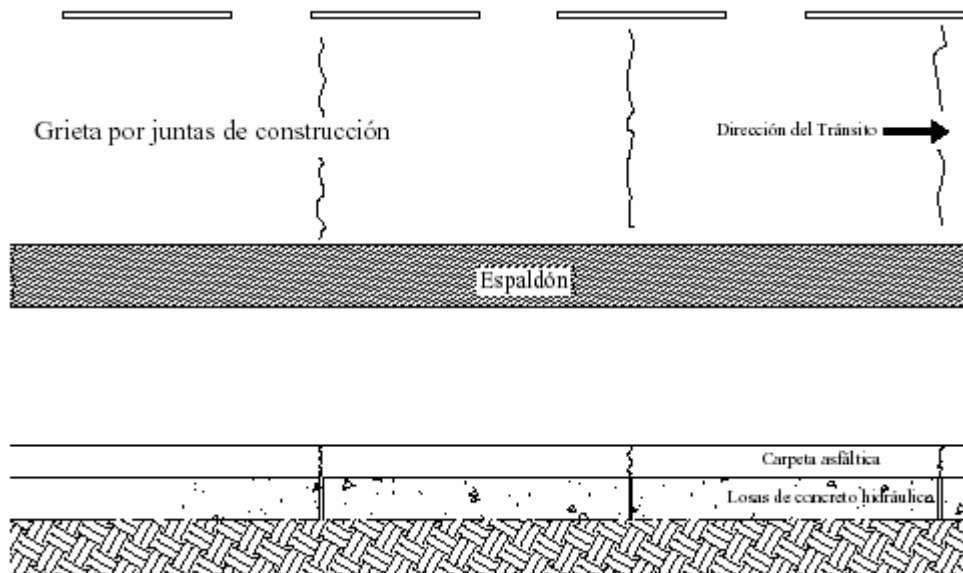


Figura 2.9: Grietas por juntas de construcción

Posibles causas:

- Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto, como resultado de cambios de temperaturas o cambios en los contenidos de humedad.
- El tránsito puede producir la rotura de la capa asfáltica en la proximidad de las fisuras reflejadas, resultando en peladuras y eventualmente baches.

2.2.1.7 Grietas en arco

Son grietas en forma de media luna creciente. Generalmente ubicadas en zonas de aceleración y desaceleración.

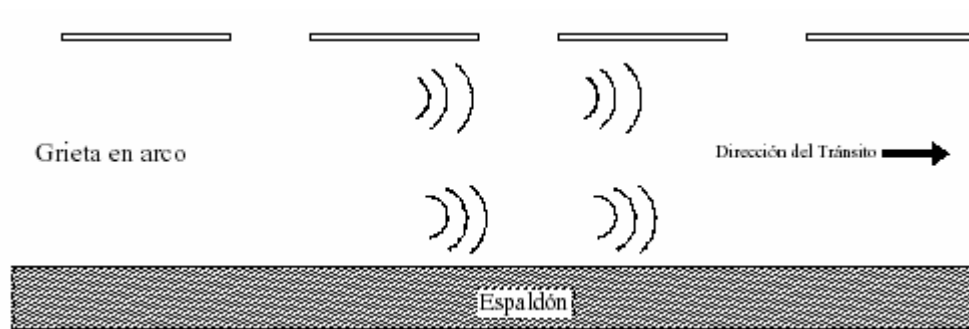


Figura 2.10: Grietas en arco

Posibles causas:

- Se producen cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un corrimiento y deformación de la superficie de pavimento.
- Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento.
- Espesores de carpeta muy reducidos sobre superficies pulidas, especialmente sobre pavimentos de concreto, suelen ser causas primarias en muchos casos.
- Se observan generalmente en paradas de autobuses y en intersecciones controlados por semáforos, alto y ceda.

2.2.1.8 Grietas de borde

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento.

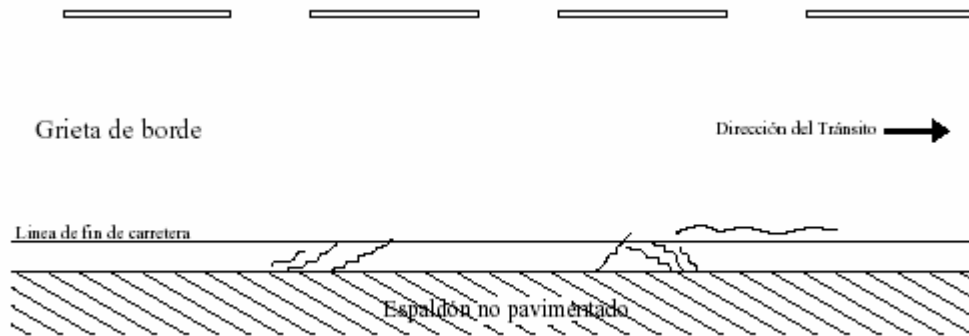


Figura 2.11: Grietas de borde

Posible causa:

- Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento, menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, entre otras

2.2.1.9 Roderas o ahuellamiento

Es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados de las roderas. El deterioro puede ser observado a simple vista, pero en muchos casos, éste es más evidente después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua.

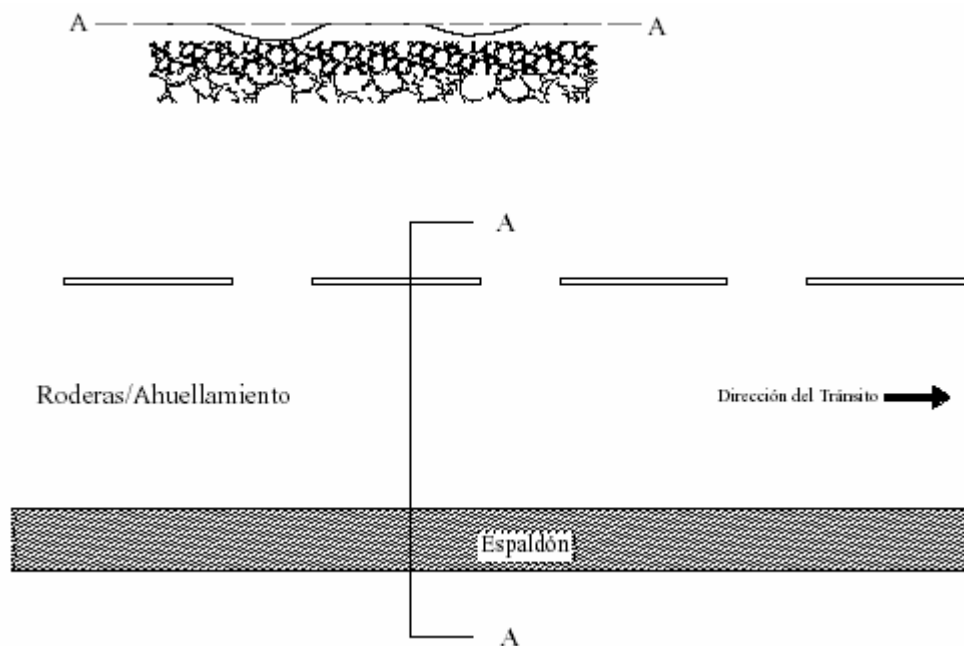


Figura 2.12: Roderas

Posibles causas:

- Pavimento suave debido a una mezcla pobre.
- Insuficiente espesor de capa asfáltica.
- Las capas estructurales pobremente compactadas.
- Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma.
- Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad.
- La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).
- Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad, entre otras.

2.2.1.10 Desplazamientos o corrimientos

Es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito.

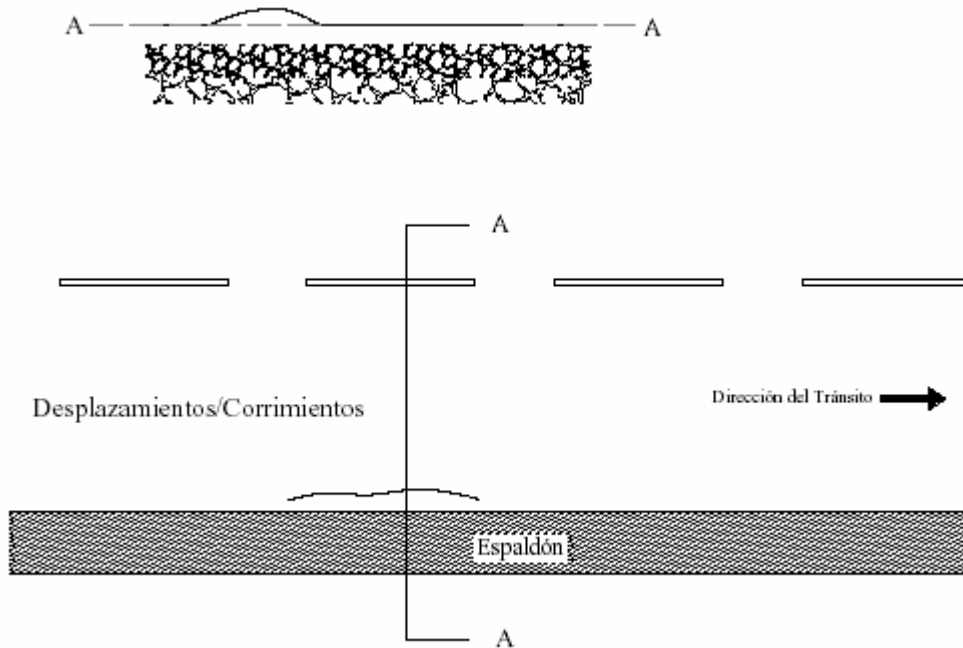


Figura 2.13: Desplazamientos/corrimientos

Posibles causas:

- Son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, mala graduación del agregado, o bien, por falta de confinamiento lateral.
- Inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación.

2.2.1.11 Ondulaciones

Es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito.

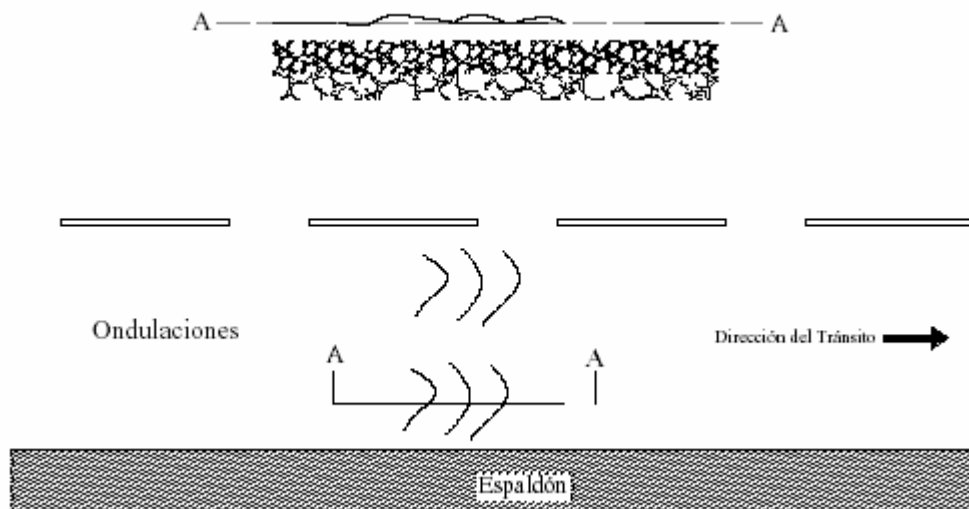


Figura 2.14: Ondulaciones

Posibles causas:

- Este tipo de falla es ocasionada por la acción del tránsito (circulación lenta en pendientes, frenado en intersecciones, entre otras) sobre las capas superficiales (carpeta o base del pavimento).
- Dosificación de ligante (asfalto) inadecuado, agregados redondeados, ligantes (asfalto) blandos

2.2.1.12 Hinchamientos

Se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento, una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial.

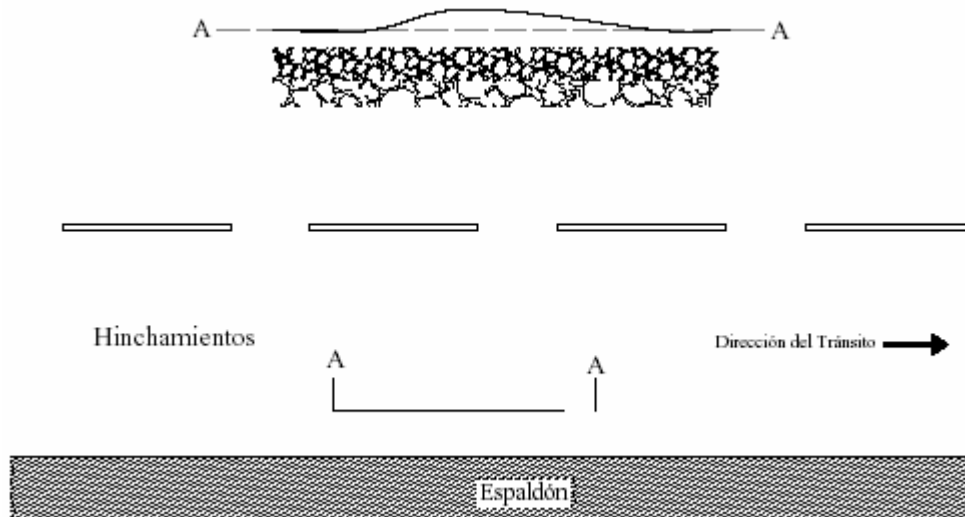


Figura 2.15: Hinchamientos

Posibles causas:

- Expansión de los suelos de subrasante.
- Levantamiento de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
- Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito

2.2.1.13 Hundimientos

Son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

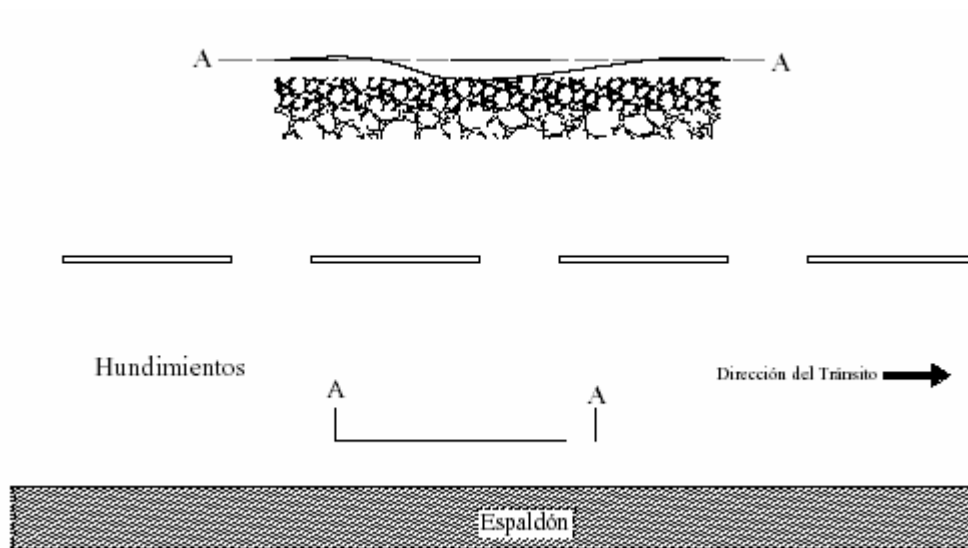


Figura 2.16: Hundimientos

Posibles causas:

- Asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción.
- Asentamientos de los drenajes por falta de mantenimiento adecuado.
- Combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.

2.2.1.14 Pulimento

Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo.

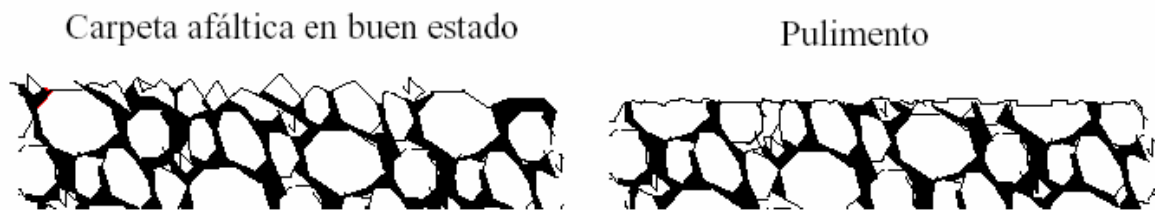


Figura 2.17: Pulimento

Posibles causas:

- Repetición de las cargas de tránsito.
- Mezcla inadecuadamente proporcionada, demasiada segregación en la colocación.
- Uso de agregados suaves (por ejemplo; calizas) susceptibles al pulimento.

2.2.1.15 Desprendimiento de agregado

Es la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado.

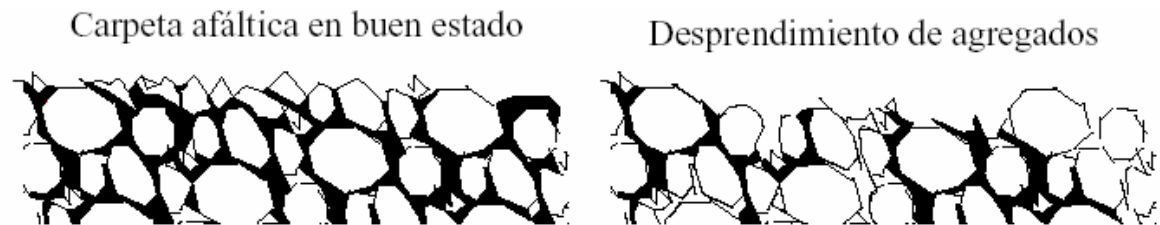


Figura 2.18: Desprendimiento de agregados

Posibles causas:

- Esparcido irregular del asfalto, mezcla pobre, el asfalto se ha endurecido en forma apreciable.
- Agregado árido inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, agregado sucio, con polvo adherido.
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.
- Puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

2.2.1.16 Huecos

Son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes puntiagudos y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo.

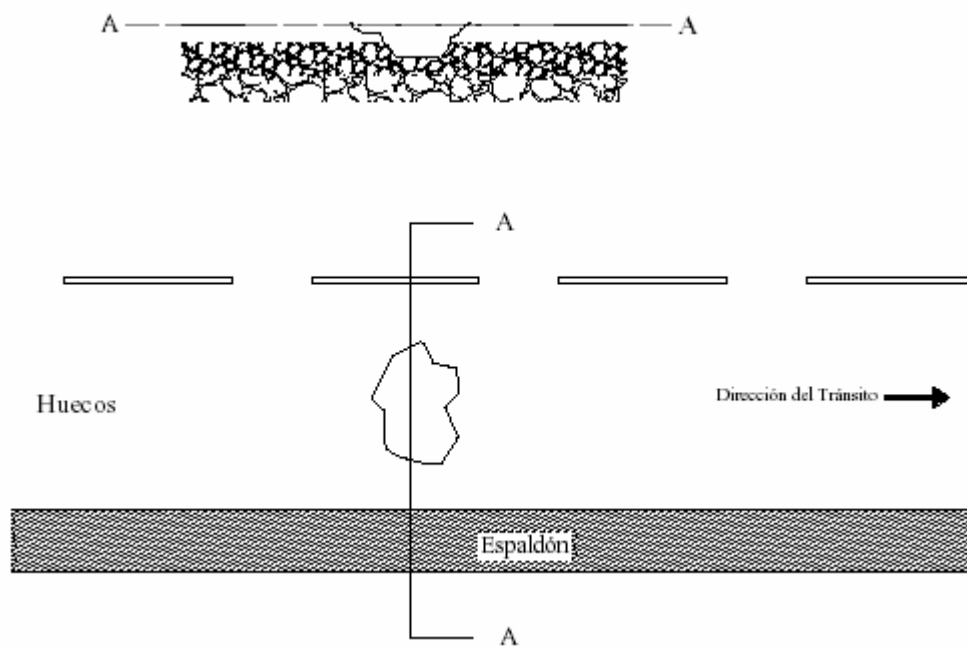


Figura 2.19: Huecos

Posibles causas:

- Fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas.
- Acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento.

2.2.1.17 Parches

Es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

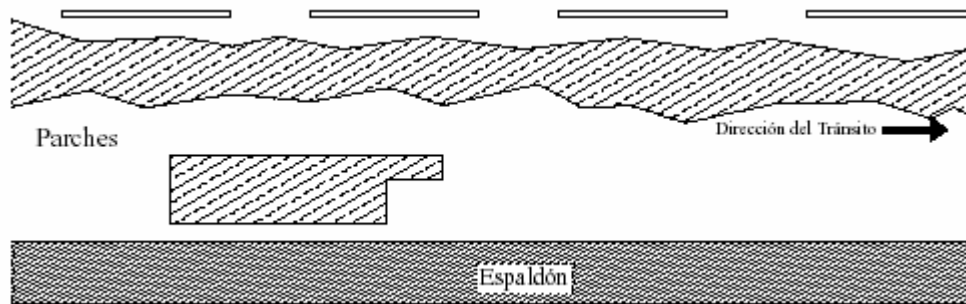


Figura 2.20: Parches

Posibles causas:

- Acometidas de servicios públicos (AyA, ICE, CNFL), ya sea por mantenimiento del sistema, o colocación de nuevos tramos de la red.
- Reparación de huecos.

2.2.1.18 Exudación

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa.

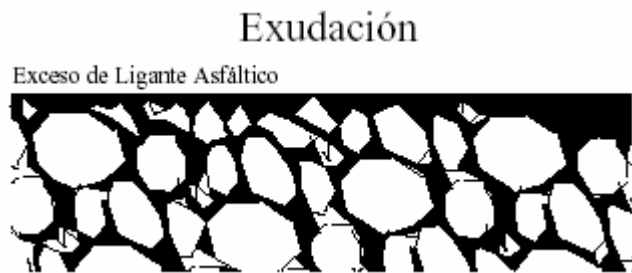


Figura 2.21: Parches

Posibles causas:

- Exceso de ligante (asfalto) en la dosificación
- Uso de ligante (asfalto) muy blando
- Derrame de solventes

2.2.1.19 Escalonamiento entre calzada y espaldón

Es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y el espaldón.

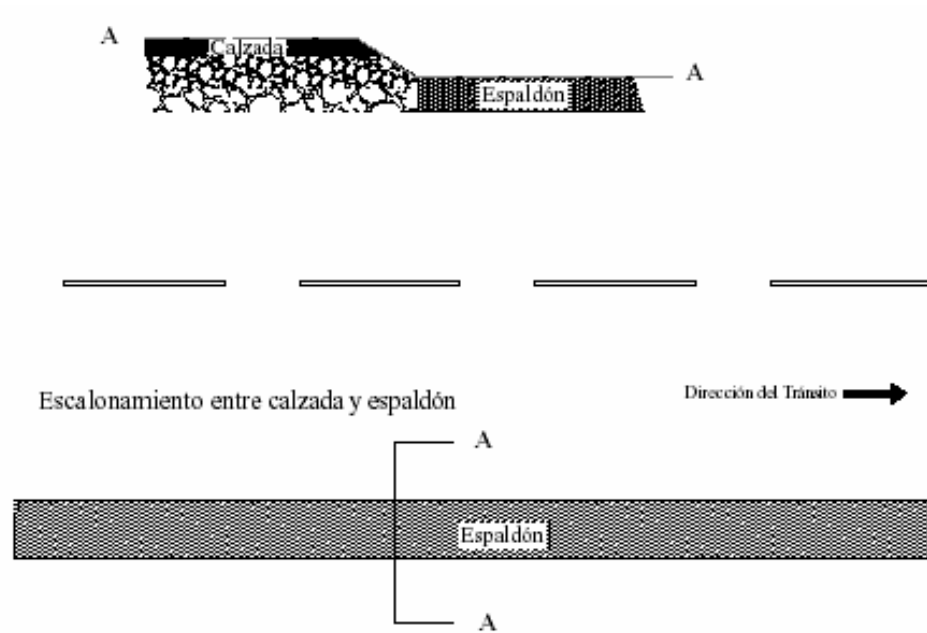


Figura 2.22: Escalonamiento entre calzada y espaldón

Posible causa:

- Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin completar el ancho del pavimento hasta el espaldón.

2.2.2 Catálogos de deterioros superficiales

Los deterioros de los pavimentos son producto de diversas causas, tales como errores constructivos, especificaciones incorrectas en la etapa de diseño, envejecimiento de los pavimentos flexibles, intemperismo y cargas de tránsito, además de propiedades físicas de los materiales inadecuadas a las exigencias de la carretera. A cada uno de los deterioros de una vía, puede atribuírsele una de las causas mencionadas, o a la combinación de dos o más de las anteriores.

Por medio de un proceso de auscultación se puede identificar, cuantificar y estimar la procedencia de los diferentes deterioros de una carretera.

“Los daños de los pavimentos informan sobre su condición y causas posibles de la misma. El inventario de los daños representa una información fundamental en el proceso de evaluación del estado del pavimento. Existen múltiples catálogos de daños que representan metodologías para establecer índices, al establecer los tipos de daños se pueden determinar las causas posibles y las soluciones para la condición del deterioro y se pueden jerarquizar de acuerdo con la prioridad de la reparación y con su efecto sobre la comodidad y la seguridad para el usuario y sobre el estado del pavimento, lo cual permite planificar los recursos y las soluciones” (Ceron. V 2006)

“Un catálogo de deterioro es un compendio descriptivo de todos los tipos de deterioro, o los más relevantes para un determinado análisis, que se manifiestan en un proyecto particular o en un sistema de vías (red vial). En este compendio los tipos de daño se organizan por importancia u origen y se establecen para cada uno, niveles de severidad y extensión del daño.” (Brenes. A 2007)

Existe una amplia gama de catálogos de condición superficial, los cuales tratan de contener los deterioros más comunes en la zona de trabajo. Por lo que el ideal de cada sistema de administración de pavimentos es contar con un catálogo de deterioros superficiales que se adecue a las características de la zona.

En Costa Rica dentro del sistema administrativo de pavimentos no se cuenta con un catálogo autóctono, por lo que se trata de emplear el manual que más se adecúe a la

realidad nacional. A continuación se presenta una reseña de los catálogos de mayor influencia.

2.2.2.1 Pavement surface condition field rating manual for asphalt Pavements

Catálogo de deterioros producido por Northwest Pavement Management Association, bajo el auspicio de Northwest Technology Transfer Center, Transaid Service Center y Washington State Department of Transportation. El manual expone catorce diferentes tipos de deterioros superficiales sobre el pavimento, los cuales se clasifican según el tipo de defecto, la severidad, la extensión y afectación que sufra la superficie de rodamiento. Los deterioros superficiales contemplados son los siguientes:

1. Roderas y desgaste
2. Cuero de Lagarto (alligator Cracking)
3. Grietas longitudinales
4. Grietas longitudinales no producidas por las ruedas
5. Grietas transversales
6. Erosión y envejecimiento del pavimento
7. Pulimento y sangrado
8. Baches
9. Baches extensos (Original WSDOT patching)
10. Ondulaciones y corrugaciones.
11. Levantamientos y hundimientos.
12. Grietas en bloque
13. Condiciones de borde del pavimento.
14. Estado de la junta de unión.

El manual presenta la característica de que se pueden realizar las mediciones desde un vehículo a una velocidad máxima de 4 millas por hora, siempre que se posea un estudio previo de comparación de los valores obtenidos mediante la auscultación en vehículo y con los datos obtenidos de las auscultaciones realizadas caminado.

2.2.2.2 Flexible Pavement Distress Identification Nevada DOT

Manual de identificación de deterioros del pavimento realizado por Nevada Department of Transportation, publicado en junio del 2002 por la división de materiales. El objetivo del catálogo es determinar una guía para la evaluación de los deterioros de manera objetiva y repetible. Clasifica los deterioros en cuatro grupos; grietas, deformaciones de la superficie, baches y defectos de la superficie. Estos grupos a su vez se subdividen en diferentes deterioros, según su forma u origen, lo que da como resultado ocho clases de deterioros:

1. Grietas por fatiga.
2. Grietas longitudinales no producidas por carga.
3. Grietas transversales
4. Grietas en bloque
5. Abultamientos y roderas.
6. Baches
7. Pulimento
8. Erosión

El manual presenta la peculiaridad de que en la consideración de las severidades se contempla las diferencias que existen entre los carriles externos e internos de una vía, además de las zonas de aceleración y desaceleración, así como las zonas de intersección y carriles de carga pesada.

2.2.2.3 M.5.1 Manual de deterioros de pavimentos flexibles

Conocido como el manual Iberoamericano, fue producido para el Consejo de directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, en base al aporte de los miembros del Consejo con la coordinación de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México. Este manual se encarga de englobar los deterioros en tres grandes grupos; deterioros de la superficie, deterioros de la estructura y deterioros por defectos constructivos. Estos al subdividirse contemplan dieciséis tipos de deterioros los cuales son:

1. Pérdidas de agregados

2. Pérdida de capa de rodadura
3. Pérdida de la base
4. Exudación del ligante
5. Desgaste de áridos
6. Exposición de agregados
7. Deformaciones
8. Roderas
9. Canalizaciones (blandones)
10. Baches profundos
11. Ondulaciones
12. Grietas longitudinales
13. Grietas transversales
14. Fisuras, solas o en retícula (malla)
15. Piel de cocodrilo (malla cerrada)
16. Deterioros por defectos constructivos

Este catálogo no busca establecer una calificación para la carretera a partir de la condición superficial, sólo establece el deterioro, su severidad y una posible solución. “En la literatura especializada de pavimentos, los fines didácticos perseguidos orientan el ordenamiento de los deterioros atendiendo a sus causas y origen, más que a las labores para su corrección. El interés del presente Catálogo se orienta a las evaluaciones con miras a los trabajos de conservación, rehabilitación o reconstrucción.”(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002).

Los deterioros contemplados incluyen los propuestos por España, Chile, Nicaragua y México. Es importante tomar en cuenta el hecho de que Nicaragua fuera incluida dentro del catálogo, ya que es un país vecino, con condiciones más cercanas a la realidad de las carreteras nacionales. Este catálogo describe las posibles causas de los deterioros y las posibles soluciones, lo cual es de gran aporte para el establecimiento de la gestión de pavimentos.

2.2.2.4 Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project

Manual publicado por Strategic Highway Research Program (SHRP), producido para el departamento de transportes de los Estados Unidos de Norteamérica. Este manual es realizado a partir de una gran investigación, en la cual por casi 20 años se dedicaron a estudiar en toda la nación estadounidense y otros 15 países el comportamiento del pavimento en alrededor de 1000 secciones de control, las cuales se encontraban debidamente instrumentadas para los diferentes volúmenes de tránsito, clima y condiciones de carga.

El catálogo subdivide en cinco categorías; grietas, baches y abultamientos, deformación de la superficie, defectos de la superficie, y misceláneos. Los cuales a su vez, se subdividen en quince diferentes tipos de deterioros, los cuales son:

1. Grieta por fatiga
2. Grieta en bloque
3. Grieta de borde
4. Grieta longitudinal
5. Grietas en juntas
6. Grieta transversal
7. Deterioro de los baches
8. Huecos
9. Roderas
10. Desplazamientos
11. Exudación
12. Pulimento de agregados
13. Textura
14. Bombeo o salida de agua
15. Salida al espaldón

El manual es bastante amplio en las explicaciones que realiza en referencia a los deterioros, además incluye la salida al espaldón.

2.2.2.5 Distress identification manual for the long-term pavement performance Program

Producido para el departamento de transportes de los Estados Unidos de Norteamérica por la Administración Federal de Carreteras (FHA). Este catálogo es básicamente una nueva versión del SHRP, el cual fue publicado en el año 1993 bajo un arduo programa de investigación. El *FHA manual* no evidencia diferencias en relación al manual publicado por *SHRP*, se trabaja de igual manera todos los deterioros, ubicándolos en las mismas cinco categorías y determinando los mismos quince deterioros, aplicando los mismos criterios de severidad.

2.2.2.6 Catálogo Centroamericano de daños a pavimentos viales

Es parte del manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras bajo el auspicio de la secretaria de integración económica Centroamericana (SIECA). El catálogo es un resumen de las fallas más corrientes que se encuentran en la región. Encada uno de los deterioros se incluye una descripción, posibles causas, niveles de severidad, medición y un esquema representativo de la falla. También están incluidas fotografías de las fallas, para ayudar al evaluador a catalogar en campo la falla, como parte de inspecciones viales. Se contemplan cuatro grupos de afectaciones; fisuras y grietas, deformaciones superficiales de pavimentos asfálticos, desintegración de los pavimentos asfálticos y otros deterioros en los pavimentos asfálticos. Los cuales a la vez se subdividen en dieciséis deterioros los que son:

1. Fisuras piel de cocodrilo
2. Fisuras en bloque
3. Fisuras en arco
4. Fisura transversal
5. Fisura longitudinal
6. Fisura por reflexión de junta
7. Ahuellamiento
8. Corrimiento
9. Corrugación
10. Hinchamiento
11. Hundimiento

12. Bache
13. Peladura
14. Desintegración de bordes
15. Exudación de asfalto
16. Parchados y reparaciones de servicios públicos

2.2.2.7 Pavement condición index ASTM D6433-03

El catálogo presente se encuentra estandarizado por la American Society for Testing and Materials en la norma ASTM D6433-03, en el cual se incluyen deterioros existentes en el país así como afectaciones fuera de lugar para Costa Rica. El objetivo del catálogo es el de otorgar una calificación al tramo en evaluación a partir de los daños percibidos en la superficie de pavimento. Los deterioros contemplados son:

1. Piel de cocodrilo
2. Exudación
3. Agrietamiento en bloque
4. Abultamiento y hundimientos
5. Corrugación
6. Depresión
7. Grieta de borde
8. Grieta de reflexión de junta
9. Desnivel de carril -berma
10. Grietas longitudinales y transversales
11. Parche y acometidas de servicios públicos
12. Pulimento de agregados
13. Huecos
14. Cruce de vía férrea
15. Ahuellamiento
16. Desplazamiento
17. Grietas parabólicas
18. Hinchamiento
19. Desprendimiento de agregados

Este catalogo presenta todos los deterioros superficiales típicos de Costa Rica, además de presentar métodos objetivos de mensurar de los daños.

2.2.2.8 Catálogo VIZIR

Es un método de evaluación de carreteras, basados en la experiencia de técnicos franceses en diagnósticos de pavimentos y evaluaciones de redes de carreteras. En lo que a la red carretera francesa se refiere, la investigación dio inicio con 80 000 km de red nacional entre 1965 y 1967, además de regiones del tercer mundo como África. Esta metodología se ha consolidado con múltiples intervenciones fuera de Francia a lo largo de los últimos años. En Costa Rica es el catálogo más ampliamente utilizado y estudiado por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

El catálogo clasifica los deterioros en dos grandes grupos; Daños tipo A y Daños tipo B, los cuales a la vez se subdividen en diez deterioros, los cuales son:

1. Deformación, ahuellamiento
2. Fisura de fatiga.
3. Cuero de lagarto
4. Reparaciones
5. Fisura de junta longitudinal
6. Huecos o baches
7. Movimientos de material
8. Fisura de retracción térmica
9. Fisura de retracción arcillosa
10. Espaldón
11. Erosión

Este es el catálogo más empleado en el país, ya que se encuentra implementado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

2.2.3 Determinación del catálogo a emplear

El papel que cumplen los manuales de deterioros dentro de la gestión de pavimentos es de suma importancia, ya que a partir de los mismos se puede dar una calificación a toda la estructura del pavimento, dichos datos tienen como finalidad la elaboración de metodologías de priorización de inversiones sobre el sistema de carreteras, que den como resultado un estado óptimo de la red.

Según el marco en que se evalúen las condiciones superficiales, así mismo serán los objetivos que se puedan alcanzar. Por lo tanto, el catálogo ideal es aquel que pueda satisfacer todas las necesidades del usuario, y que sea lo suficientemente versátil para adaptarse a las condiciones climáticas, geométricas y geográficas de la zona en que va a ser empleado. Esto sólo sería posible bajo la fabricación de catálogos para cada región, lo cual implica grandes procesos de investigación e inversión de capital. No obstante muchos de los manuales revisados en el apartado 2.3 poseen características que se adecuan a las condiciones nacionales.

Las publicaciones evaluadas son de origen foráneo, a excepción del manual Centroamericano, que trata de homologar todas las consideraciones que se tienen en el istmo en relación a los deterioros superficiales. Lo que indica que el manual fue concebido bajo características similares a las necesidades del país. Pero la principal carencia de este manual es que no indica la relación existente entre el deterioro, ya sea un hueco, deformación, etc. y la condición general de la carretera, además de la afectación que un determinado deterioro produce en combinación con otros deterioros.

Todos los manuales analizados tienen como finalidad determinar los deterioros y clasificarlos en un pertinente rango de severidad, pero los manuales VIZIR y ASTM D6433-03 mediante un indicador de condición superficial se encarga de dar una calificación al tramo de carretera evaluado en relación con la afectación de la combinación de los deterioros sobre la vía, lo cual resulta trascendental en la gestión de pavimentos.

De la revisión de manuales de deterioros superficiales, se pueden notar que no todos poseen los deterioros típicos a las condiciones de las carreteras nacionales. Además sólo dos manuales contienen indicadores de condición superficial, por lo tanto la escogencia de los catálogos se reduce a dos propuestas, el VIZIR y la norma ASTM.

La metodología VIZIR es una de las que presenta mayores facilidades de manejo en campo, ya que denota claramente las diferencias entre una falla estructural y una falla funcional. Además posee un espectro menor de deterioros, ya que solo cuenta con once tipos de deterioros, y la manera en que se recolectan los datos es de fácil tratamiento.

A pesar de que la metodología VIZIR es muy competitiva en el trabajo de campo, es una herramienta careciente en la gestión de pavimentos flexibles, ya que no abarca todos los deterioros que pueden ocurrir dentro de un tramo de carretera, los cuales si influyen en la calidad de la vía.

La metodología VIZIR con del indicador de condición I_s sólo emplea tres rangos de calificación para el tramo de estudio; 1-2 superficies en buenas condiciones, 3-4 superficies en estado regular y 5-6 y 7 superficies en deficiente condición. Es una importante limitante en la observación del comportamiento de la carretera, ya que requerirá de fuertes cambios en su condición para que pueda denotar un cambio numérico o de categoría.

Por otro lado el "Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad." (Vázquez, L. 2002). Esta norma comprende todos los deterioros pertinentes a las carreteras del país, además las calificaciones del indicador de condición son muy eficientes, ya que van en una escala de 0 a 100 que permite una fácil visualización del estado de la vía.

Para la realización de gestión de pavimentos el indicador PCI obtenido de la norma permite establecer de manera práctica los rangos de las ventanas de operación, lo cual es trascendental para el planeamiento de las inversiones sobre la red.

Para este trabajo se propone el empleo del manual de deterioros de la norma ASTM D6433-03, ya que por las características que posee se adapta a las necesidades del proyecto. Para otros casos será necesario que el usuario revise la información que desea obtener, y buscar el catálogo que mejor se adapte a sus necesidades, así como la eventual inclusión de un catálogo de origen nacional.

El uso de la abreviatura PCI es referente al indicador de la condición del pavimento, el cual es ampliamente usado dentro de la literatura de pavimentos sin describir específicamente los datos bajo los cuales se establece el indicador.

Para los usos de este proyecto se establecen las siguientes condiciones con el fin de designar los datos sobre los cuales se basa el indicador.

PCI_A = Indicador de Condición del Pavimento basado en la los datos de auscultación visual, con el empleo de la norma ASTM D6433-03.

PCI_{SP} = Indicador de Condición del Pavimento basado en la los datos obtenidos mediante los ensayos de capacidad estructural y regularidad superficial, de los mismo se ampliara la información en el capítulo 4.

2.3 Indicador de condición superficial PCI_A .

El indicador PCI_A es una medida cuantitativa de la condición del pavimento, mediante la cual se pretende establecer una calificación que describa el funcionamiento del tramo de carretera. A continuación se presenta los rangos según la norma ASTM D6433-03 en que se clasifican las vías según la nota obtenida mediante la auscultación visual:

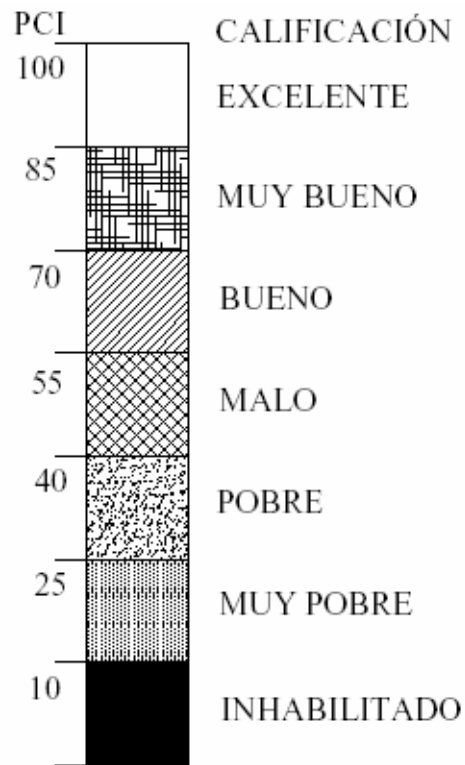


Figura 2.23: Calificación de la carretera por PCI_A
Fuente: Adaptado de la norma ASTM D6433-03

“El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional 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”. (Velásquez. L 2002).

2.3.1 Metodología de evaluación de la condición del pavimento.

La metodología esta diseñada para ser lo suficientemente versátil, como para analizar carreteras de concreto, asfalto y parqueos. Por lo tanto como paso inicial es necesario identificar qué tipo de estructura es la que se desea analizar.

Para el caso de pavimentos asfálticos es necesario seccionar las vías bajo cuatro características fundamentales:

- Diseño: El ideal sería poder establecer los espesores de las diferentes capas del paquete de pavimento y todas las características de diseño que afecten la capacidad estructural de la vía.
- Historial de construcción: Año de construcción de la carretera, metodología empleada y condiciones de la vía que puedan afectar en su estado actual.
- El volumen de tránsito: establecer si se trata de una carretera primaria, secundaria o terciaria, si son caminos urbanos o industriales. Además de establecer una medida o rango de tránsito promedio diario.
- Condición: establecer los tramos de carretera que posean características superficiales similares.

Con el establecimiento de las rutas o tramos de rutas se pueden dividir en unidades simples, con el fin de establecer secciones de evaluación. Para carreteras con calzada asfáltica se establece un rango de $230 \text{ m}^2 \pm 93.0 \text{ m}^2$ como medidas de las unidades de evaluación. Se presenta a continuación un cuadro de longitudes de unidades de evaluación para anchos de vías estándar.

Cuadro 2.1: Longitudes de unidades de muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de las unidades de muestreo
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3	31.5

Fuente: Velásquez. L, 2002.

El número mínimo de unidades de muestra se basa en el grado de certeza que se desea establecer sobre la zona estudio, este número se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right)(N-1) + \sigma^2} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

En donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Se emplea generalmente un 95% de rango de confianza para los proyectos a nivel de red, en casos extremos debe realizarse una investigación previa para determinar los rangos que se deban emplear.

Para la determinación de la de la desviación estándar es necesario tomar un tramo de prueba antes de aplicarlo a toda la red. Para el cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_s)^2}{n-1}} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

En donde

PCI_i : Es la medición obtenida de la unidad.

PCI_s : Es el promedio de las mediciones de todas las unidades.

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25). En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse. (Velásquez. L 2002).

En caso de que la cantidad de las unidades evaluadas sea menor a la cantidad necesaria obtenida a partir de la nueva desviación estándar se deberá realizar la evaluación de las unidades faltantes, ubicándolas de manera aleatoria.

2.3.1.1 Selección de las unidades de muestreo

Es recomendable que las unidades de evaluación se encuentren espaciadas equidistantemente a lo largo de la sección de pavimento evaluada, y que la primera unidad en evaluar se escoja de manera aleatoria.

Primero es necesario establecer el intervalo de muestreo, el cual se calcula mediante la fórmula:

$$i = \frac{N}{n} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

En donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

El inicio aleatorio de la evaluación de las unidades se da entre el intervalo de 1 hasta i, luego se les puede asignar un número o código a las unidades de evaluación según su orden.

Como referencia se tiene que una agencia usa la siguiente tabla para determinar las unidades a evaluar en un tramo de carretera a nivel de proyecto, empleando un 95% de nivel de confianza.

Cuadro 2.2: cantidad de unidades mínimas de muestreo

Número total de unidades de muestreo	Número de unidades a evaluar
1 a 5	1
6 a 10	2
11 a 15	3
16 a 40	4
Más de 40	10%

Fuente: ASTM D6433-03

2.3.1.2 Selección de unidades de muestreo adicionales

Dentro del proceso de inspección se pueden encontrar secciones en condiciones que puedan considerarse valiosas dentro del análisis y que gracias al proceso aleatorio de escogencia de las unidades de muestreo quedaron excluidas, o por el contrario se encuentran unidades con deterioros que sólo se presentan una vez quedan incluidas de forma inapropiada dentro del análisis. “Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.” (Velásquez. R 2002).

2.3.1.3 Procedimiento de inspección

En la aplicación de este método, los inspectores deberán estar en la capacidad de detectar un 95% de los deterioros todo el tiempo. En las mediciones de la unidad de muestreo sólo se permite un 10% de variación en la longitud, y un 20% de variación de las áreas. Para lograr una calibración del inspector, es necesario el realizar pruebas previas que permitan garantizar la metodología.

La inspección consiste en el trabajo de campo, en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta las clases de deterioros, la severidad y extensión de los mismos. Para lograr obtener datos objetivos son necesarias el uso de herramientas de medición, para nuestro caso las herramientas mínimas a emplear son las siguientes:

- Odómetro manual, con una precisión mínima de 0.03m
- Escantillón de una longitud mínima de 3 m
- Regla escalada de al menos 30cm de longitud con una precisión mínima de 0.03m

Además es necesario llevar un plano de la red a ser evaluada con la orientación geográfica respectiva, así como un formulario de recolección de los datos. En el Apéndice A.1 se muestra el formulario que se empleará en las auscultaciones visuales.

Es necesario conocer y seguir estrictamente todas las especificaciones de la calificación de los deterioros especificados en la norma ASTM D6433-03. Y detallar todas las observaciones en el formulario de recolección de datos para cada unidad de evaluación.

2.3.1.4 Cálculo del PCI_A de las unidades de muestreo

Cuando se termina la etapa de inspección se procede a la determinación del PCI para la unidad de muestreo. El cálculo del PCI_A se basa en los “valores deducidos”, el cual es un arquetipo ideado para determinar la afectación de un deterioro en una carretera al combinarse con los demás deterioros.

Primera etapa

- Es necesario primero totalizar cada tipo de deterioro, nivel de severidad y registrarlo en la columna “Total” del formulario.
- Determinación de la densidad del deterioro. Se procede a dividir el daño específico con el respectivo nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo. Los valores se expresan de manera porcentual.
- Determinación del valor deducido (VD) para cada daño en función de la severidad y la densidad, a partir de las curvas denominadas “Deduc value curves for asphalt” de la norma ASTM D6433-03 las podemos encontrar en el Anexo E.

Segunda etapa

- Si ninguno ó tan sólo uno de los Valores Deducidos (VD) es mayor que 2, se usa el Valor Deducido Total en lugar del mayor Valor Deducido Corregido.
- Primero es necesario listar los valores deducidos individuales (VD) en orden descendente.
- Hay que determinar el número máximo de valores deducidos m , empleando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1 + \frac{9}{8}(100 - HDV_i) \leq 10 \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

En donde:

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

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

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

Tercera etapa

- Se debe realizar el cálculo del máximo valor deducido corregido CDV, el cual se alcanza mediante el proceso iterativo que se describe a continuación:
- Se debe determinar el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0
- Determinar el Valor Deducido Total sumando todos los valores deducidos individuales.
- Determinar el CDV con el q y el Valor Deducido Total mediante la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento que se encuentra figura X3.26 del apéndice X3 de la norma ASTM D6433-03
- Se debe reducir a 2.0 el menor de los Valores Deducidos individuales que sea mayor que 2.0 repitiendo los procesos anteriores hasta que q sea igual a 1.

Cuarta etapa

- Se procede a calcular el PCI de la unidad restando al valor de 100 el máximo CDV obtenido de la etapa anterior

2.3.1.5 Cálculo de PCI_A para una sección de pavimento

Los objetivos del indicador abarcan la determinación del valor de PCI para una carretera o tramo de la misma, la cual se compone de varias unidades de muestreo. Si se evaluaran todas las unidades de muestreo, al valor del PCI se tomaría como el promedio de los valores individuales para cada unidad, esto es aplicable a nivel de proyecto. En el caso de evaluación de una red, en la cual se emplea un muestreo aleatorio para

determinar las unidades de muestreo a evaluar dentro del tramo se determina a partir del promedio de las unidades evaluadas. En el caso de que se hayan empleado unidades de muestreo adicionales se deberá emplear la siguiente ecuación:

$$PCI_S = \frac{[(N - A)PCI_R] + (A * PCI_A)}{N} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

PCI_S : PCI de la sección del pavimento.

PCI_R : PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A : PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

CAPÍTULO 3

AUSCULTACIÓN VISUAL DEL CANTÓN DE BELÉN

3.1 Características de cantón de Belén

El cantón de Belén se encuentra localizado en la provincia de Heredia. El mismo tiene más de 100 años de fundación, su creación se da según decreto N° 15, el 8 de junio de 1907.

Tiene un área territorial de 11.81 km², divididos en 3 distritos: San Antonio, La Ribera y La Asunción. Sus límites geográficos son: al Este con los cantones de Heredia y Flores, al Norte y Oeste con el cantón de Alajuela y al Sur con los cantones de San José, Escazú y Santa Ana.

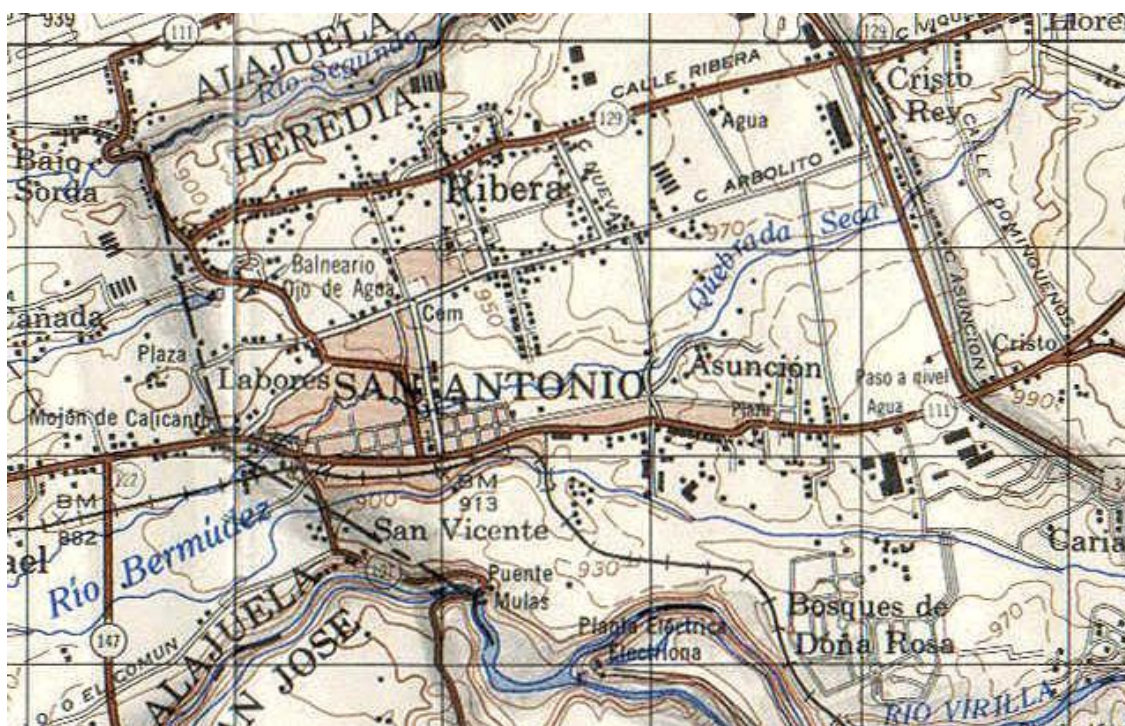


Figura 3.1: Hoja 1:50000 Cantón de Belén

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) el crecimiento poblacional de los distritos del cantón se dan de la siguiente manera:

Cuadro 3.1: Estadística poblacional

Distrito	AÑO						
	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008
San Antonio	11 034	11 209	11 352	11 512	11 647	11 790	11 921
Ribera	6 013	6 066	6 128	6 196	6 258	6 334	6 421
Asunción	4 038	4 053	4 096	4 120	4 147	4 167	4 188

Fuente: INEC Anuario Estadístico 2008

En total el cantón de Belén tiene una población aproximada de 22.530 habitantes, con una distribución de 11.327 hombres y 11.203 mujeres, ubicados en 5.201 viviendas ocupadas. Casi un tercio de la población de Belén son estudiantes de edades escolares y colegiales, dentro del cantón se encuentran 4 centros públicos de enseñanza y 5 privados.

El cantón se encuentra altamente desarrollado, y entre sus principales actividades económicas se destacan actividad industrial, comercial y turística, lo cual puede ser fácilmente observable en las siguientes cifras: 73 industrias de las cuales 33 tienen un rango de empleados que va desde 250 hasta 2500, 326 comercios y tres hoteles cuatro estrellas y una serie de hoteles pequeños; además de Clubes Privados y Centros de recreación varios.

Gran parte de los trabajadores no residen en el sector, lo que implica la movilización diaria de miles de personas, las cuales ingresan y salen por las principales rutas del cantón. Entre la información que se tiene Dentro de la infraestructura que presenta el cantón, este cuenta con 73.98 km. de carretera pavimentada y 2 km. de carreteras lastreadas, Belén cuenta oficialmente con 64,0 Km. de Red Vial Cantonal y 11,83 Km. de Red Vial Nacional, la Municipalidad administra y mantiene las vías cantonales.

Las rutas nacionales que se encuentran o atraviesan el área del cantón de Belén son las siguientes:

- Ruta 1 = Autopista General Cañas
- Ruta 129 = desde puente Firestone hasta Fátima

- Ruta 122 = desde calle Labores hasta templo católico en San Antonio
- Ruta 111 = desde puente Francisco J. Orlich, bajando por la Asunción, Avenida el Agricultor, luego sube por el costado oeste de la escuela España, pasa frente a Aguilar y Solís, Centro Comercial La Ribera, frente al Ojo de Agua y se une con la 129 en Fátima.

3.2 Recolección de datos de los deterioros de la condición superficial.

Los trabajos de auscultación visual de la red de caminos y carreteras de la municipalidad de Belén se realizaron en los meses de octubre y noviembre del 2010. A inicios del mes de octubre se presentaron precipitaciones atípicas en gran parte del territorio nacional incluyendo el cantón de Belén.

Las inclemencias del clima pueden provocar cambios en la superficie del pavimento, acelerando el proceso de deterioro de las carreteras. La recolección de datos se ve afectada con el incremento de la cantidad y severidad de los deterioros, que no van a estar directamente asociados a condiciones de tránsito.

El levantamiento de los datos fue realizado en su mayoría por un solo inspector, y en las zonas de alto tránsito se emplearon dos personas, como en el caso de las carreteras arbolito y la ruta nacional 111.

3.2.1 Escogencia de tramos de carretera.

Para lograr una eficiente recolección de datos de condición superficial, es necesario seccionar la red vial municipal en carreteras que contengan características similares, con el fin de que luego de la evaluación se puedan determinar los tramos homogéneos.

Los tramos homogéneos consisten en secciones de carretera con características estructurales y superficiales similares que se encuentren dentro de una condición de deterioro parecida.

Los tramos homogéneos a trabajar dentro de la red, fueron escogidos a partir de los datos de deflectometría, ya que parte de los objetivos del proyecto es la comparación

con los datos existentes de gestión realizados por Lopez. S (2009). El criterio bajo el cual se establecieron los tramos homogéneos, es empleando la metodología de diferencias acumuladas propuesta por la AASHTO. La idea central de este proyecto es brindar una herramienta de fácil manejo para la realización de gestión dentro de una municipalidad, por lo cual se muestra en el Apéndice A.2 los procedimientos a seguir para la tramificación de una red, así como un ejemplo.

3.2.2 Escogencia de las unidades mínimas de muestra

La metodología propuesta para determinar las unidades mínimas de muestra a nivel de red es emplear un 10% de las unidades, para este proyecto se empleó conservadoramente el cuadro 2.2 con el fin de obtener datos más precisos, dentro de las labores municipales, el ingeniero encargado deberá establecer el criterio que se adecua más a sus necesidades.

Tomando en cuenta los tramos homogéneos y las unidades mínimas de muestra, los tramos a evaluar quedan representados en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.1: Tramos homogéneos y unidades mínimas de muestra

Ruta	Tramo	Longitud (m)	Unidades mínimas de muestra
4-07-006	1	367,4	3
4-07-001	2	515,1	3
	3	1403,4	5
	4	394,5	3
	5	637,9	4
	6	310,1	2
4-07-005	7	377,4	2
	8	927,1	4
4-07-024	9	671,0	4
	10	630,3	3
	11	499,5	3
4-07-034	12	846,2	4
4-07-060	13	486,2	3
	14	834,5	4
4-07-063	15	551,3	4
4-07-094	16	494,8	3

Cuadro 3.1: Tramos homogéneos y unidades mínimas de muestra (Continuación)

Ruta	Tramo	Longitud (m)	Unidades mínimas de muestra
4-07-200	17	538,4	4
	18	437,2	3
	19	769,8	4
4-07-023	20	627,5	3
4-07-027	21	736,4	4
	22	391,4	3
4-07-040	23	240,9	2
	24	234,1	2
4-07-061	25	849,2	4
4-07-062	26	417,6	3
4-07-065	27	524,6	4
4-07-068	28	250,9	2
4-07-106	29	332,6	2
4-07-107	30	862	4
	31	204,6	1
4-07-109	32	751,4	4
4-07-111	33	674,8	4
4-07-112	34	831,7	4
	35	363	2
	36	398,7	3
	37	325,8	2
4-07-030	39	948,6	4
4-07-002	40	554,3	4
4-07-059	41	533	3
4-07-064	42	1741,5	6
	43	1021	4
4-07-092	44	602,1	4
	45	624,3	4
4-07-127	46	448,8	3
	47	411,1	3
	48	453,5	3
4-07-119	38	462,2	3
	49	500,1	3
4-07-111	50	465,3	3
4-07-062	51	541,1	4

La figura 3.2, es un mapa de toda la red vial del cantón de Belén, donde se destacan los tramos de carretera evaluados en la auscultación visual.

A continuación se explica la terminología empleada en la Figura 3.2 Mapa de la Red municipal del cantón de Belén a evaluar.

RED VIAL MUNICIPAL DEL CANTÓN DE BELÉN

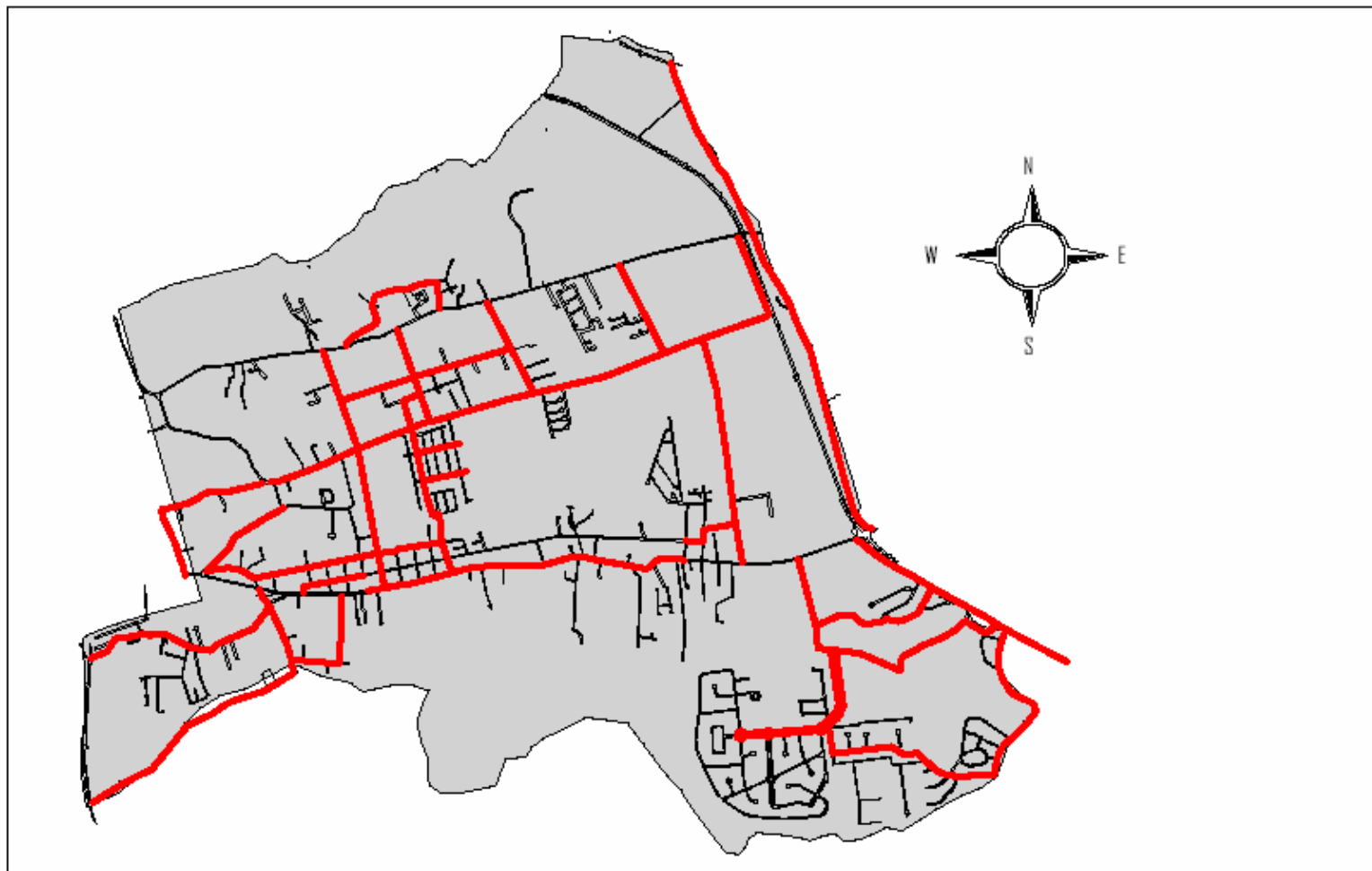
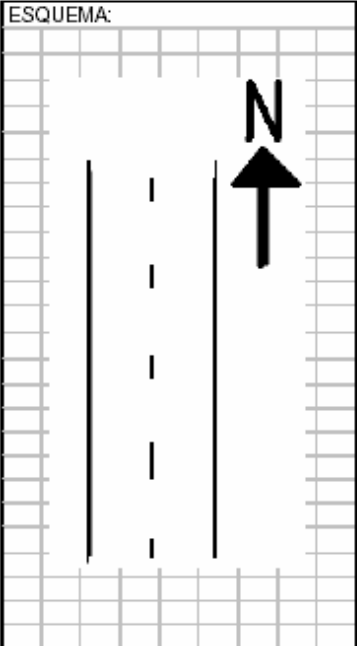


Figura 3.2: Mapa Red municipal del cantón de Belén a evaluar.
Fuente: López S. (2009)

3.2.3 Trabajo de campo.

Se realizó un levantamiento preliminar con el fin de calibrar las mediciones, ya que es importante que el inspector se familiarice con la teoría y con la práctica, fuera de las ilustraciones fotográficas se necesita trabajo de campo que fortalezca la pericia del inspector. Se usaron los tramos 44 y 45 como prueba, realizando el levantamiento visual, y registrándolo fotográficamente para el posterior análisis de profesionales en el área. De este ejercicio se muestra una hoja de levantamiento de datos de la unidad mínima.

LK7	ZONA	ASUNCIÓN	ABSCISA INICIAL	0+231	ESQUEMA: 
	CÓDIGO DE VÍA	4-07-092	ABSCISA FINAL	0+264	
	UNIDAD DE MUESTREO	2	TRAMO	44	
	ÁREA DE MUESTREO (m ²)	230	FECHA	15/10/2010	

1 Piel de cocodrilo	7 Grieta de borde	13 Huecos
2 Exudación	8 Grieta de reflexión de junta	14 Cruce de vía férrea
3 Agrietamiento en bloque	9 Desnivel caril/espaldón	15 Ahuellamiento
4 Abultamiento y Hundimientos	10 Grietas long y transversal	16 Desplazamiento
5 Corrugación	11 Parcheo	17 Grieta parabólica
6 Depresión	12 Pulimento de agregados	18 Hinchamiento
		19 Desprendimiento de agregados

DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	Valor deducido
1	L	0,7*0,5	0,35		
10	L	0,7+1,6+3,5+7,5	13,3		
10	M	1,5	1,5		
19	L	0,7*2	1,4		

Figura 3.3: Ejemplo de levantamiento de datos de condición superficial

Luego se procedió a realizar la auscultación visual de toda la red mediante la metodología planteada en el marco teórico. Para dicho levantamiento fue necesario emplear equipo y herramientas, que si bien no se encuentran dentro de las indispensables, ayudan a facilitar el trabajo del inspector. Las mismas se muestran en el Apéndice A3.

Dentro de los deterioros más recurrentes en el trabajo de la auscultación visual se encontraron los siguientes:

Bacheo: es deterioro más común dentro de la red, ya que la municipalidad invierte gran parte de su presupuesto en este rubro, cabe destacar que dentro de la red la cantidad de huecos encontrada es muy baja en relación con el común denominador de las redes municipales.



Figura 3.4: Bacheo

Piel de cocodrilo: este deterioro es muy común, ya que en muchos tramos de carretera las cargas de tránsito son muy altas, y los pavimentos han perdido gran parte de su capacidad de amortiguamiento de las cargas debido a la fatiga. Además, no se cuenta con la información necesaria que pueda determinar si las carreteras en su diseño original tuvieron previsión de las cargas actuales.

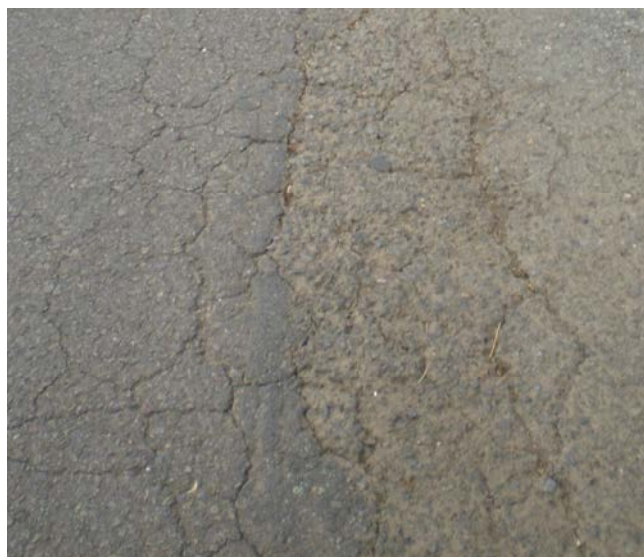


Figura 3.5: Piel de cocodrilo (cuero de lagarto)

Grietas: dentro de la red, muchas de las carreteras presentan tiempos de construcción mayores a los 15 años, y este tipo de grietas se presentan por el endurecimiento inducido por el envejecimiento de la superficie de pavimento asfáltico, o por malos drenajes.



Figura 3.6: Grieta longitudinal

Hundimientos y abultamientos: dentro de la red, es más frecuente observar los hundimientos que los abultamientos, ya que estos se pueden deber a malos procesos constructivos o a falta de mantenimiento de los drenajes. Así como a asentamientos de la subrasante.



Figura 3.7: Hundimientos

Desprendimiento de agregado: en tramos de carretera se hizo bastante evidente este deterioro, abarcando en algunos casos toda la sección de carretera.



Figura 3.8: Desprendimiento de agregados

Observaciones en los deterioros encontrados

Dentro del levantamiento de los datos se encontraron algunos deterioros no contemplados dentro del catálogo de deterioros, pero que claramente afectan la condición de la superficie de rodamiento. Por lo que deben ser incluidos dentro de las valoraciones, ya sea mediante un arquetipo que simule sus afectaciones y castiguen eficientemente las unidades de evaluación donde se presentan.

Como ejemplo se presenta el desprendimiento de la sobre carpeta asfáltica, probablemente producto del ineficiente riego de liga, o la realización de trabajos en condiciones climáticas desfavorables.



Figura 3.9: Desprendimiento de carpeta

Dentro del catálogo de deterioros se contempla el desnivel entre calzada y espaldón, y se califica según su diferencia de alturas. Para efectos de este trabajo se ha considerado no incluir este deterioro, ya que el objetivo de los levantamientos es calificar el estado de la superficie de pavimento, más que la comprensión de carretera como tal. En la mayoría de los tramos no existe espaldón, ya que son calles que se encuentran en zonas residenciales o comerciales, las cuales poseen en los márgenes aceras precedidas de edificaciones.



Figura 3.10: Ausencia de espaldón

INDICADORES DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.

En los procesos de evaluación de una red de carreteras, es necesario la implementación de indicadores que puedan determinar valores que califiquen el estado del pavimento, dichos valores deben ser establecidos de manera repetible y objetiva.

Como parte de la metodología práctica para realizar la gestión de pavimentos se emplea el indicador de la condición del pavimento PCI_A , el cual se encarga de establecer una calificación para cada tramo de carretera evaluado. El indicador se basa en los datos recolectados mediante la auscultación visual en el mes de noviembre del 2010.

Existen estudios realizados dentro del sistema de carreteras de la municipalidad de Belén previos al proyecto, los cuales cuenta con los datos del ensayo de capacidad estructural y los datos del ensayo de rugosidad internacional. Estos fueron realizados en el 2008, por medio del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (Lanamme UCR). De dichos datos se determinan indicadores para las carreteras, los cuales se describen a continuación con la finalidad de observar los indicadores más comunes en Costa Rica para la realización de gestión de pavimentos.

4.1 Capacidad estructural

El cálculo de la capacidad estructural se realiza mediante el deflectómetro de impacto ("Falling Weight Deflectometer, FWD"); equipo que se encarga de medir las deflexiones del pavimento provocadas por una carga de impacto, mediante la colocación de geófonos a diferentes distancias. Esta metodología es útil, ya que entre las ventajas principales que posee es que el ensayo es no destructivo, lo que permite emplearlo a lo largo de una carretera cuantas veces sea necesario sin dañar la superficie de pavimento. Además la carga empleada para producir el impacto simula las producidas por las sollicitaciones de carga del pavimento o ejes equivalentes.

Con la utilización de la metodología de la guía de diseño AASHTO 1993, es posible inferir mediante el retro cálculo de módulo resiliente de la subrasante, el módulo de la base granular y de las mezcla asfáltica, esto con el fin de asociarlo al número estructural del paquete de pavimento del tramo evaluado.

4.1.1 Índice de capacidad estructural

El indicador de capacidad estructural empleado en la evaluación de la red del cantón de Belén fue el SAI "Structural Adequacy Index", el mismo se deriva de los datos obtenidos a partir del deflectómetro de impacto.

Para el cálculo del indicador es necesario determinar primero el parámetro "Área" , el cual se basa en el valor del área normalizada que forma el cuenco determinado por la deflexión medida bajo el plato de carga (D_1) y las que se obtienen en los geóponos ubicados a 300mm (D_3), 600mm (D_5) y 900mm (D_6) empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Área} = 150 \frac{(D_1 + 2D_3 + 2D_5 + D_6)}{D_1} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Con los datos de Área para cada una de las evaluaciones se procede a realizar el cálculo del indicador SAI, el cual se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$SAI = \left(\frac{\text{Área}_j - \text{Área}_{\min}}{\text{Área}_{\max} - \text{Área}_{\min}} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

Área_j: Área promedio del cuenco del tramo "j".

Área_{min}: Área mínima del cuenco del tramo "j".

Área_{max}: Área máxima del cuenco del tramo "j".

En proyecto de graduación realizado por S. López 2009 explica ampliamente los procedimientos y la metodología empleada en el cálculo del indicador para la red vial municipal del cantón de Belén.

4.2 Rugosidad Internacional

La rugosidad es medida mediante el ensayo del Índice de rugosidad internacional (IRI), el cual fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como una metodología estándar que permita reflejar el estado funcional de las carreteras. Como indica Solminihaç, H 1998. el IRI se puede definir como un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, el mismo representa la desviación que existe entre el trazado teórico del perfil longitudinal y el perfil real en el instante de la medida.

La importancia del ensayo radica en que la rugosidad del pavimento está directamente asociada a la serviciabilidad del mismo, el cual se relaciona con el confort y seguridad de los usuarios, tiempos de viaje y costos de operación.

4.2.1 Índice de rugosidad

El indicador PRI ("Pavement Roughness Index") es un índice derivado de las mediciones de IRI para un tramo de carretera. El cálculo se basa en un promedio del IRI del tramo y el valor máximo y mínimo del IRI en la sección de evaluación. A continuación se muestra la ecuación 4.3, en la cual se describe el cálculo del indicador PRI

$$PRI = 100 \left(\frac{IRI_j - IRI_{\min}}{IRI_{\max} - IRI_{\min}} \right) \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Los datos de los valores del indicador PRI se expresan en unidades de longitud sobre longitud, estas unidades son las mismas bajo las cuales se obtienen los resultados de IRI.

En proyecto de graduación realizado por S. López 2009 explica ampliamente los procedimientos y la metodología empleada en el cálculo del indicador para la red vial municipal del cantón de Belén.

4.3 Indicador de la condición del pavimento (PCI_{SP})

El PCI_{SP} se encarga de dar una calificación a la condición general del pavimento a partir de los parámetros propuestos, los cuales para la evaluación realizada en 2009 por S. López se basaron en los indicadores SAI y PRI. Con dichos datos se pueden determinar las acciones correctivas o de mantenimiento pertinentes para el desempeño óptimo del sistema de carretera. Para dicho cálculo se empleó la siguiente ecuación:

$$PCI_{SP} = k_1PRI + k_2SAI \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

En donde los valores de k_1 y k_2 representan los diferentes pesos que tienen sobre el cálculo del PCI los respectivos indicadores, en el cantón de Belén se usaron los pesos de 50% para cada indicador, dando igualdad de importancia a las condiciones estructurales y de regularidad. A continuación se muestra un cuadro con los valores de PCI y los indicadores SAI y PRI para los tramos de la red vial del cantón de Belén:

Cuadro 4.1: Valores de los indicadores SAI, PRI y PCI_{SP} para los tramos homogéneos

ID	RUTA	SAI	PRI	PCI_{SP}
1	4-07-006	54,08	44,80	49,44
2	4-07-001	67,69	57,91	62,80
3	4-07-001	55,47	35,49	45,48
4	4-07-001	66,66	18,59	42,63
5	4-07-001	48,59	45,41	47,00
6	4-07-001	74,48	26,60	50,54
7	4-07-005	41,19	12,82	27,01
8	4-07-005	82,23	52,69	67,46
9	4-07-024	33,84	0,46	17,15
10	4-07-024	22,00	2,77	12,39
11	4-07-024	32,76	1,89	17,33
12	4-07-034	35,66	16,79	26,23
13	4-07-060	51,60	6,14	28,87
14	4-07-060	49,10	17,00	33,05
15	4-07-063	42,61	48,33	45,47
16	4-07-094	47,47	30,91	39,19
17	4-07-200	49,38	58,36	53,87
18	4-07-200	45,45	75,00	60,23
19	4-07-200	60,97	60,14	60,56
20	4-07-023	39,86	21,57	30,72
21	4-07-027	37,94	22,51	30,23
22	4-07-027	29,56	0,52	15,04
23	4-07-040	44,34	14,23	29,29

Fuente: López, S. 2009

Cuadro 4.1: Valores de los indicadores SAI, PRI y PCI_{SP} para los tramos homogéneos
(Continuación)

ID	RUTA	SAI	PRI	PCI _{SP}
24	4-07-041	32,90	18,52	25,71
25	4-07-061	38,16	35,37	36,77
26	4-07-062	31,54	25,95	28,74
27	4-07-065	60,31	28,66	44,49
28	4-07-068	48,27	16,52	32,40
29	4-07-106	49,57	44,56	47,07
30	4-07-107	50,91	2,28	26,60
31	4-07-107	32,76	40,00	36,38
32	4-07-109	22,95	22,05	22,50
33	4-07-111	37,65	22,24	29,94
34	4-07-112	35,67	34,77	35,22
35	4-07-112	29,15	34,14	31,65
36	4-07-112	31,33	21,18	26,26
37	4-07-112	36,84	40,13	38,49
38	4-07-119	36,39	12,84	24,62
39	4-07-030	55,85	57,91	56,88
40	4-07-002	74,67	71,63	73,15
41	4-07-059	48,30	16,47	32,39
42	4-07-064	77,38	54,80	66,09
43	4-07-064	48,87	64,37	56,62
44	4-07-092	55,47	65,35	60,41
45	4-07-092	68,61	38,37	53,49
46	4-07-127	58,47	57,89	58,18
47	4-07-127	76,81	45,62	61,22
48	4-07-127	27,12	47,80	37,46
49	4-07-119	26,02	25,09	25,55
50	4-07-111	31,51	17,57	24,54
51	4-07-062	36,83	31,56	34,20

Fuente: López, S. 2009

4.3.1 Actualización de valores del PCI_{SP}

Cabe destacar que los valores de PCI_{SP} para los tramos de la red vial cantonal de Belén fueron realizados en el 2008, lo que implica un desfase con relación a las condiciones bajo las cuales se tomaron los datos de auscultación visual.

Para la determinación del estado actual de la red, es necesario establecer la degradación de la condición de los tramos de carretera en relación al paso del tiempo, para lo cual se emplearan las curvas de deterioro generadas por Luis Amador y Donath Mrawira en la Universidad de New Brunswick Canadá. Estas curvas se basan en la información de deflectometría y medición de la rugosidad, las mismas realizadas en los años 2004 y 2006 por LanammeUCR.

Estas curvas fueron obtenidas considerando la cantidad de ejes equivalentes, y de esta forma establecer el tipo de tránsito que recorre las vías, clasificándolo en bajo (menor que 128000 $ESAL_S$) y medio (superior a 128000 $ESAL_S$). Para nuestro caso, según las condiciones del cantón se debe utilizar la curva generada para tránsito bajo, ya que en ninguna zona se alcanza un valor de TPDA superior al límite establecido.

Cuadro 4.2: TPDA asociado a los valores máximos de $ESAL_S$ establecido para las curvas de deterioro

Nivel de tránsito	$ESAL_S$	TPDA
Bajo	12 800 000	24 000
Medio	30 000 000	58 100

Fuente: Amador, L. 2008

Cuadro 4.3: Ecuaciones de la edad del pavimento en función del PCI para tránsito bajo.

Rango de PCI_{SP}	Ecuación
0-42	$Edad = \frac{PCI_{SP} - 167.91}{-6.196}$
42-100	$Edad = \frac{PCI_{SP} - 101.11}{-2.887}$

Fuente: Amador, L. 2008

Es importante tomar en cuenta que en el lapso de tiempo transcurrido entre la medición de la capacidad estructural y regularidad en el 2008 hasta la auscultación visual realizada en octubre del 2010, la municipalidad del cantón de Belén se encargó de realizar

intervenciones en distintos puntos de la red, cambiando las condiciones de las vías. Las zonas intervenidas mejoraron su serviciabilidad, ya sea por que se les colocó una sobrecapa de concreto asfáltico, o porque se le realizó parcheo en las secciones críticas.

Es necesario para efectos de actualización de los datos, establecer el nuevo valor de PCI_{SP} que obtendrán las zonas beneficiadas con la intervención. "Para efectos de esta investigación al realizar preservación, rehabilitación (menor o mayor) y reconstrucción menor provocará una transición en la curva de deterioro, ya que después de aplicarla el pavimento tendrá un $PCI=90$ (correspondiente a una edad de 4 años según la curva de deterioro)." López, S.2009. Esta suposición realizada por López, S 2009, aplica para los tramos de carretera que fueron intervenidos mediante el tratamiento requerido.

La aplicación de sobrecarpetas no estructurales en tramos de carretera donde se necesitaban tratamientos que contemplaran mejoras estructurales no representa una solución lógica a las afectaciones. Esta práctica sirve como maquillaje a corto plazo de los problemas existentes.

La aplicación de sobrecarpetas no estructurales mejoran la condición superficial de las carreteras, pero no se han realizado estudios para las condiciones nacionales, en los cuales se logre cuantificar el porcentaje en el que cambian las condiciones de regularidad, sin cambiar las propiedades estructurales de una carretera.

Con base en lo anterior se plantea la suposición de que al aplicar una sobrecarpeta no estructural se mejora la regularidad sin mejorar la capacidad estructural, elevando el indicador PRI a un valor de 90.

A continuación se muestran los tramos de carretera que fueron intervenidos mediante la colocación de una sobrecapa de 5cm de espesor promedio, y el porcentaje del tramo que abarcaron.

Cuadro 4.4: Datos de sobrecapas colocadas en las rutas de la municipalidad de Belén.

Tramo	Ruta	Trabajo realizado	Área de intervención (%)
3	4-07-001	SOBRECAPA	80,0%
4	4-07-001	SOBRECAPA	100,0%
5	4-07-001	SOBRECAPA	100,0%
12	4-07-034	SOBRECAPA	21,1%
14	4-07-060	SOBRECAPA	79,0%
15	4-07-063	SOBRECAPA	100,0%
20	4-07-023	SOBRECAPA	59,7%
21	4-07-027	SOBRECAPA	53,3%
25	4-07-061	SOBRECAPA	17,8%
27	4-07-065	SOBRECAPA	100,0%
32	4-07-109	SOBRECAPA	100,0%
34	4-07-112	SOBRECAPA	100,0%
35	4-07-112	SOBRECAPA	100,0%
36	4-07-112	SOBRECAPA	100,0%
37	4-07-112	SOBRECAPA	100,0%
38	4-07-119	SOBRECAPA	27,2%
39	4-07-030	SOBRECAPA	100,0%
49	4-07-119	SOBRECAPA	100,0%

Fuente: Municipalidad de Belén

Como muchas de las intervenciones no fueron realizadas en un 100% del área que abarca el tramo, la designación de la corrección debe realizarse en el porcentaje en que fue impactado el tramo de carretera. A continuación se muestra un ejemplo del procedimiento realizado para corrección del valor de PCI en un tramo de carretera, tomando el tramo 3.

Ejemplo (tramo 3):

- SAI= 55,47 y PRI=35,49
- Sobre el 80% del área del tramo 3 se realizó una sobre carpeta.

Una de las suposiciones que tomamos anteriormente es que el valor del Indicador PRI aumenta a un valor de 90, pero este noventa solo aplica a un 80% del tramo, ya que sólo en esta sección se realizó la intervención. Por lo cual el valor del PRI para todo el tramo se calcula de la siguiente manera.

$$PRI_{Corregido} = C_1 * PRI_{Intervenido} + C_2 * PRI_{NI} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

C_1 = Porcentaje del tramo intervenido.

$PRI_{Intervenido}$ = bajo la suposición de que tiene un valor de 90.

C_2 = Porcentaje de tramo sin intervenir.

PRI_{NI} = Valor del PRI para el tramo no intervenido.

Si aplicamos la Ecuación 4.5 para los valores del tramo 3:

$$PRI_{Corregido} = 0,8 * 90 + 0,2 * 35,49 = 79,098$$

Ahora aplicamos la ecuación 4.4, ($K_1 = K_2 = \%50$).

$$PCI_{SP} = 0,5 * 79,098 + 0,5 * 55,47 = 67,28$$

Con los datos anteriores se procede a corregir nuevamente los valores del indicador PCI basados en SAI y PRI, los cuales quedan de la siguiente manera:

Cuadro 4.5: Valores de PCI corregidos.

ID	RUTA	SAI	PRI	PCI Corregido por deterioro del pavimento	Área de intervención (%)	PRI Corregido por intervención	PCI Corregido por intervención
1	4-07-006	54,08	44,80	43,666	0,0%		43,67
2	4-07-001	67,69	57,91	57,026	0,0%		57,03
3	4-07-001	55,47	35,49	39,706	80,0%	79,10	67,28
4	4-07-001	66,66	18,59	36,856	100,0%	90,00	78,33
5	4-07-001	48,59	45,41	41,226	100,0%	90,00	69,30
6	4-07-001	74,48	26,60	44,766	0,0%		44,77
7	4-07-005	41,19	12,82	14,618	0,0%		14,62
8	4-07-005	82,23	52,69	61,686	0,0%		61,69
9	4-07-024	33,84	0,46	4,758	0,0%		4,76
10	4-07-024	22,00	2,77	0,00	0,0%		0,00
11	4-07-024	32,76	1,89	4,938	0,0%		4,94
12	4-07-034	35,66	16,79	13,838	21,1%	32,24	33,95
13	4-07-060	51,60	6,14	16,478	0,0%		16,48
14	4-07-060	49,10	17,00	20,658	79,0%	74,67	61,89
15	4-07-063	42,61	48,33	39,696	100,0%	90,00	66,31
16	4-07-094	47,47	30,91	26,798	0,0%		26,80
17	4-07-200	49,38	58,36	48,096	0,0%		48,10
18	4-07-200	45,45	75,00	54,456	0,0%		54,46
19	4-07-200	60,97	60,14	54,786	0,0%		54,79

Cuadro 4.5: Valores de PCI corregidos (Continuación).

ID	RUTA	SAI	PRI	PCI Corregido por deterioro del pavimento	Área de intervención (%)	PRI Corregido por intervención	PCI Corregido por intervención
20	4-07-023	39,86	21,57	18,328	59,7%	62,42	51,14
21	4-07-027	37,94	22,51	17,838	53,3%	58,48	48,21
22	4-07-027	29,56	0,52	2,648	0,0%		2,65
23	4-07-040	44,34	14,23	16,898	0,0%		16,90
24	4-07-041	32,90	18,52	13,318	0,0%		13,32
25	4-07-061	38,16	35,37	24,378	17,8%	45,09	41,63
26	4-07-062	31,54	25,95	16,348	0,0%		16,35
27	4-07-065	60,31	28,66	38,716	100,0%	90,00	75,16
28	4-07-068	48,27	16,52	20,008	0,0%		20,01
29	4-07-106	49,57	44,56	41,296	0,0%		41,30
30	4-07-107	50,91	2,28	14,208	0,0%		14,21
31	4-07-107	32,76	40,00	23,988	0,0%		23,99
32	4-07-109	22,95	22,05	10,108	100,0%	90,00	56,48
33	4-07-111	37,65	22,24	17,548	0,0%		17,55
34	4-07-112	35,67	34,77	22,828	100,0%	90,00	62,84
35	4-07-112	29,15	34,14	19,258	100,0%	90,00	59,58
36	4-07-112	31,33	21,18	13,868	100,0%	90,00	60,67
37	4-07-112	36,84	40,13	26,098	100,0%	90,00	63,42
38	4-07-119	36,39	12,84	12,228	27,2%	33,83	35,11
39	4-07-030	55,85	57,91	51,106	100,0%	90,00	72,93
40	4-07-002	74,67	71,63	67,376	0,0%		67,38
41	4-07-059	48,30	16,47	19,998	0,0%		20,00
42	4-07-064	77,38	54,80	60,316	0,0%		60,32
43	4-07-064	48,87	64,37	50,846	0,0%		50,85
44	4-07-092	55,47	65,35	54,636	0,0%		54,64
45	4-07-092	68,61	38,37	47,716	0,0%		47,72
46	4-07-127	58,47	57,89	52,406	0,0%		52,41
47	4-07-127	76,81	45,62	55,446	0,0%		55,45
48	4-07-127	27,12	47,80	25,068	0,0%		25,07
49	4-07-119	26,02	25,09	13,158	100,0%	90,00	58,01
50	4-07-111	31,51	17,57	12,148	0,0%		12,15
51	4-07-062	36,83	31,56	21,808	0,0%		21,81

4.4 Condición superficial.

El indicador de la condición superficial PCI_A , se obtiene a partir de los datos de auscultación visual, que provienen de las unidades de muestra que se establecieron para cada tramo de carretera.

Como ejemplo emplearemos el tramo homogéneo 3, que esta ubicado en la ruta 4-07-001, y posee 5 unidades de muestra. A continuación se muestra el procedimiento para encontrar el puntaje obtenido por un tramo de carretera según el indicador PCI_A :

Como primer paso, es importante revisar que se cuenta con toda la información del tramo, que las hojas de levantamiento de datos se encuentran correctamente llenas, y corresponden al tramo en evaluación.

	ZONA ASUNCION	ABSCISA INICIAL 0+750	ESQUEMA: 																													
	CÓDIGO DE VÍA 4-07-001	ABSCISA FINAL 0+780																														
	UNIDAD DE MUESTREO 4	TRAMO 3																														
	ÁREA DE MUESTREO 204	FECHA 25/11/2010																														
	<table border="1"> <tr> <td>1 Piel de cocodrilo</td> <td>7 Grieta de borde</td> <td>13 Huecos</td> </tr> <tr> <td>2 Exudación</td> <td>8 Grieta de reflexión de junta</td> <td>14 Cruce de vía férrea</td> </tr> <tr> <td>3 Agrietamiento en bloque</td> <td>9 Desnivel carril/espaldón</td> <td>15 Ahuellamiento</td> </tr> <tr> <td>4 Abultamiento y Hundimientos</td> <td>10 Grietas long y transversal</td> <td>16 Desplazamiento</td> </tr> <tr> <td>5 Corrugación</td> <td>11 Parcheo</td> <td>17 Grieta parabólica</td> </tr> <tr> <td>6 Depresión</td> <td>12 Pulimento de agregados</td> <td>18 Hinchamiento</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>19 Desprendimiento de agregados</td> </tr> </table>			1 Piel de cocodrilo	7 Grieta de borde	13 Huecos	2 Exudación	8 Grieta de reflexión de junta	14 Cruce de vía férrea	3 Agrietamiento en bloque	9 Desnivel carril/espaldón	15 Ahuellamiento	4 Abultamiento y Hundimientos	10 Grietas long y transversal	16 Desplazamiento	5 Corrugación	11 Parcheo	17 Grieta parabólica	6 Depresión	12 Pulimento de agregados	18 Hinchamiento			19 Desprendimiento de agregados								
1 Piel de cocodrilo	7 Grieta de borde	13 Huecos																														
2 Exudación	8 Grieta de reflexión de junta	14 Cruce de vía férrea																														
3 Agrietamiento en bloque	9 Desnivel carril/espaldón	15 Ahuellamiento																														
4 Abultamiento y Hundimientos	10 Grietas long y transversal	16 Desplazamiento																														
5 Corrugación	11 Parcheo	17 Grieta parabólica																														
6 Depresión	12 Pulimento de agregados	18 Hinchamiento																														
		19 Desprendimiento de agregados																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DAÑO</th> <th>SEVERIDAD</th> <th>CANTIDADES PARCIALES</th> <th>TOTAL</th> <th>DENSIDAD (%)</th> <th>Valor deducido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>H</td> <td>12,8</td> <td>12,8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>H</td> <td>3,6X1,4+1,5X1,5</td> <td>7,29</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>M</td> <td>2,7X0,6+0,4X0,6+9,1X0,9+1,8X0,6</td> <td>11,13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>L</td> <td>2,9</td> <td>2,9</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	Valor deducido	7	H	12,8	12,8			1	H	3,6X1,4+1,5X1,5	7,29			1	M	2,7X0,6+0,4X0,6+9,1X0,9+1,8X0,6	11,13			10	L	2,9	2,9		
DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	Valor deducido																											
7	H	12,8	12,8																													
1	H	3,6X1,4+1,5X1,5	7,29																													
1	M	2,7X0,6+0,4X0,6+9,1X0,9+1,8X0,6	11,13																													
10	L	2,9	2,9																													

Figura 4.1: Imagen de hoja de Auscultación visual, tramo 3, unidad de muestra 4.

Con la verificación de los datos se procede a la determinación de la densidad del deterioro, la cual consiste en la división de la afectación entre el área evaluada, y se escribe en términos de porcentaje:

$$Densidad(\%) = \frac{Magnitud}{Área_total_del_tramo} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Continuando con el ejemplo:

DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	Valor deducido
7	H	12,8	12,8	6,27	
1	H	3,6X1,4+1,5X1,5	7,29	3,57	
1	M	2,7X0,6+0,4X0,6+9,1X0,9+1,8X0,6	11,13	5,46	
10	L	2,9	2,9	1,42	

Figura 4.2: datos de densidad

Ahora procedemos con las figuras del Anexo E, curvas de deterioros y afectaciones, a establecer los valores deducidos para los deterioros encontrados.

Primero tenemos el deterioro 7 (Grieta de borde), en condición alta, con una densidad total de 6,27. Lo que nos da un resultado del valor deducido de 18.5 como se observa en la Figura 4.3.

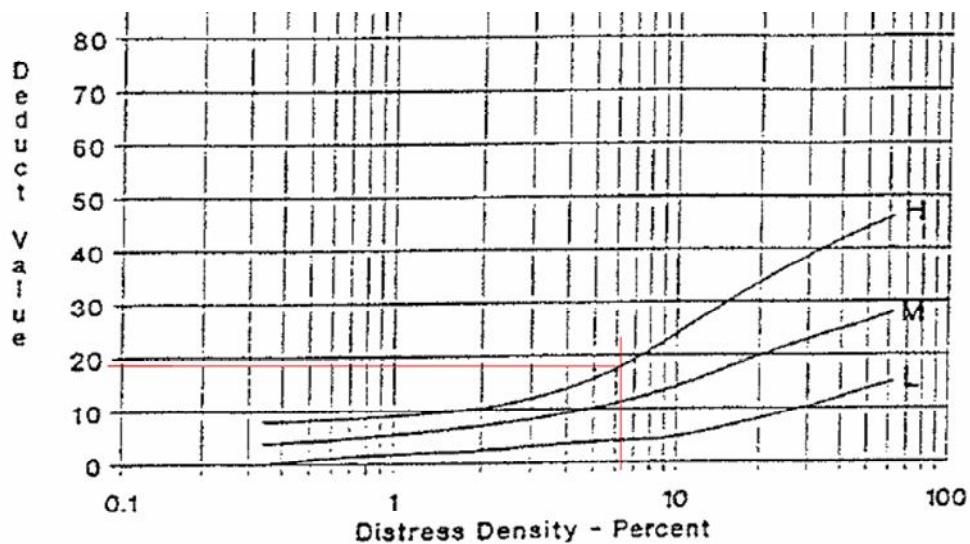


Figura 4.3: Grieta de borde
Fuente: ASTM D6433

Proseguimos con el deterioro 1, para los cuales se tienen las severidades H y M, con densidades de 3.57 y 5.46 respectivamente. De las curvas se obtienen valores de 48 para la condición Alta, y de 40 para la condición baja, en la Figura 4.4 se muestra el procedimiento.

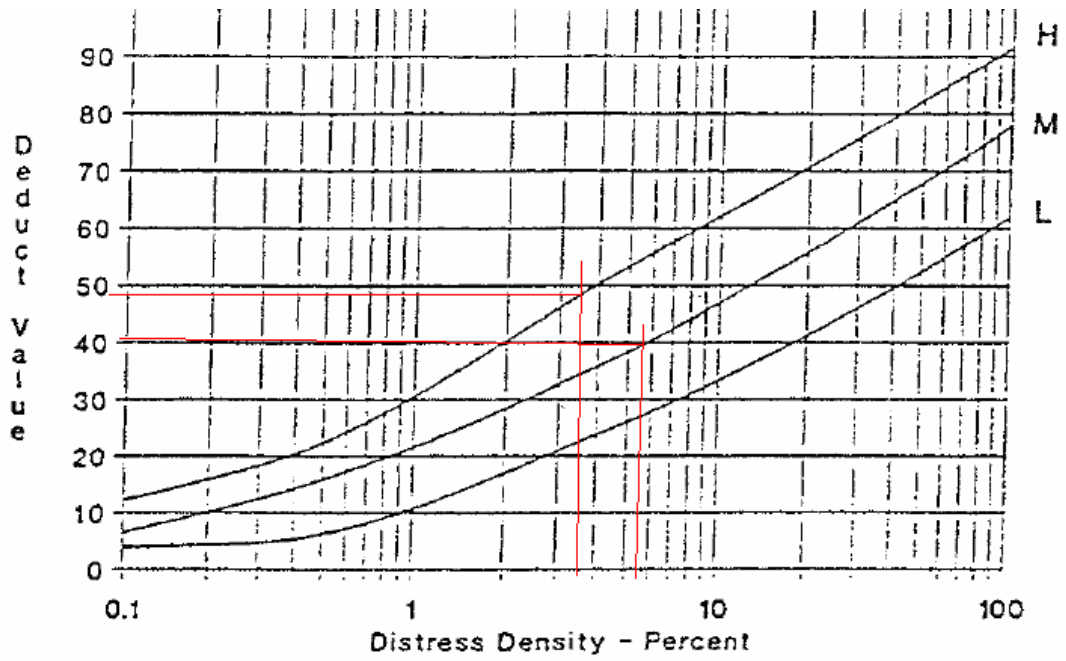


Figura 4.4: Cuero de lagarto
Fuente: ASTM D6433

Por último tenemos el deterioro 10 de magnitud leve, para el cual se cuenta con un valor de densidad de 1.42, como se indica en la Figura 4.5.

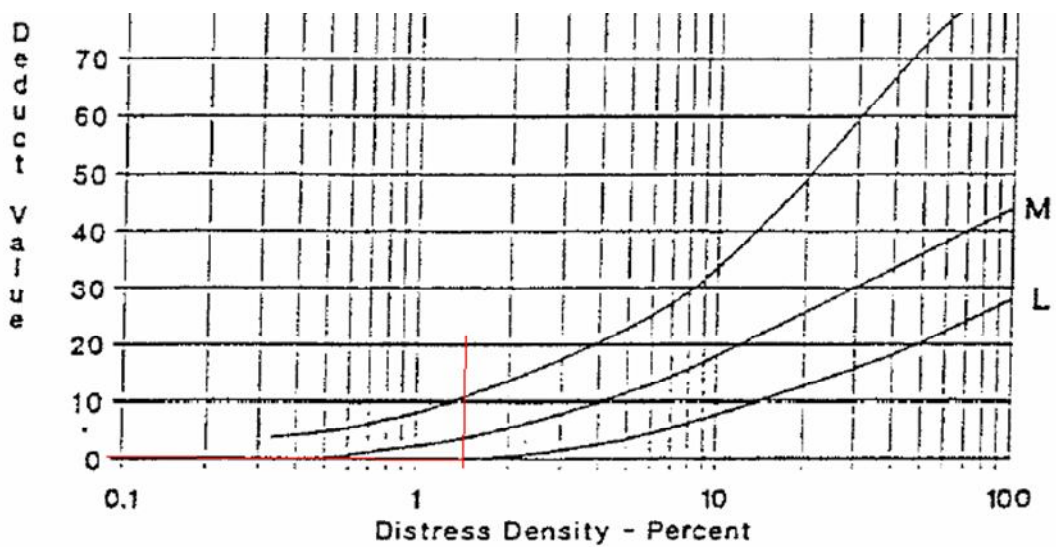


Figura 4.5: Grietas longitudinal y transversal
Fuente: ASTM D6433

Como el deterioro es leve, nos da un valor deducido de 0.5, con lo cual nos queda el cuadro de la siguiente manera:

Cuadro 4.6: Información de los deterioros

DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	Valor deducido
7	H	12,8	12,8	6,27	18,5
1	H	3,6X1,4+1,5X1,5	7,29	3,57	48
1	M	2,7X0,6+0,4X0,6+9,1X0,9+1,8X0,6	11,13	5,46	40
10	L	2,9	2,9	1,42	0,5

Con todos los datos descritos anteriormente, se procede al cálculo del número máximo de valores admisibles, el cual es procedente en caso de que ninguno o tan sólo uno de los valores deducidos sea mayor que 2.

Como primer paso es necesario listar los valores deducidos individuales en orden descendente (de mayor a menor), y el valor mayor de los valores deducidos se emplea para determinar el número máximo de de valores deducidos m por medio de la ecuación 2.5

$$m_i = 1 + \frac{9}{8}(100 - 48) = 5,77 \geq 4$$

El valor de m representa el número máximo de valores admisibles, el cual es de 5,77 para nuestro caso, y como tenemos tan sólo cuatro datos, utilizaremos todos. Cabe aclarar de que si en nuestro caso tuviéramos 7 datos de deterioros, lo correspondiente a realizar es eliminar el séptimo dato, y el sexto debería ser multiplicado por la fracción, en el caso del ejemplo se multiplicaría por 0,77.

Cuadro 4.7: Proceso iterativo para el cálculo del mayor CDV, paso I

ITERACIÓN	VALORES DEDUCIDOS				VALOR DEDUCIDO TOTAL	Q	CDV
1	48	40	18.5	0,5			
2							
3							
4							

El valor deducido total, es la suma simple de todos los valores deducidos, lo que nos da como resultado un valor de 107. El valor de q representa la cantidad de datos de valores deducidos que tengan un valor mayor que 2, en el ejemplo q es igual a 3.

Ahora con los datos de valor deducido total y q, se ingresa a las curvas de la figura E.20 (Anexo E) en la cual se obtuvo un valor aproximado de CDV igual a 66.

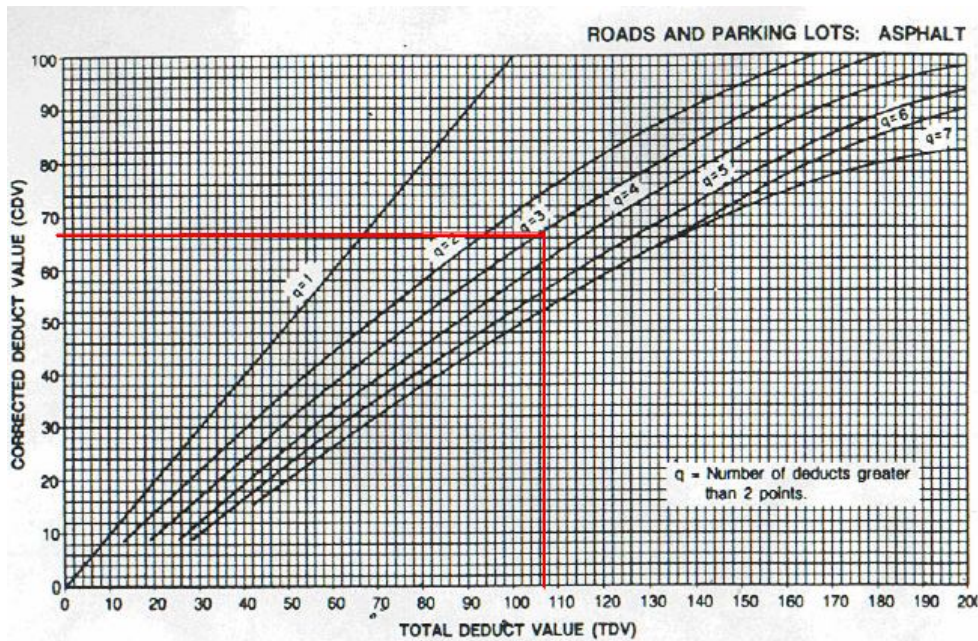


Figura 4.6: Ejemplo de cálculo del CDV

Con dicha información se procede a llenar la primera iteración, seguidamente se vuelve a colocar los valores deducidos, disminuyendo el último dato usado para calcular "q" a un valor de dos.

Como el proceso es iterativo, nuevamente con los valores de "q" y el valor total deducido se calcula de la curva el valor de CDV, hasta llegar a tener un "q" igual a 1.

Cuadro 4.8: Proceso iterativo para el cálculo del mayor CDV, paso II

ITERACIÓN	VALORES DEDUCIDOS				VALOR DEDUCIDO TOTAL	q	CDV
1	48	40	18.5	0,5	107	3	66
2	48	40	2	0.5	90.5	2	64,4
3	48	2	2	0.5	52.5	1	52

Con $CDV_{MÁX}$ igual a 66, se obtiene el valor del PCI mediante la ecuación 4.3, lo cual nos refleja una sección de condición pobre.

$$PCI = 100 - CDV_{MÁX} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

$$PCI = 100 - 66 = 34$$

El último paso es el cálculo del indicador de condición aplicado para todo el tramo de carretera. El tramo 3 esta compuesto por 5 unidades de muestra a las cuales poseen diferentes áreas (A_{ri}) y se les calculó respectivamente el valor de PCI.

Cuadro 4.9: Valores de PCI y áreas para las diferentes unidades de muestra.

Unidad de muestra	PCI_{ri}	A_{ri} (m)	$PCI_{ri} * A_{ri}$
1	71	231	16401
2	100	201	2010
3	100	204	20400
4	34	204	6936
5	25	174	4350
Total		1014	68187

Para la determinación del PCI es necesario aplicar la ecuación 4.4 que se presenta a continuación:

$$PCI_s = \frac{\sum_{i=1}^n PCI_{ri} A_{ri}}{\sum_{i=1}^n A_{ri}} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

$$PCI_s = \frac{68187}{1014} = 67.25$$

Este procedimiento se utiliza para todos los tramos de carretera, de los cuales se obtiene los siguientes resultados:

Cuadro 4.10: Valores de PCI_A

Tramo	RUTA	PCI _A
1	4-07-006	84
2	4-07-001	50
3	4-07-001	72
4	4-07-001	92
5	4-07-001	100
6	4-07-001	28
7	4-07-005	61
8	4-07-005	80
9	4-07-024	43
10	4-07-024	25
11	4-07-024	47
12	4-07-034	69
13	4-07-060	54
14	4-07-060	84
15	4-07-063	98
16	4-07-094	60
17	4-07-200	65
18	4-07-200	45
19	4-07-200	78
20	4-07-023	92
21	4-07-027	63
22	4-07-027	87
23	4-07-040	61
24	4-07-041	93
25	4-07-061	85
26	4-07-062	61
27	4-07-065	100
28	4-07-068	65
29	4-07-106	88
30	4-07-107	20
31	4-07-107	93
32	4-07-109	95
33	4-07-111	43
34	4-07-112	93
35	4-07-112	100
36	4-07-112	98
37	4-07-112	96
38	4-07-119	99
39	4-07-030	98
40	4-07-002	52

Cuadro 4.10: Valores de PCI_A (Continuación)

Tramo	RUTA	PCI_A
41	4-07-059	50
42	4-07-064	31
43	4-07-064	55
44	4-07-092	91
45	4-07-092	75
46	4-07-127	95
47	4-07-127	70
48	4-07-127	71
49	4-07-119	96
50	4-07-111	30
51	4-07-062	51

A continuación se presentan las figuras 4.7 y 4.8, en las cuales se muestran los mapas con las condiciones de los pavimentos.

Los mapas describen las condiciones de las carreteras en función de las clasificaciones según su valor de PCI. Las clasificaciones varían según la metodología empleada en la obtención de los valores de PCI.

ESTADO DE LA RED PCI_{SP}

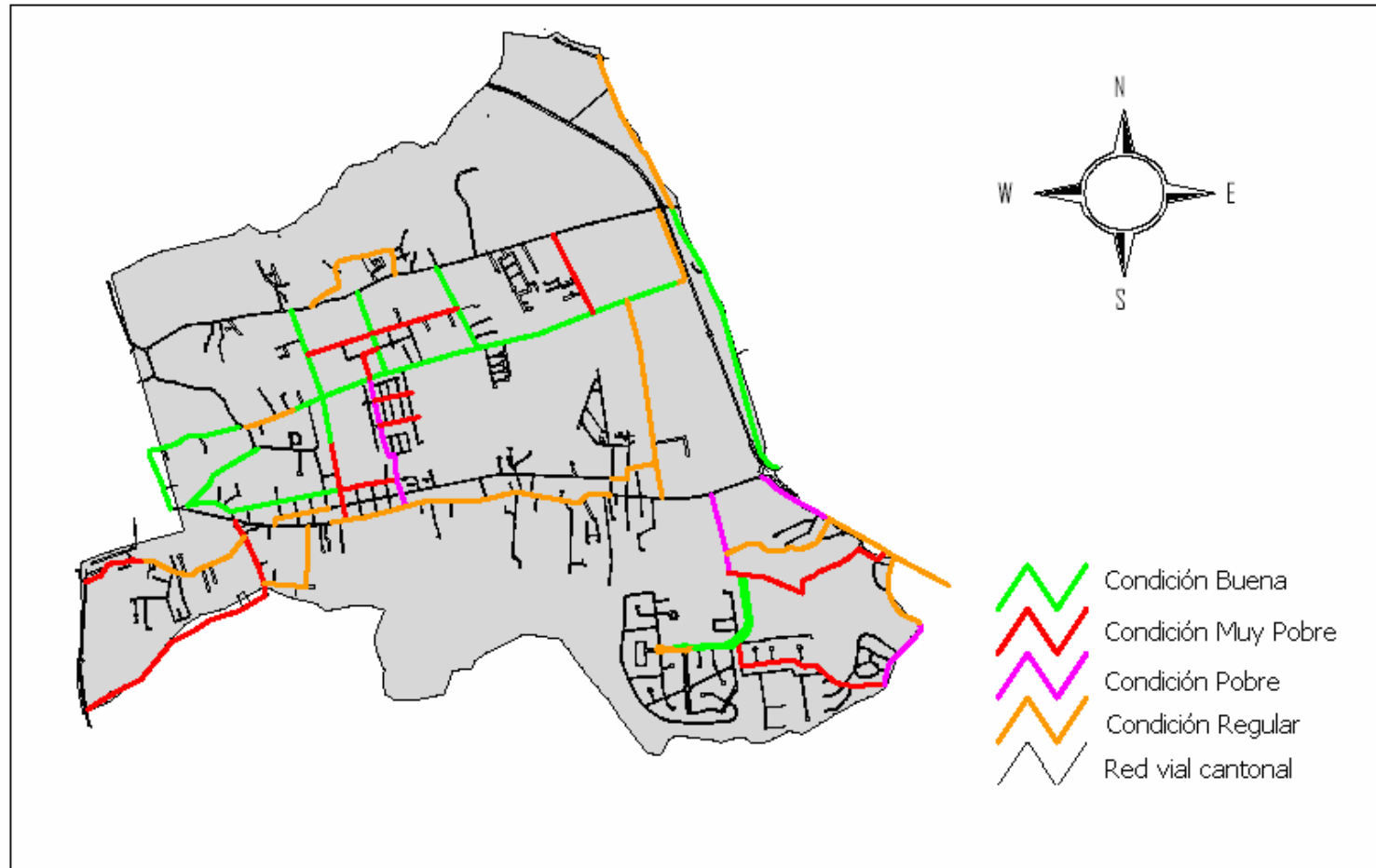


Figura 4.7: Mapa Condición de la Red municipal del cantón de Belén. PCI_{SP}

ESTADO DE LA RED PCI_A

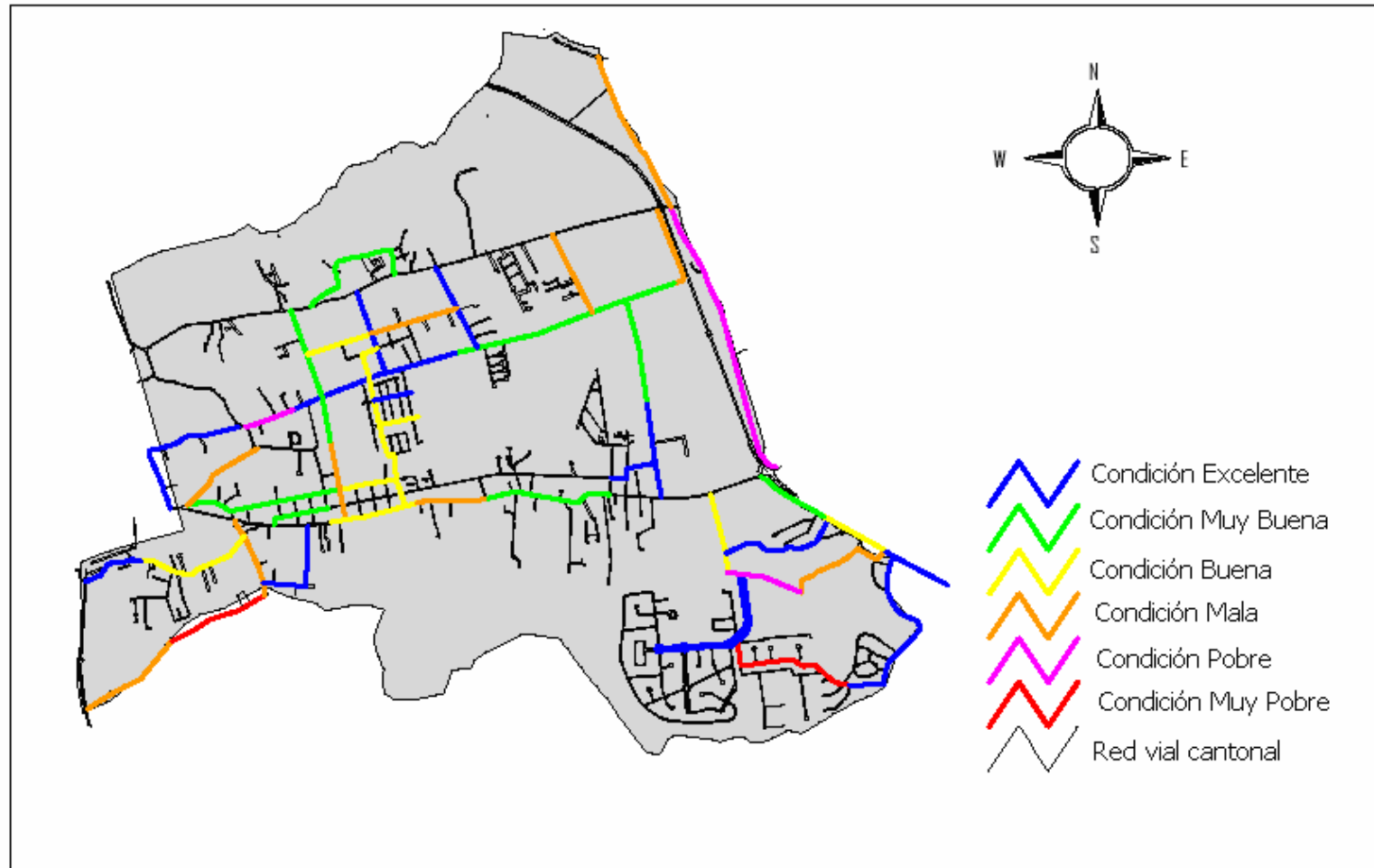


Figura 4.8: Mapa Condición de la Red municipal del cantón de Belén. PCI_A

PLANES DE INVERSIÓN

Un plan de inversiones consiste en el preestablecimiento de procedimientos o guías, con el objetivo de dirigir las inversiones actuales o futuras por el camino más conveniente. Es una herramienta presupuestaria que trata de visualizar los posibles escenarios en los que se desarrollaran los proyectos futuros, tratando de prever los riesgos de las inversiones actuales y a la vez disminuir los gastos y aumentar las ganancias.

En un sistema de caminos y carreteras, un plan de inversiones se enfoca en mejorar la calidad del servicio brindado a los usuarios. Uno de los factores que determina la calidad del servicio es el estado o condición del pavimento, por lo que, la mayor parte de las inversiones se encargan de atender las solicitudes del mismo.

A nivel de las municipalidades, el sistema de carreteras es uno de los activos más importantes que se posee, y probablemente también sea el que demande un mayor control y presupuesto para su mantenimiento. Por tal motivo, la realización de planes de inversión es una herramienta determinante en el éxito de la gestión municipal.

Para realizar un plan de inversiones a nivel municipal es necesario emplear una metodología que nos permita obtener criterios técnicos, con los cuales se puedan establecer las decisiones a seguir, tomando en cuenta diferentes escenarios de inversión.

La información con relación a el estado de las carreteras se muestra en el capítulo 4, con los indicadores de condición. Pero este no es el único factor a tomar en cuenta para la realización de los planes de inversión, son necesarios muchos factores tales como; tránsito, importancia de la ruta, tipo de superficie de ruedo, etc. Parámetros que nos ayuden a modelar de la mejor manera los escenarios presentes y los escenarios futuros en los que se realicen las inversiones. Con la unión de estas variables se dan una serie de restricciones, que delimitan o priorizan las necesidades, por lo que se puede obtener un gran conjunto de posibles soluciones.

Para establecer el plan de inversiones, será necesario instituir las restricciones o condiciones que se consideren indispensables, esto con el fin de recrear los diferentes escenarios de inversión. Las restricciones se pueden establecer como funciones lineales y de esta manera resolver el plan de inversiones como un problema de optimización lineal.

5.1 Optimización lineal

La optimización lineal es una herramienta que busca la mejor solución para una serie de restricciones establecidas como funciones lineales, la cual pretende maximizar o minimizar la función lineal objetivo.

El principio básico de la optimización lineal es encontrar la mejor solución en los modelos de decisiones difíciles, frente a múltiples soluciones locales.

La utilización de la optimización lineal nos permite observar cual es la mejor alternativa de inversión a largo plazo. Para el caso de la administración municipal, es indispensable invertir el capital de manera eficiente, ya que esto repercutirá en el desarrollo físico, social y económico del cantón.

Existen modelos matemáticos encargados de brindar ayuda en la búsqueda de la solución óptima; con el uso de las computadoras, la programación de los modelos matemáticos en general abordan el problema de determinar asignaciones óptimas de recursos limitados (para nuestro caso el recurso limitante es el dinero), con el ideal de cumplir con la función objetivo, en el caso de la gestión vial se refiere al aumento de la calidad del servicio.

Existen una gran cantidad de programas computacionales enfocados en resolver los problemas de optimización lineal, algunos con enfoque específicos en planes de inversión para carreteras y otros más abiertos a cualquier tipo de problemas de optimización lineal.

En este proyecto de investigación se empleará el programa de optimización lineal "Woodstock" desarrollado por la empresa "Remsoft". Se manejará utilizando como base el modelo computacional planteado por López, S 2009, este modelo fue desarrollado para

el cantón de Belén a partir de datos de deflexión y rugosidad. En contra parte se plantea un modelo realizado a partir de los datos de condición superficial obtenidos mediante la auscultación visual, trazando los mismos escenarios de inversión, con el objetivo de observar el comportamiento de las gestiones.

5.1.1 Modelo de optimización lineal

Uno de los requerimientos necesarios para el empleo del programa, es establecer las variables que se van a considerar en el modelo para la optimización. El modelo propuesto por López,S 2009. propone siete variables, las cuales se describe a continuación:

5.1.1.1 Tipo de activo

El programa puede considerar un gran número de activos sobre los cuales trabajar, en este modelo sólo se contempla el activo pavimento (PA), dejando como tarea pendiente el realizar una modelación que considere elementos tales como señalización, drenajes, puentes, etc.

5.1.1.2 Tipo de pavimento

El tipo de pavimento se clasifico en dos variables, las cuales son determinadas por la estructura del pavimento. Y se clasificaron como: concreto asfáltico (CA) y tratamiento superficial (TS). Con los sondeos realizados sobre el sistema, se estableció la información.

5.1.1.3 Transiciones de los tratamientos

Mediante las curvas de deterioro se muestra gráficamente como decae la condición del pavimento en función del tiempo. Al invertir en las vías, según la intervención mejora su condición superficial, su condición estructural o ambas. Esto va a depender directamente del tipo de tratamiento aplicado.

Con la aplicación de los tratamientos en las carreteras, se puede retroceder en las curvas de deterioro, devolviendo una mejora en la condición del PCI. No obstante se dan variaciones importantes entre una gestión basada en datos estructurales y de rugosidad,

en comparación con una gestión elaborada con datos de Auscultación visual. Para las dos gestiones los tratamientos propuestos en la modelación lineal son los mismos; preservación, rehabilitación y reconstrucción.

El ideal para el planteamiento de los escenarios de inversión implica que las curvas de deterioro difieran en el tipo de tránsito y los datos de origen (PCI_{SP} y PCI_A), además es importante que se establezcan según el tipo de tratamiento aplicado, lo cual quiere decir que al aplicar una rehabilitación, el tramo de carretera va a tener un comportamiento diferente en los siguientes años, en comparación a un tramo de carretera que se le aplique un tratamiento preventivo, a pesar de que en principio los dos alcancen un mismo valor de PCI. Para efectos de este proyecto se establecen curvas diferenciadas según los datos de origen, pero no se establecerán diferentes curvas para cada uno de los tratamientos. La información de las curvas se puede observar en el apéndice B.1.

En el caso de la gestión realizada con datos estructurales y de rugosidad los tratamientos de preservación, rehabilitación y reconstrucción menor, se asume que después de aplicado el tratamiento la condición del pavimento tiene un aumento hasta llegar a un PCI igual a 90. Esto en la medida de que el tratamiento aplicado a la carretera sea coincidente con la necesidad de la misma. Para el caso de reconstrucción total del pavimento se obtiene un PCI igual a 100, ya que se contempla la idea que se esta cambiando el paquete estructural que compone la carretera.

Con la gestión realizada a partir de los datos de auscultación visual, todos los tratamientos devuelven a 100 el valor del PCI. Esto se da producto de la metodología de evaluación, ya que en el caso de evaluar nuevamente la condición del pavimento en los tramos intervenidos, no se encontraría ningún deterioro superficial. Es importante tomar en cuenta que si no se aplica el tratamiento requerido por la carretera, los resultados que se obtengan en las evaluaciones visuales siguientes serán un espejismo, ya que no se harán palpables las condiciones reales de las vías, distorsionando la calificación. En el caso de las evaluaciones a mediano plazo se verán nuevamente reflejadas todas las afectaciones de las carreteras que no fueron solucionadas al aplicar tratamientos insatisfactorios y decaerá la condición de la red de manera abrupta, quedando por fuera de los modelos planteados al inicio de la gestión, con una curva de deterioro específica.

Dentro del programa las variables incluidas que relacionan el tema son tres, las cuales se presentan a continuación:

NT: tramos no tratados o no se cuenta con la información histórica acerca de las intervenciones realizadas para mejorar su condición.

A: Preservación, Rehabilitación (menor o mayor) y reconstrucción menor.

B: Tramos reconstruidos totalmente.

5.1.1.4 Clasificación de la ruta

Según los parámetros establecidos por la municipalidad, cada tramo de carretera tiene la designación según su categoría en calles primarias, secundarias y de travesía. Dentro del programa se les asignan las letras P, S y T según corresponde.

5.1.1.5 Clasificación del tránsito

Los tramos de carretera fueron clasificados en relación a los niveles de tránsito designados por la municipalidad del cantón en alto con un TPDA superior a 7000 vehículos, medio con un TPDA superior a 3000 y no mayor que 7000 vehículos y bajo con un TPDA no mayor a los 3000 vehículos.

5.1.1.6 Tramos homogéneos

Dentro de la propuesta del modelo presentado por López, S 2009, se simplifica la nomenclatura de los tramos homogéneos, con el fin de facilitar el análisis.

La simplificación lo que hace es solamente tomar en cuenta el número de la calle, y el tramo homogéneo que representa, se omiten los valores de provincia y cantón (4-07), ya que estos son iguales para toda la red en análisis.

5.1.1.7 Cantidad de tratamientos de preservación

La cantidad de veces que se pueda aplicar un tratamiento de preventivo a un tramo de carretera tiene un límite, ya que en determinado momento esta intervención no

proporcionará al pavimento una escalada en la curva de deterioro, por lo que será necesario realizar una rehabilitación o inclusive una reconstrucción. Por tales motivos es importante delimitar a una poca cantidad las veces en que se puedan aplicar los tratamientos preventivos en una carretera antes de tener que realizar una intervención fuerte como la rehabilitación o la reconstrucción.

5.1.2 Optimización lineal de las inversiones

Dentro del programa es necesario establecer la función objetivo que se desea maximizar o minimizar, junto a las funciones que restringen las inversiones, recordando que todas tienen que ser funciones lineales.

Un aspecto que se debe de considerar es el valor del dinero en el tiempo, ya que no es lo mismo una cantidad en de dinero hoy, que la misma cantidad de dinero dentro de 20 años. Los planes de inversión que se plantean, se enmarcan en lapsos de tiempo bastante amplios, por lo que es necesario establecer la tasa de inflación y de descuento nominal.

5.1.2.1 Tasa de inflación

La tasa de inflación es el porcentaje de aumento del nivel general de los precios dentro de una economía en un periodo de tiempo determinado, dicho de otra forma, son los puntos porcentuales que varían los precios de los mismos productos al ser comprados en diferentes momentos.

Para poder calcular la tasa de inflación, es necesario tener un índice de precios histórico, que nos permita ver las variaciones de los costos, los cuales obedecen a características económicas como lo son la oferta y la demanda.

Nuestro principal objetivo es con la ayuda de la tasa de inflación describir el cambio del dinero en el tiempo. En este plan de inversiones la moneda que se está empleando es el dólar estadounidense (\$US), por lo que tomando en cuenta el promedio de la tasa de inflación de los últimos años, se utilizará un valor de 4,6%. El valor del dinero en el tiempo esta dado por la siguiente ecuación:

$$P_f = P_p \cdot (1+i)^n \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

Donde:

Pf: valor del dinero en el tiempo futuro.

Pp: valor del dinero en el tiempo presente.

i: tasa de inflación.

n: cantidad de años.

5.1.2.2 Tasa de descuento nominal

La tasa de descuento nominal se emplea para determinar el valor actual de las inversiones futuras, dicho de otra manera, es traer al valor presente los flujos de caja futuros. Con el valor de la tasa de descuento nominal se desea reflejar el efecto de la inflación en las inversiones o pagos futuros.

Para determinar el valor de la inflación dentro del plan de inversiones, es necesario un registro histórico de su variación que nos permita establecer un promedio, que en este caso se emplea un valor de 5%. Para obtener el valor futuro del dinero se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_f = \frac{P_p}{(1+i)^n} \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

Donde:

Pf: valor del dinero en el tiempo futuro.

Pp: valor del dinero en el tiempo presente.

i: tasa de inflación.

n: cantidad de años.

5.2 Inventario de la red vial cantonal

Para emprender las labores de planificación de la inversión es necesario tener la información pertinente a la red, la cual comprende todas las características de los tramos de carretera, así como el estado actual.

Una de las características más importantes a tomar en cuenta es el área de cada tramo, la cual comprende el producto de la medida de la sección transversal por la longitud del tramo en estudio. Cuando la medida de la longitud transversal no es constante, se necesario establecer un ancho equivalente.

Dentro de la información a la que se tiene acceso, no se cuenta con los datos de las edades del pavimento relacionado con la vida real de las secciones en estudio. Es posible a partir de curvas de deterioro dar un valor de edad al pavimento, para el caso de los datos tomados a partir de deflexión y rugosidad internacional se pueden emplear las curvas propuestas para Costa Rica por Amador y Mrawira (2008) y para el caso de las edades a partir de condición superficial se emplearán curvas de origen foráneo, que para nuestro caso serán las curvas desarrolladas por Sebbaly, Hajj y Loría (2007), Universidad de Nevada Reno. La información respectiva de las curvas de deterioro y las edades de los pavimentos se pueden ver en los Apéndices B.1 y B.2 respectivamente.

5.3 Periodo de análisis

Dentro del desarrollo de un plan de inversiones es importante establecer el periodo de tiempo en que se analizará la red, para el caso de este modelo en particular el lapso de tiempo es de 20 años.

5.4 Ventanas de operación

Es necesario establecer las intervenciones a realizar según el valor del indicador PCI que presenten los tramos de carretera. Los rangos que se emplean para la determinación de las ventanas de operación son tomados del departamento de transportes de New Brunswick, con la eventual adaptación de que todos los valores del indicador PCI menores a 40 se les debe intervenir con reconstrucción total, ya que los costos de la reconstrucción menor son muy similares a los de reconstrucción total.

A continuación se presenta la tabla con las ventanas de operación propuestas para ambas gestiones.

Cuadro 5.1: Ventanas de operación.

Condición del pavimento	PCI	Condición del pavimento	PCI condición superficial	Tratamiento
Muy bueno	100-80	Excelente	100-85	Preservación
		Muy Bueno	85-70	
Bueno	80-60	Bueno	70-55	Rehabilitación menor
Regular	60-40	Malo	55-40	Rehabilitación mayor
Pobre	40-25	Pobre	40-25	Reconstrucción Total
Muy Pobre	25-0	Muy Pobre	25-10	
		Inhabilitado	10-0	

Fuente: Adaptado de departamento de transportes de New Brunswick, 2005 y ASTM

D6433-03

Se encuentra una divergencia entre las calificaciones de la condición de pavimento, ya que la norma ASTM D6433 es más amplia en sus clases. Las ventanas de operación no son del todo coincidentes, aunque con un poco de observación se puede notar que la diferencia aplica mayormente a la cantidad de clases, mas no al trasfondo de las ventanas de operación. Por ejemplo las carreteras que necesitan reconstrucción total en ambos casos son las que se encuentran en condición de PCI menor a 40, y están designadas como pobre, muy pobre y en el caso de la norma ASTM D6433 como pobre, muy pobre e inhabilitada. En el caso de los tramos que necesitan rehabilitación menor son los denominados como regular con un PCI de 60 a 40, en el caso de la norma ASTM D6433 la ventana atrapa un porcentaje de la clase buena y toda la clase mala, lo que permite establecer cierta convergencia de criterio.

En ambos modelos de gestión se emplearán las ventanas de operación tal como se muestran en el cuadro 5.1

5.5 Transiciones y costos

Las intervenciones cambian la condición de la carretera, lo que implica que hay un movimiento en la curva de deterioro, las transiciones en la curva utilizada para cada modelo (Apéndice B.1), varían dependiendo directamente del tipo de tratamiento que se utilice.

El costo de la intervención se establece a partir de las condiciones de tránsito y del valor del indicador PCI, mediante estos parámetros el programa Woodstock determina el tratamiento adecuado. A continuación se presenta la tabla resumen de los costos propuesta para los diferentes tipos de tratamientos.

Cuadro 5.2: Resumen de costos según el tipo de tratamiento

ESAL _s	Tratamiento	Costo (US\$/m ²)
-	Sobrecarpeta no estructural (4cm)	\$11,46
1.550.000	Rehabilitación Menor	\$11,46
3.615.000		\$11,46
9.300.000		\$18,62
1.550.000	Rehabilitación Mayor	\$17,19
3.615.000		\$24,35
9.300.000		\$34,37
1.550.000	Reconstrucción Menor (CA+BE)	\$51,51
3.615.000		\$60,10
9.300.000		\$68,70
1.550.000	Reconstrucción Total	\$53,10
3.615.000		\$60,42
9.300.000		\$69,85

Fuente: López,S. (2009)

Los costos fueron calculados en función de los espesores de las secciones diseñadas previamente para cada tipo de estructura identificada en la red vial cantonal de Belén, los mismos fueron desarrollados por López,S.(2009). Los costos unitarios provienen de las ofertas realizadas a la licitación LP-001-2005 asociada a la zona de conservación vial del CONAVI 1-1 y a la licitación LPN° 2007-000001 realizada por la municipalidad del cantón de Belén. Es importante aclarar que los costos empleados aplican para el año 2009 en el cual se realizó la gestión propuesta por López, S (2009). Se utilizan estos mismos datos, ya que el objetivo del proyecto no consiste en realizar una nueva gestión.

5.6 ESCENARIOS DE INVERSIÓN.

Los escenarios de inversión son dependientes de los valores que se estén empleando para la calificación de los tramos homogéneos, unos datos son tomados de los ensayos de rugosidad internacional y capacidad estructural dando como resultado un indicador PCI_{SP} , mientras otros datos son tomados por medio de auscultación visual creando el indicador PCI_A . A pesar de que ambas metodologías llegan a una calificación en la misma escala (de 1 a 100), los resultados se deben comparar a nivel de inversiones, para buscar las similitudes de los procesos.

A continuación se presentan los escenarios de inversión para los diferentes datos trabajados.

5.6.1 Escenario 1: presupuesto de US\$ 360 000

Los valores de inversión corresponden a US\$ 360 000, dicho valor refiere al uso de todo el dinero que establece la Contraloría General de la República en el año 2009 como monto máximo a invertir en carreteras por parte de una municipalidad. Este dinero se aplica en su totalidad a la intervención en las carreteras primarias, secundarias y de travesía, no se contempla el arreglo de las vías terciarias ni el bacheo continuo.

La función objetivo del análisis es maximizar el valor del indicador PCI sobre la red. Esto con el fin de mejorar la calidad del servicio. Además de que las rutas del alto tránsito dentro del cantón mantengan o aumenten el PCI con el paso del tiempo.

A continuación en las figuras 5.1 y 5.2 se muestran las relaciones de las áreas de carreteras según el estado.

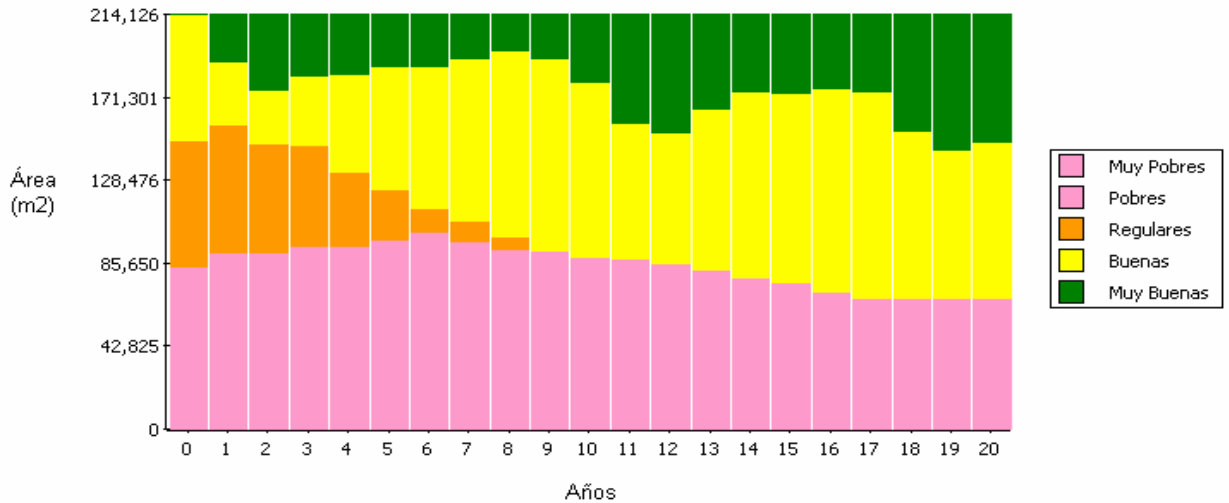


Figura 5.1: Área asociada a cada estado (PCI_{SP}) Presupuesto US\$360.000 anuales

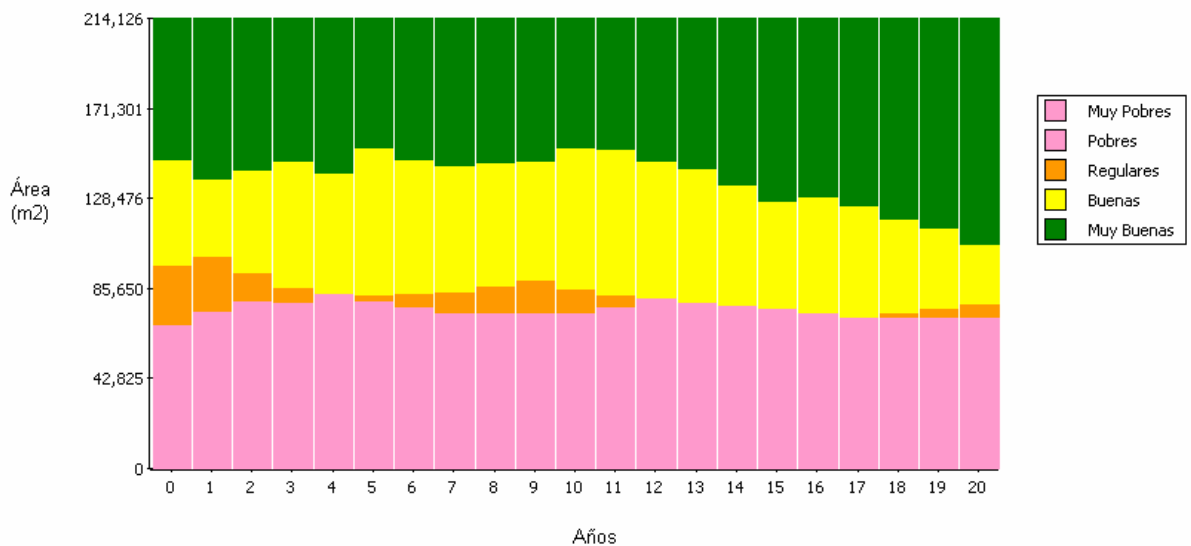


Figura 5.2: Área asociada a cada estado. (PCI_A) Presupuesto US\$360.000 anuales

En ambas figuras se puede observar claramente como a pesar de las intervenciones sobre la red de carreteras, no se logra disminuir significativamente los porcentajes de carreteras en estado pobre y muy pobre. Esta tendencia se debe a que es muy similar el deterioro que sufre la red con el paso de los años a la capacidad de inversión por parte de la administración.

Es importante notar que en la figura 5.1 en el año cero, no se cuenta con carreteras en estado muy bueno. Esto obedece a que los arreglos realizados en los años 2009 y 2010, por parte de la municipalidad sólo se encargaron de establecer como tratamiento para las carreteras la colocación de una sobrecarpeta asfáltica no estructural (4cm de espesor). Esto conlleva a un cambio de la rugosidad de las carreteras, pero no aplica cambios en la parte estructural, por lo tanto, tales inversiones no se ven reflejadas de manera significativa en la calificación de los tramos homogéneos, a lo sumo colocando las carreteras como buenas.

En contra parte, en la figura 5.2 se muestra un área significativa de carreteras en estado bueno, lo cual refiere a todas las inversiones recientes realizadas por la municipalidad de Belén. Ya que la metodología permite trabajar con lo que se observa en la superficie de rodamiento, dando calificaciones muy altas a las carreteras con sobrecarpeta asfáltica reciente.

A continuación se muestran las figuras 5.3 y 5.4 las cuales muestran de manera gráfica la variación del PCI según el tipo de tránsito a lo largo del tiempo.

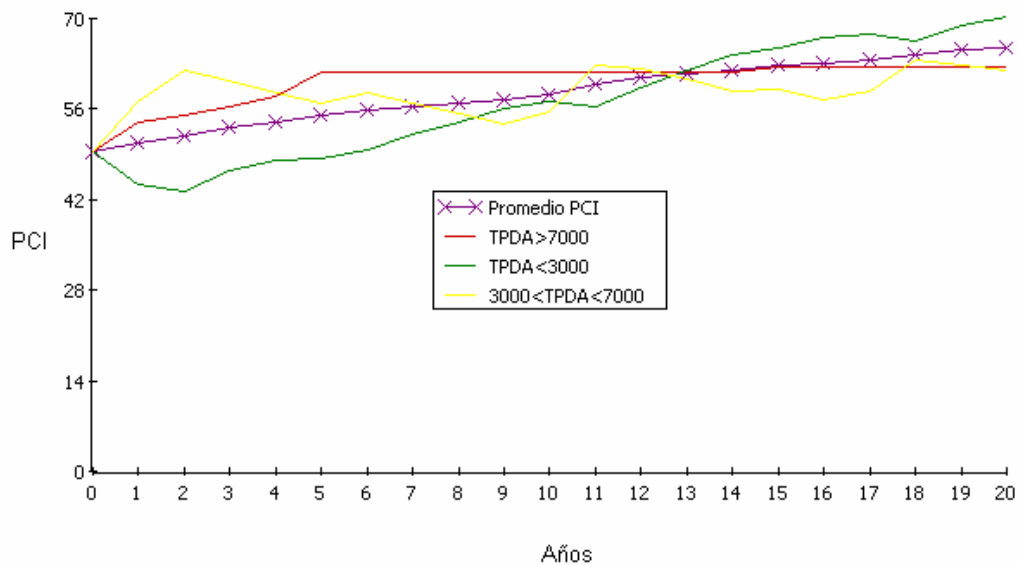


Figura 5.3: Valor del PCI_{SP} según tipo de tránsito. Presupuesto US\$360.000 anuales

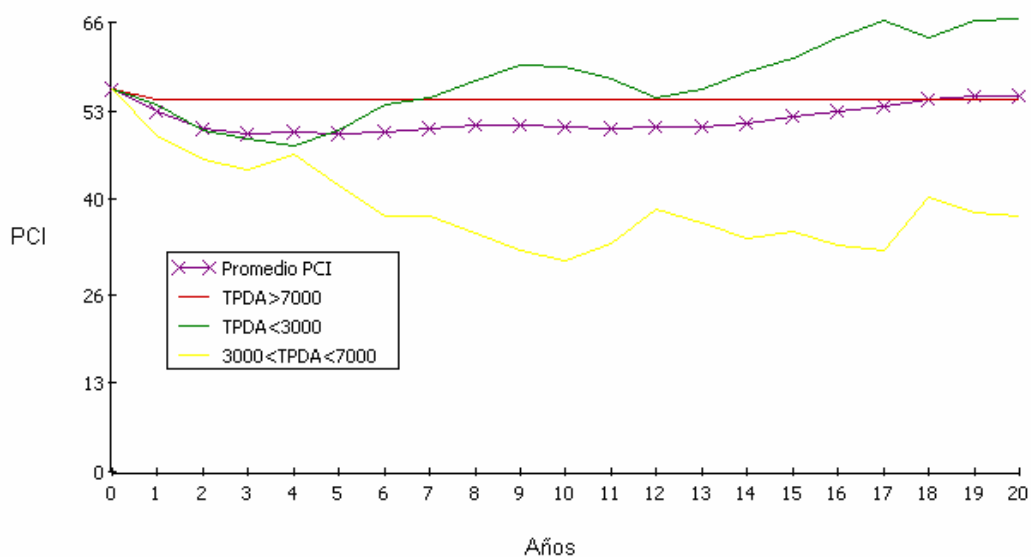


Figura 5.4: Valor del PCI_A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$360.000 anuales

Se denota una tendencia similar entre las figuras 5.3 y 5.4, a excepción del PCI_A para las rutas de tránsito medio, dichas rutas presentan un decaimiento en la condición.

Para el caso de las figuras 5.5 y 5.6, se muestran las tendencias de los costos en relación al tipo de tratamiento en función del tiempo, en dichas figuras se puede observar que la tendencia de los costos totales es la misma, esto se debe a que el presupuesto es limitado, lo cual hace que en ambos modelos se invierta todo el dinero disponible para cada año.

También se puede observar como hay diferencias entre los tipos de tratamientos aplicados, en el caso de la figura 5.5, no se aplica sobrecapa asfáltica no estructural en ninguno de los años. Lo cual tiene correspondencia con el hecho de que para el año cero de este modelo no se encuentran con ninguna carretera en estado muy bueno, por lo que no son necesarias medidas preventivas. Al poseer un presupuesto tan limitado las inversiones óptimas van más relacionadas a rehabilitación y reconstrucción.

En la figura 5.6, si se muestran inversiones en colocar sobrecapa asfáltica no estructural, dichas inversiones aplican a las carreteras que se encuentran en estado muy bueno, lo que ayuda a subir o a lo sumo mantener la condición del PCI , tal como se restringió para este modelo.

A continuación se muestran las figuras 5.5 y 5.6, las cuales muestran gráficamente el costo de las inversiones en función del tiempo.

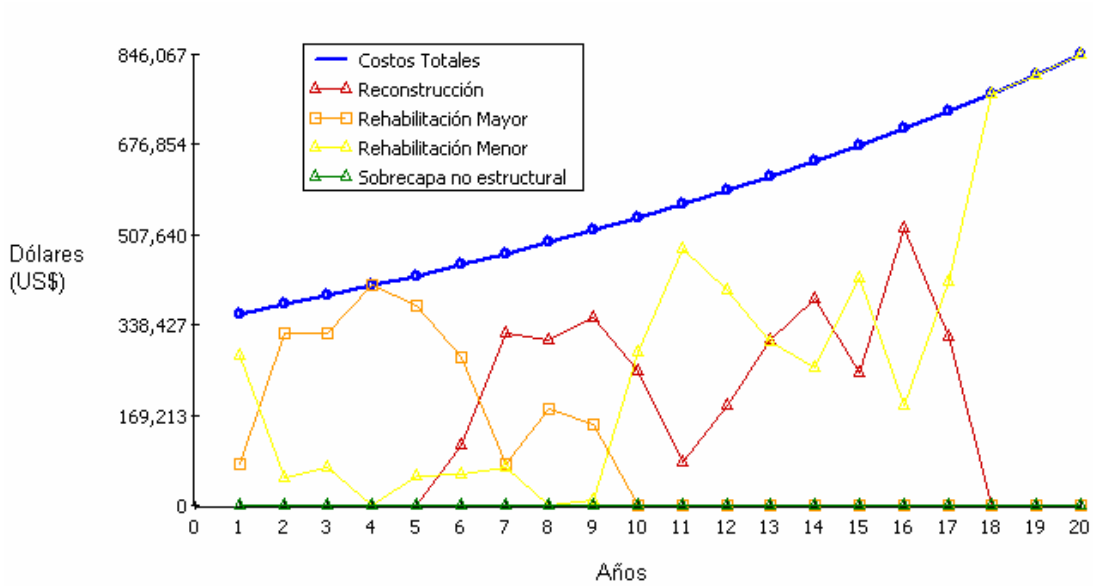


Figura 5.5: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_{SP}. Presupuesto US\$360.000 anuales

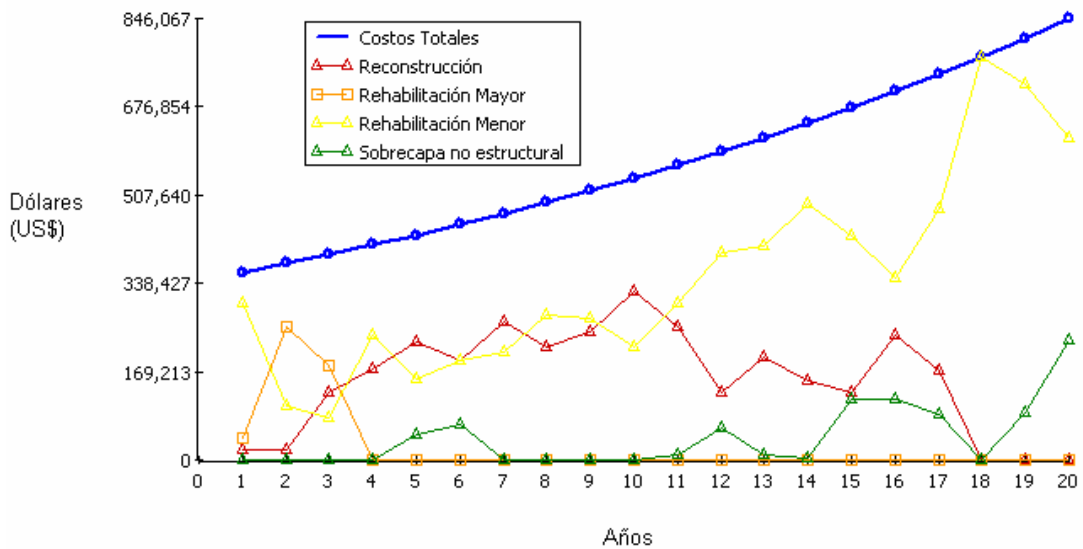


Figura 5.6: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

A continuación se muestran las figuras 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12 en los cuales se muestran el área intervenida según el tipo de tránsito para cada uno de los tratamientos.

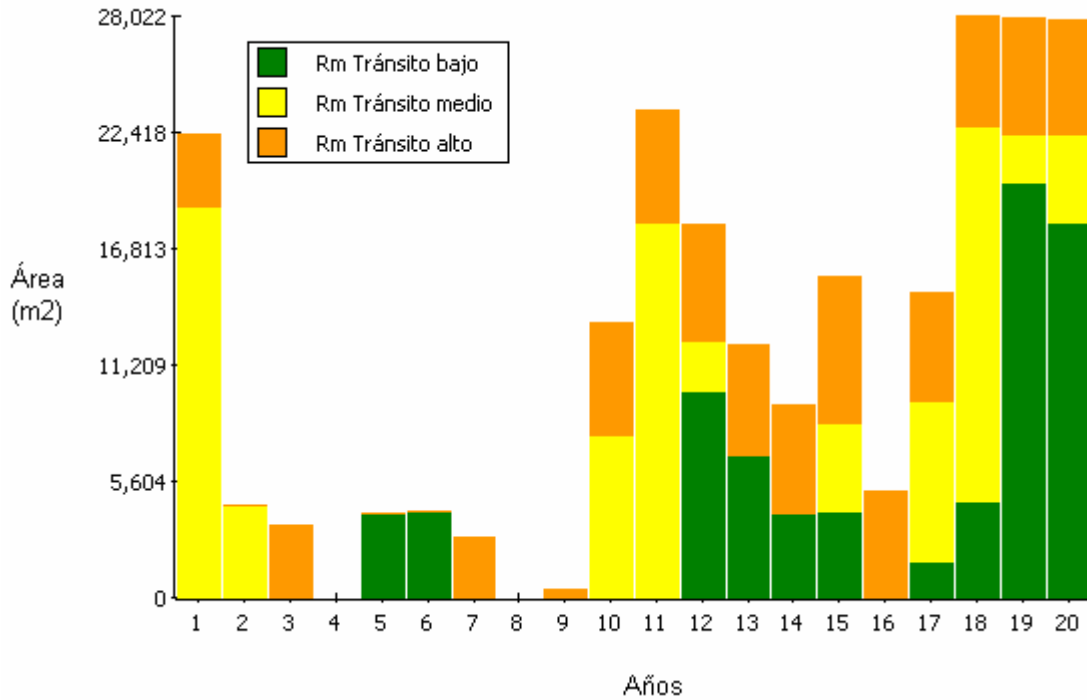


Figura 5.7: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales

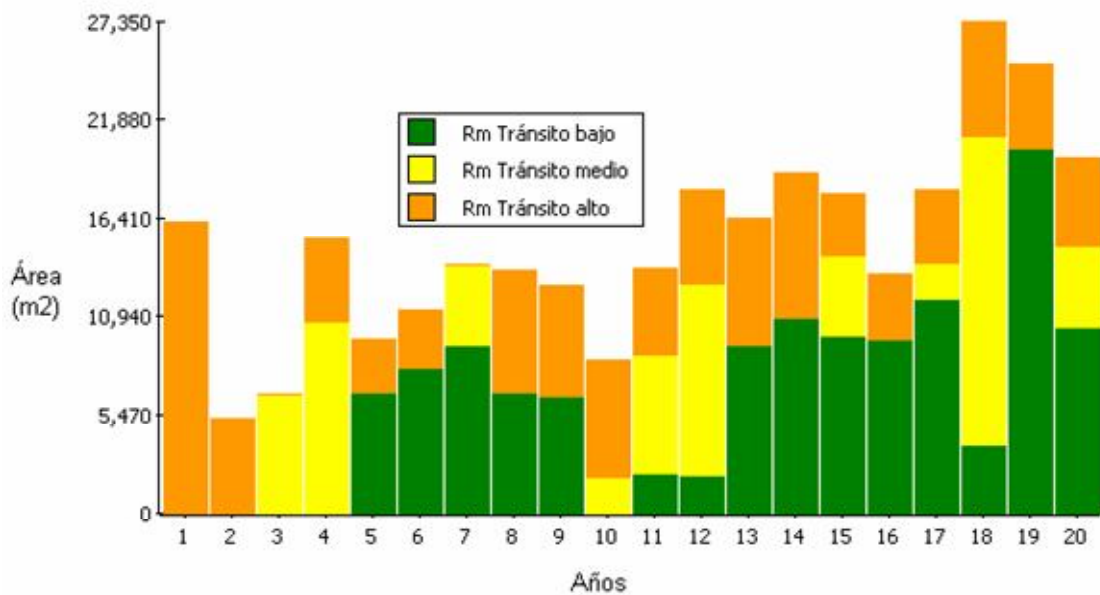


Figura 5.8: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

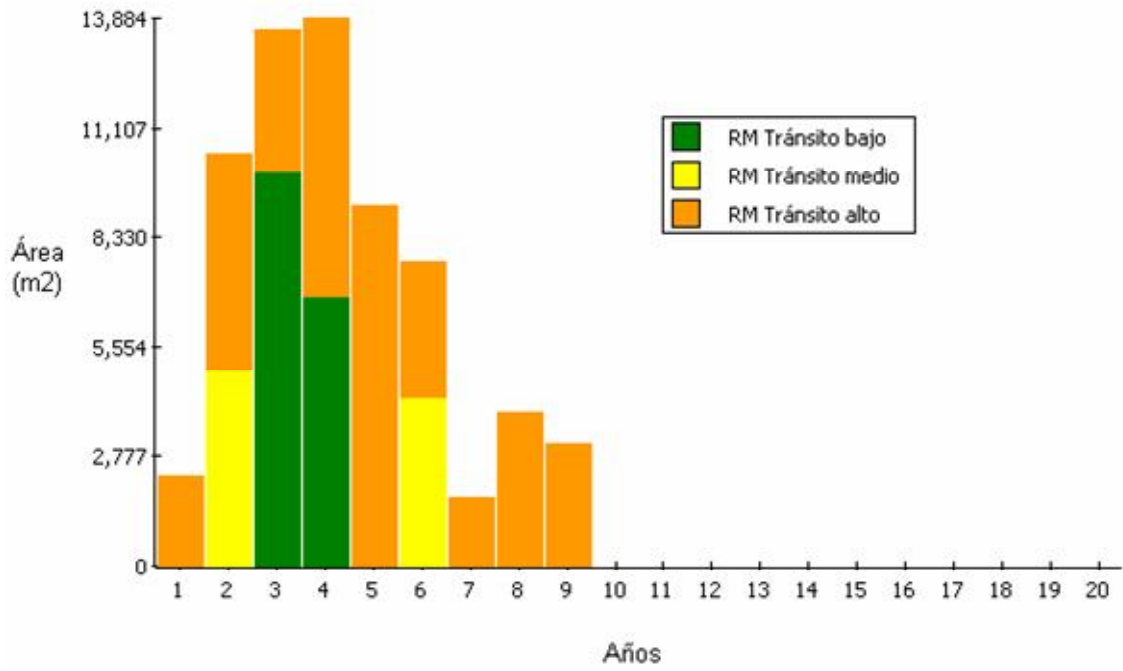


Figura 5.9: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_{SP}
Presupuesto US\$360.000 anuales

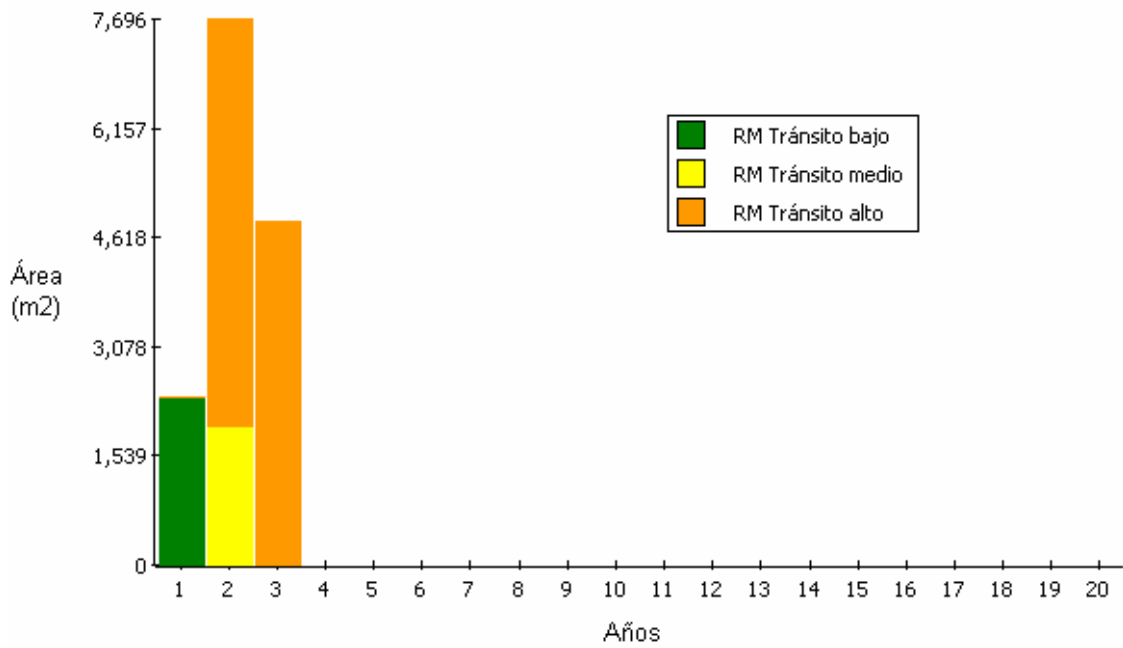


Figura 5.10: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_A
Presupuesto US\$360.000 anuales

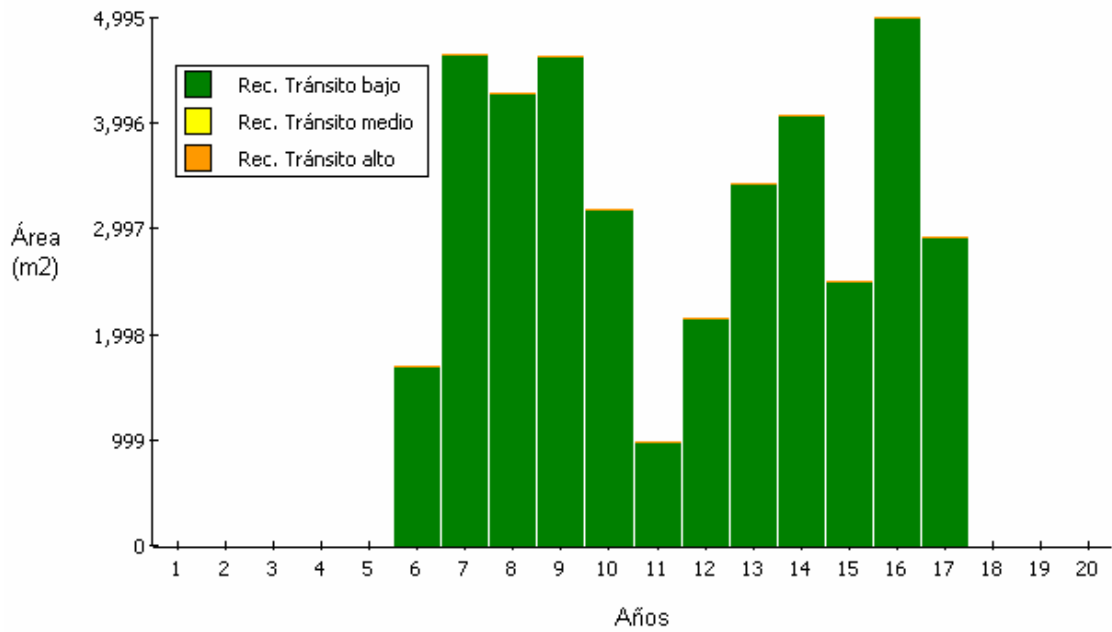


Figura 5.11: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_{sp}
Presupuesto US\$360.000 anuales

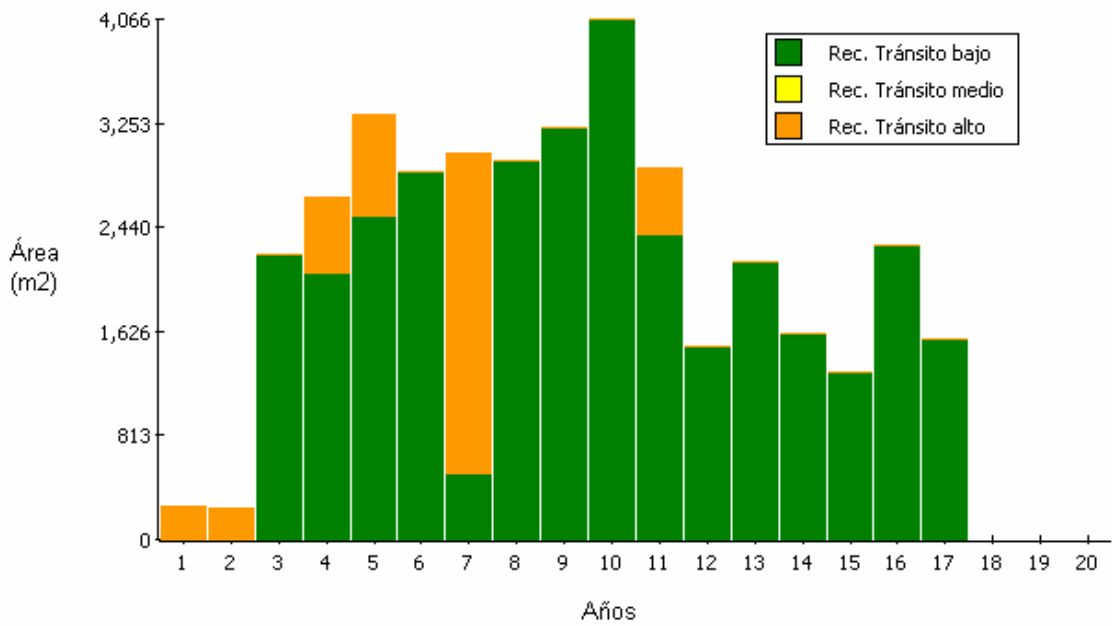


Figura 5.12: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_a
Presupuesto US\$360.000 anuales

En las figuras se puede observar cierta tendencia entre los modelos en la realización de las intervenciones, en ambos casos las reconstrucciones de carreteras se dan prioritariamente en las de tránsito bajo, las rehabilitaciones mayores en tránsito alto y las rehabilitaciones menores en casi todos los tipos de tránsito.

Los modelos suponen que el presupuesto aumenta al mismo ritmo en el que aumentan los costos de tratamientos, lo cual refiere a la tasa de inflación. Además con el empleo de la tasa de descuento se puede traer valor presente los costos de las intervenciones. Las figuras 5.13, 5.14, 5.15 y 5.16 muestran respectivamente el aumento del presupuesto por la inflación y el valor del dinero en el año presente para ambos modelos.

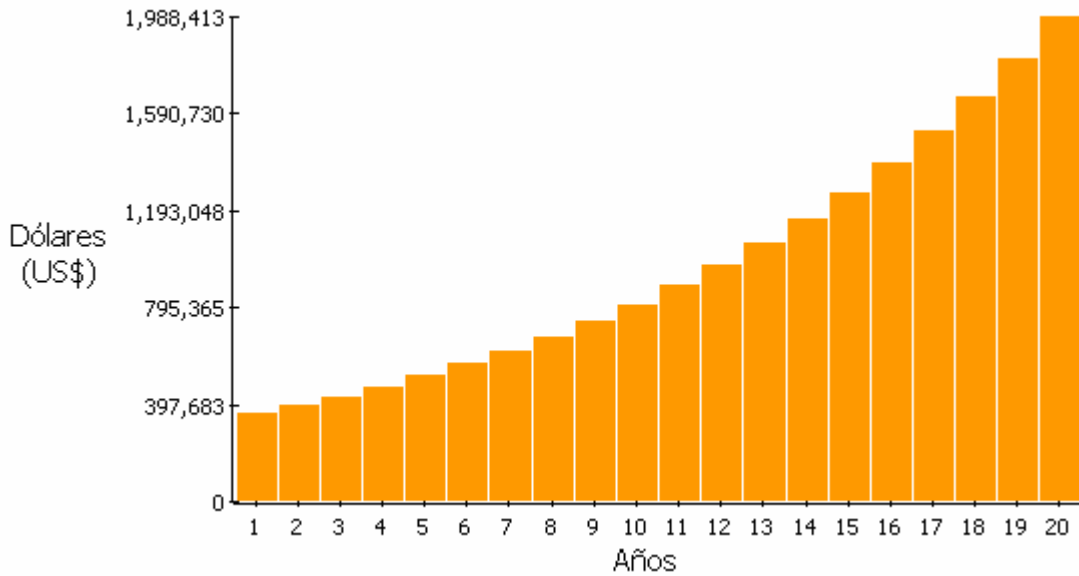


Figura 5.13: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI_{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales

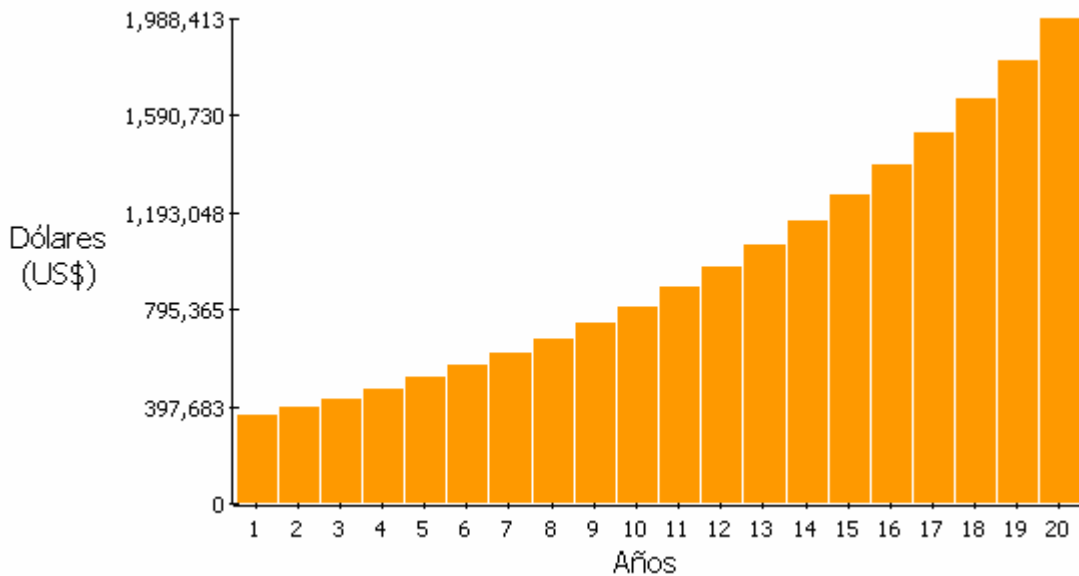


Figura 5.14: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

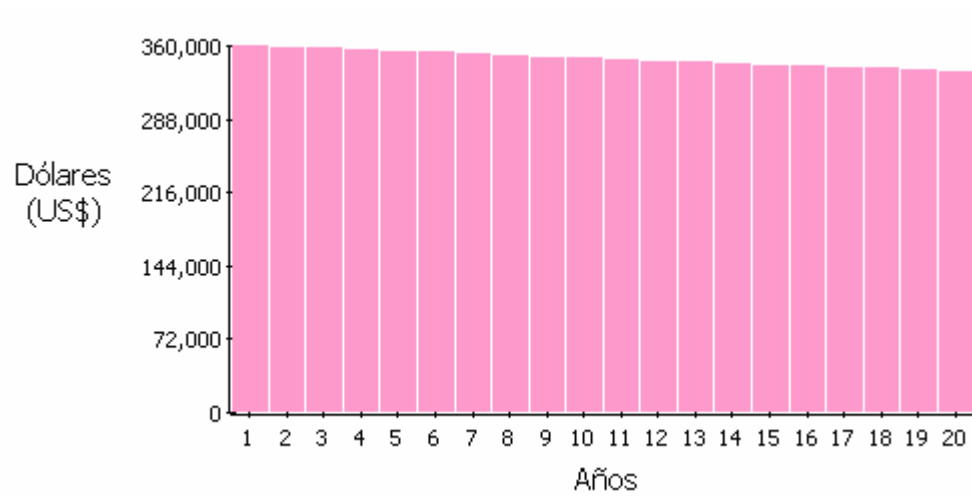


Figura 5.15: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI_{SP} Presupuesto US\$360.000 anuales

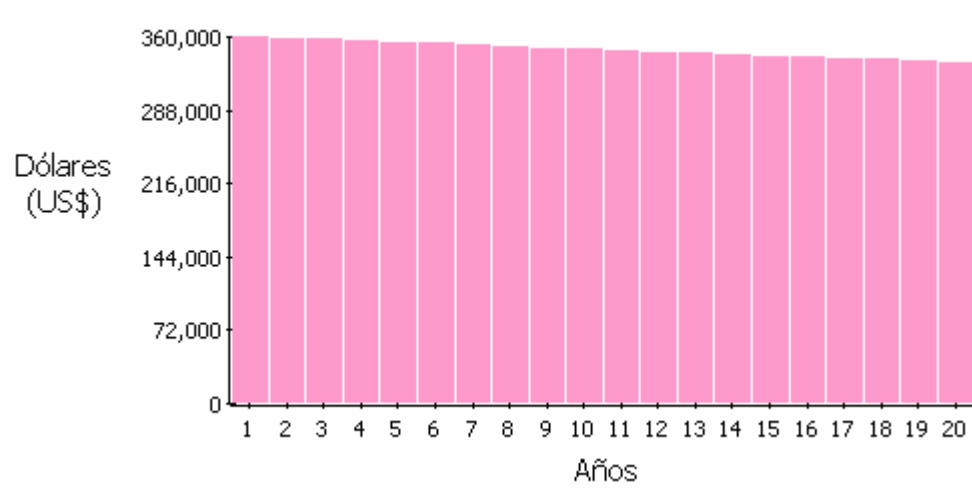


Figura 5.16: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

Para ambos modelos los resultados son los mismos, ya que el presupuesto es muy limitado, por lo cual siempre se ejecuta todo el capital disponible para cada año.

5.6.2 Escenario 2: presupuesto de US\$ 720 000

Este escenario considera un presupuesto anual de US\$ 720.000 para inversión en carreteras, destinándose por completo a las vías primarias, secundarias y de travesía. La función objetivo sigue siendo maximizar el valor del indicador PCI sobre la red. El empleo de más recursos nos mostrará el comportamiento de ambos modelos, y las relaciones entre los mismos.

A continuación se muestran las figuras 5.17 y 5.18, en las cuales se describe la cantidad de área asociada a un estado de la carretera con el nuevo escenario de inversión.

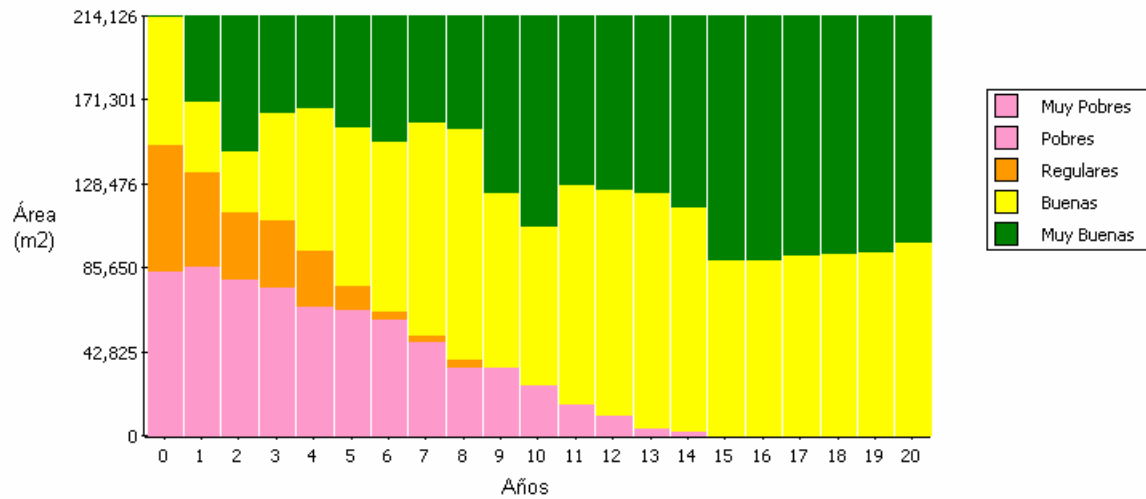


Figura 5.17: Área asociada a cada estado. (PCI_{SP}) Presupuesto US\$720.000 anuales

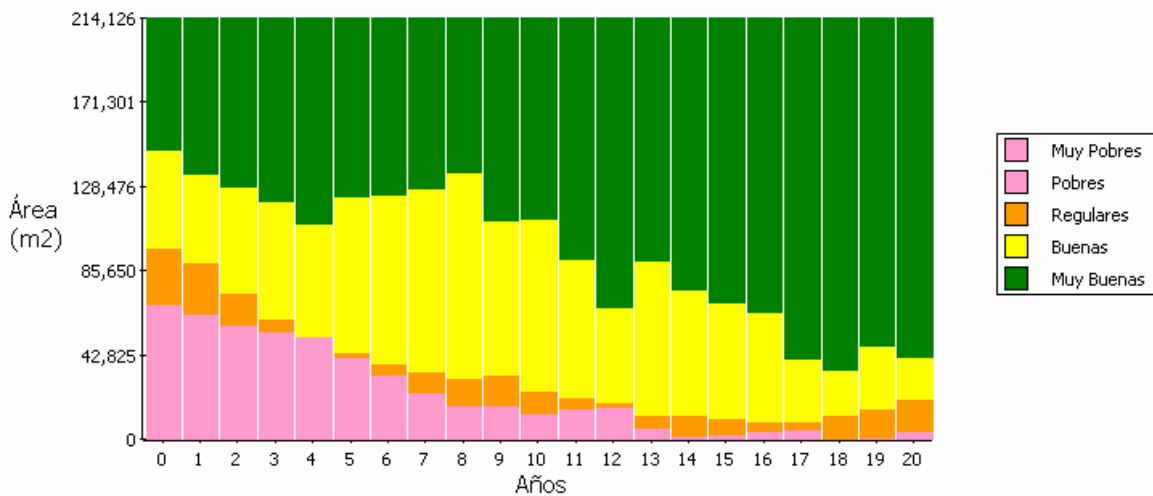


Figura 5.18: Área asociada a cada estado. (PCI_A) Presupuesto US\$720.000 anuales

Para ambos casos se muestra una gran mejoría sobre las condiciones de la red, aproximadamente para el año 15 se eliminan las carreteras en estado pobre y muy pobre, con la diferencia que para los años siguientes el modelo basado en la condición estructural y rugosidad mantiene las condiciones de las carreteras. En el caso del modelo basado en datos de auscultación visual, a partir del año 15 no logra mantener las condiciones de la red en un estado bueno y muy bueno.

A continuación se muestran las figuras 5.19 y 5.20, en las cuales se muestran las variaciones del valor del PCI según el tipo de tránsito.

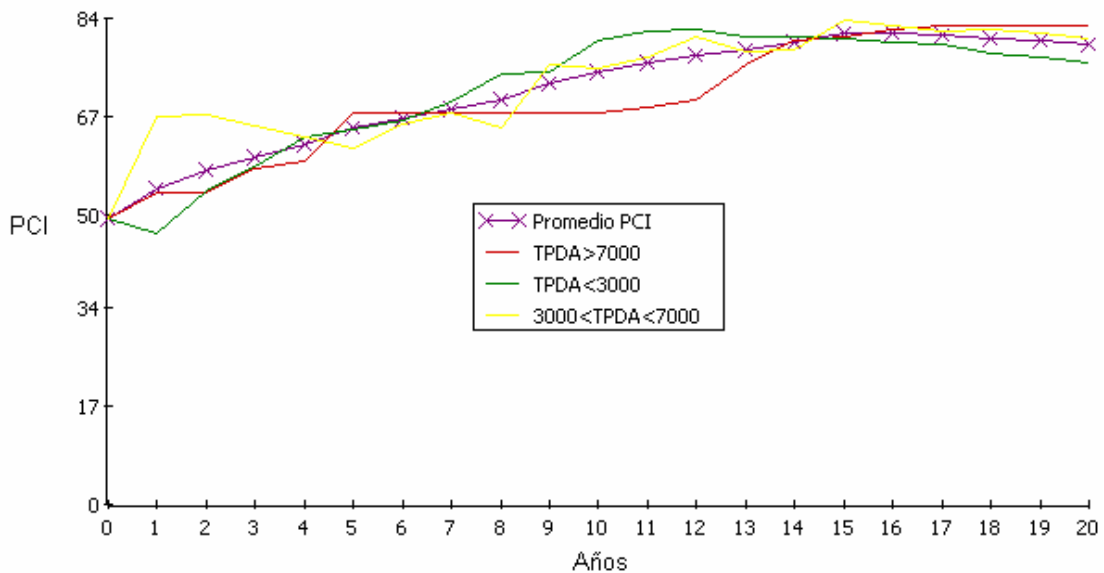


Figura 5.19: Valor del PCI_{SP} según tipo de tránsito. Presupuesto US\$720.000 anuales

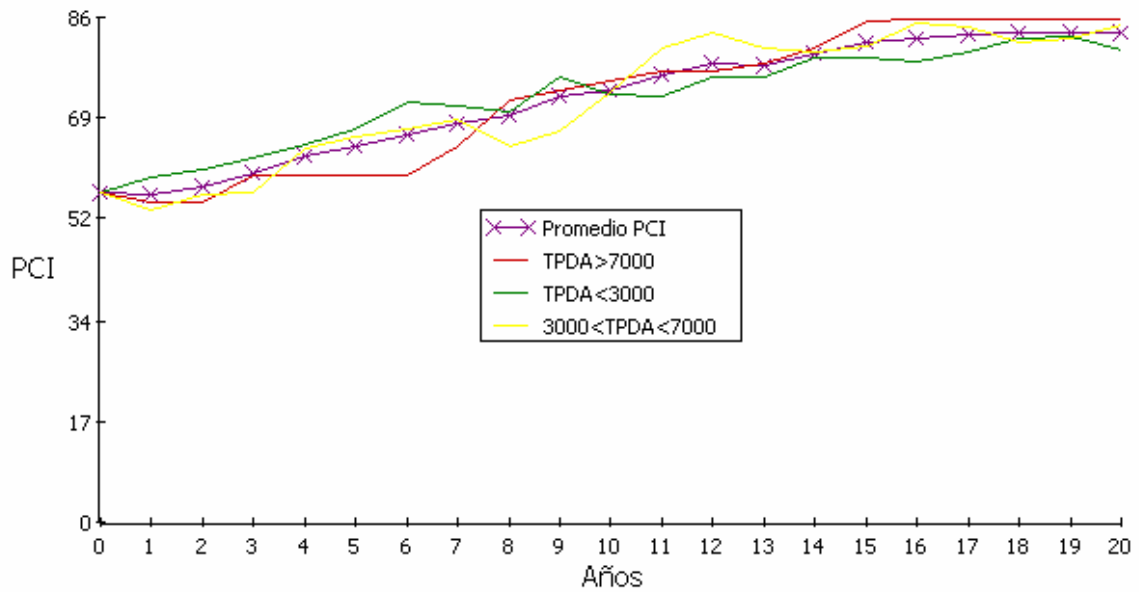


Figura 5.20: Valor del PCI_A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$720.000 anuales

Las figuras 5.19 y 5.20 presentan un valor creciente del PCI promedio, hasta llevarlo a un punto de equilibrio, donde se encuentran las carreteras en buen estado. En ambas figuras se puede observar un comportamiento similar, al subir paulatinamente el valor del PCI de todos los tipos de tránsito.

A continuación se muestran las figuras 5.21 y 5.22, en las cuales se muestran la relación de los costos de las intervenciones según el tipo de tratamiento en función del tiempo.

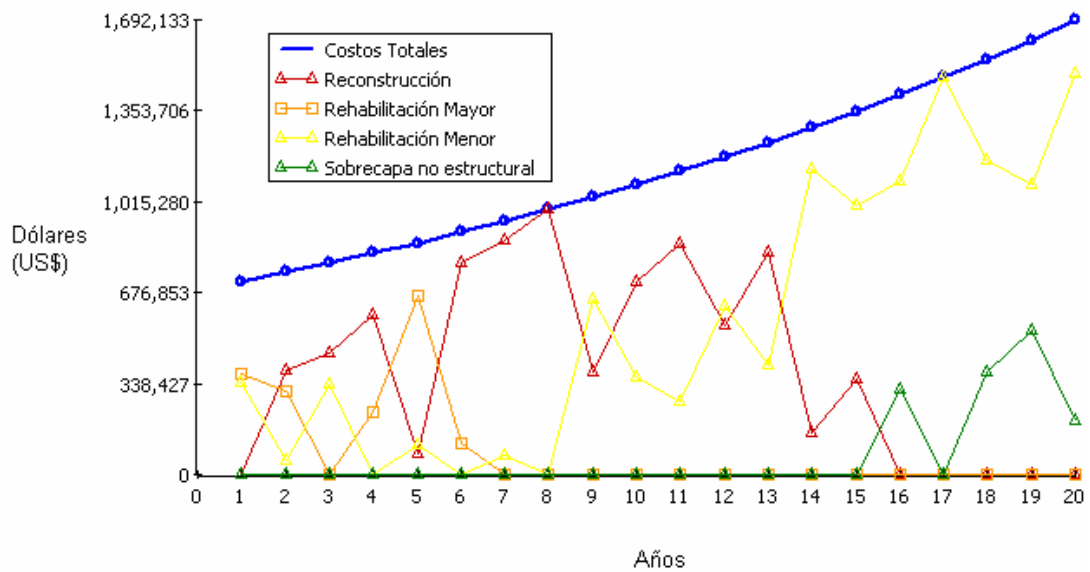


Figura 5.21: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_{sp} Presupuesto US\$720.000 anuales

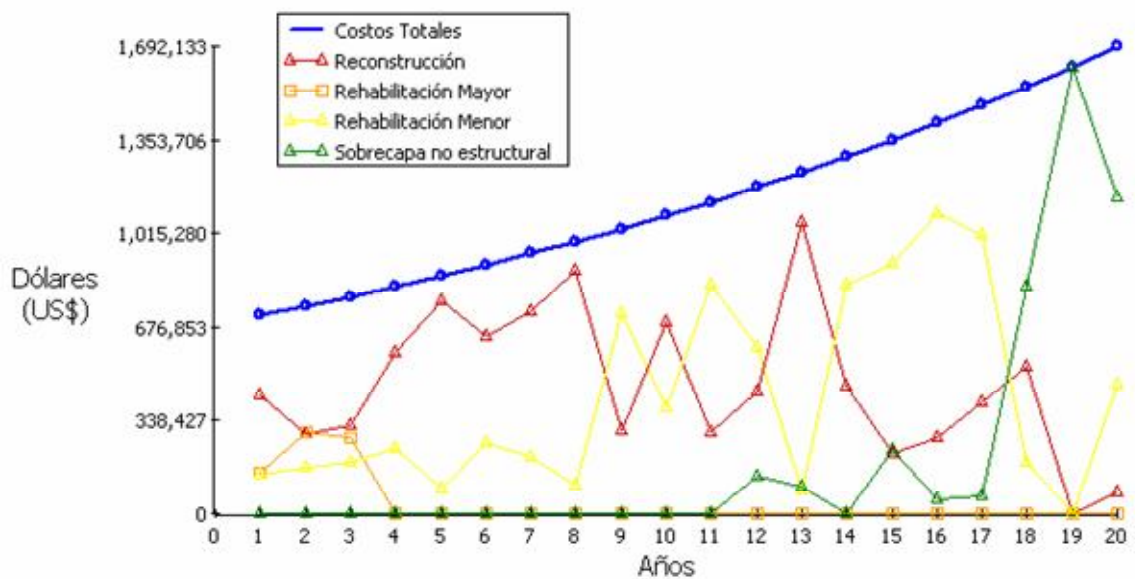


Figura 5.22: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_a Presupuesto US\$720.000 anuales

En las figuras 5.21 y 5.22, se denota claramente valores totales iguales para ambos modelos, esto dado que el presupuesto se ejecuta en su totalidad en ambos modelos. También es importante notar que existen diferencias en la decisión del tipo de intervención sobre la cual se invierte en cada año.

A continuación se muestran las figuras 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27 y 5.28 en las cuales se muestran el área intervenida según el tipo de tránsito para cada uno de los tratamientos.

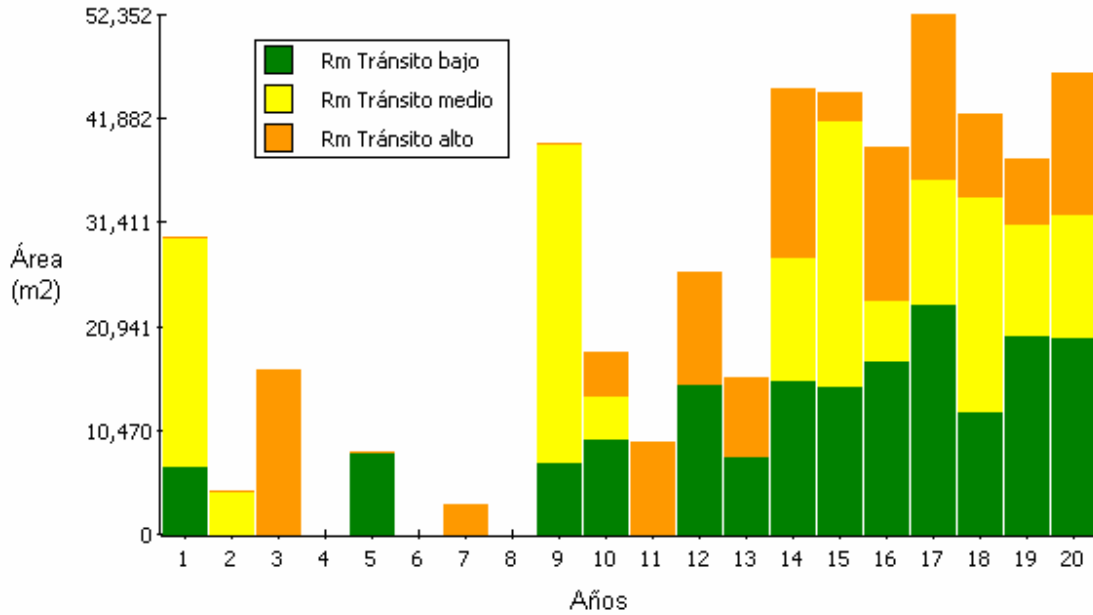


Figura 5.23: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_{sp} Presupuesto US\$720.000 anuales

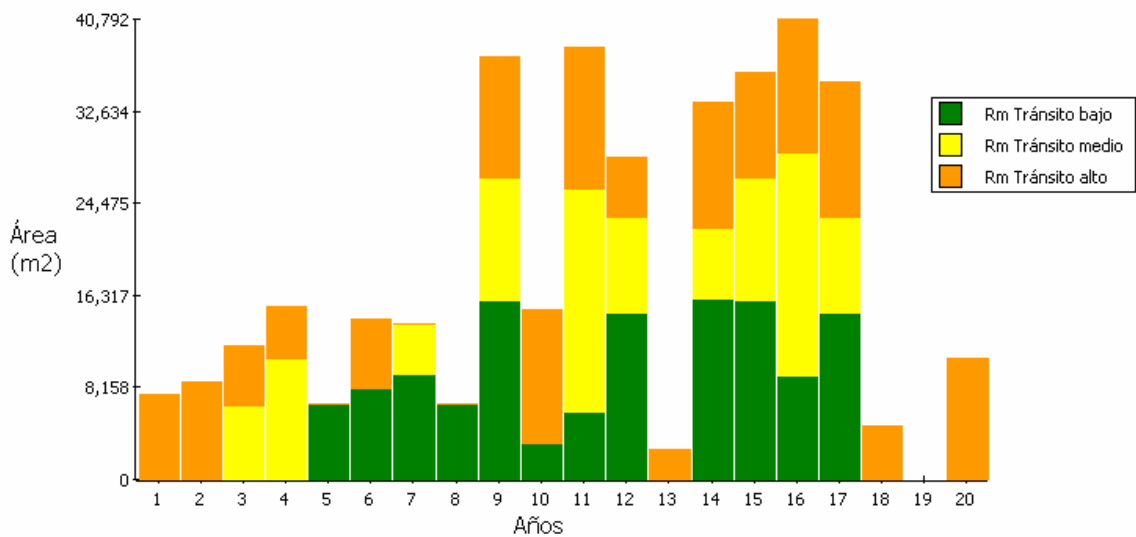


Figura 5.24: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_a Presupuesto US\$7200.000 anuales

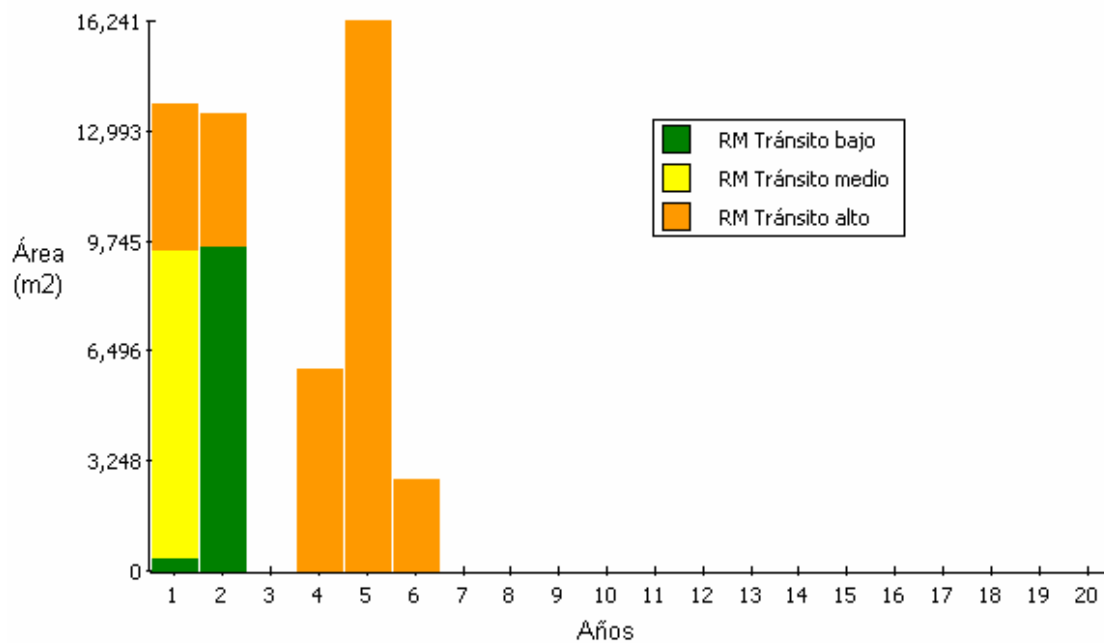


Figura 5.25: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_{SP}
Presupuesto US\$720.000 anuales

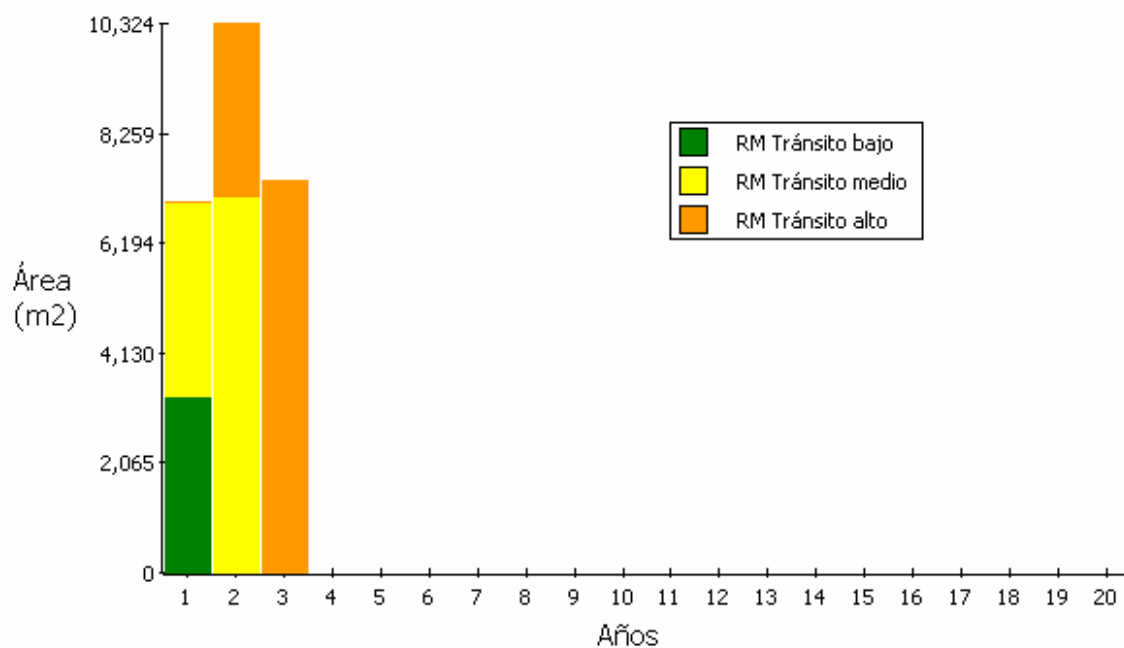


Figura 5.26: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_A
Presupuesto US\$720.000 anuales

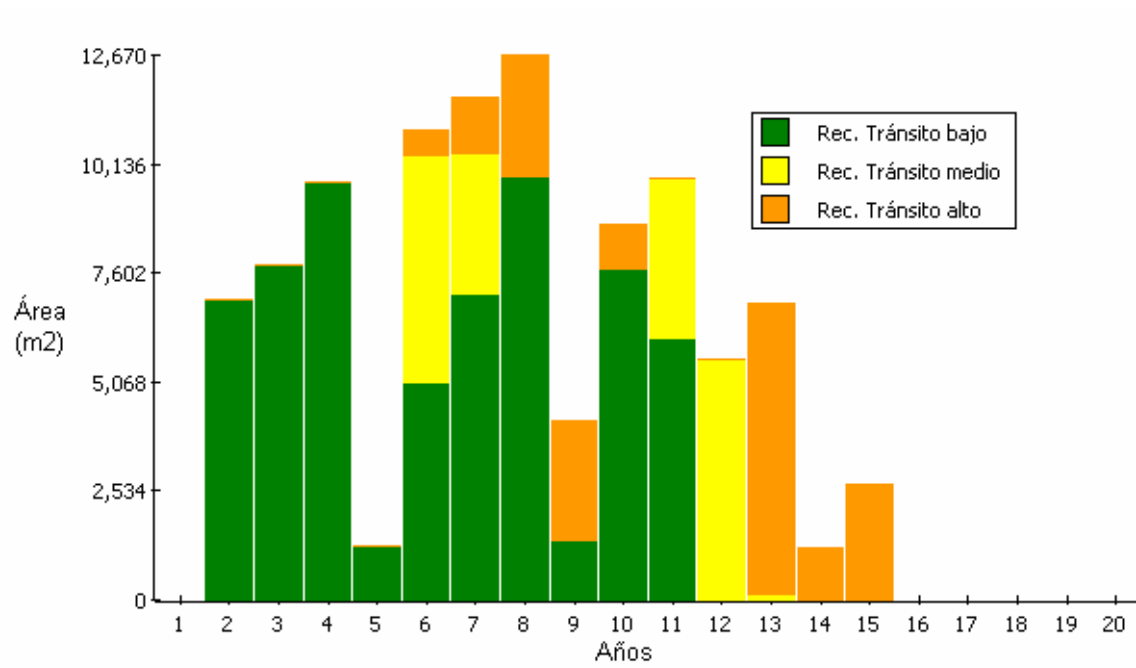


Figura 5.27: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_{SP}
Presupuesto US\$720.000 anuales

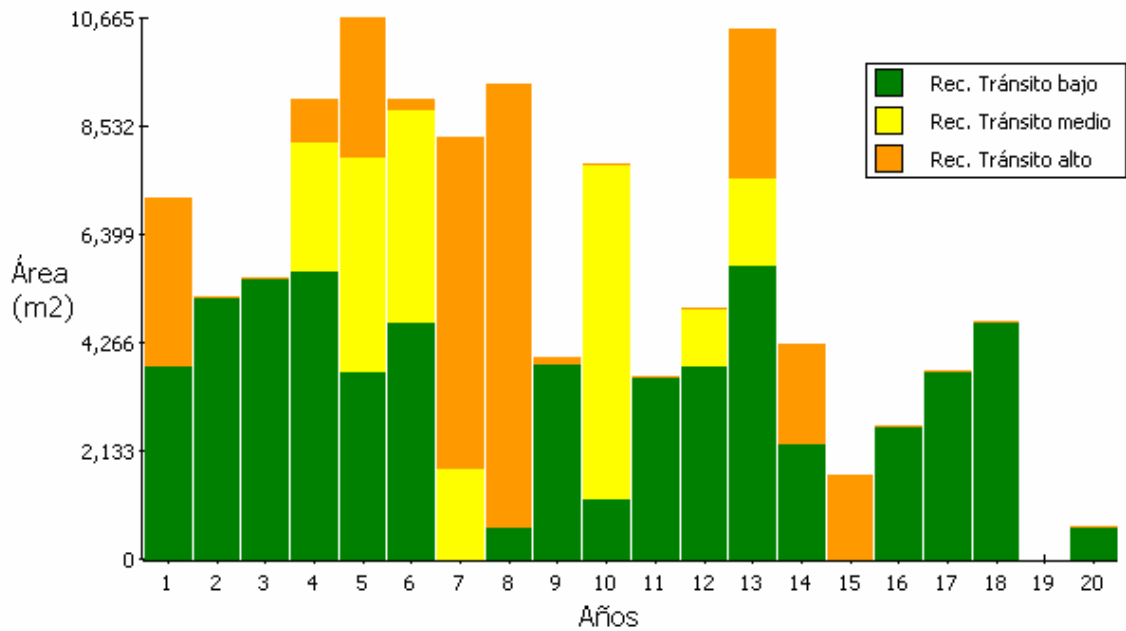


Figura 5.28: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_A
Presupuesto US\$720.000 anuales

Las variaciones del dinero en el tiempo se describen en las figuras 5.29, 5.30, 5.31 y 5.32, las cuales se muestran a continuación.

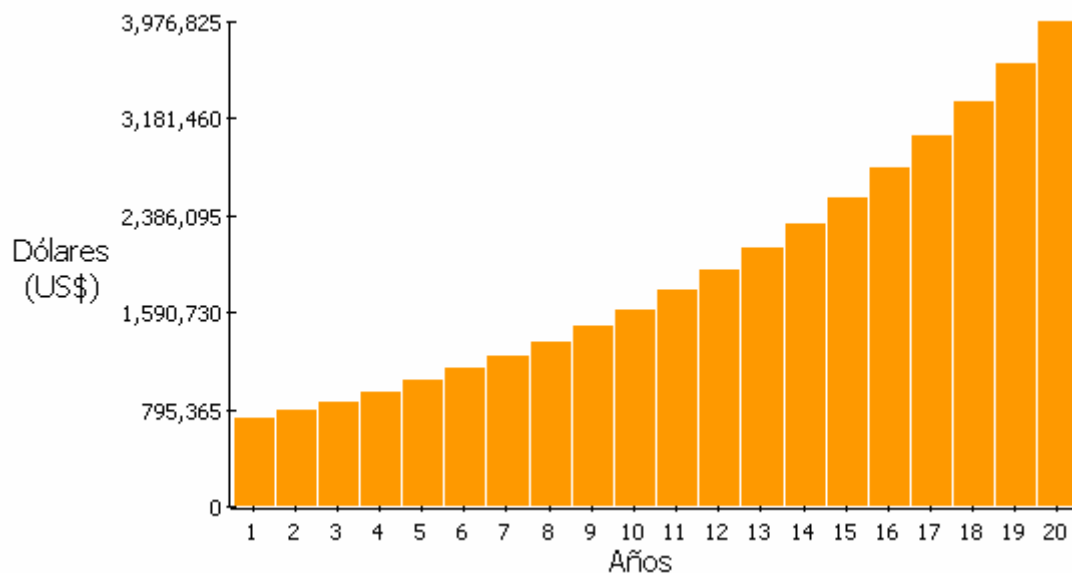


Figura 5.29: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI_{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales

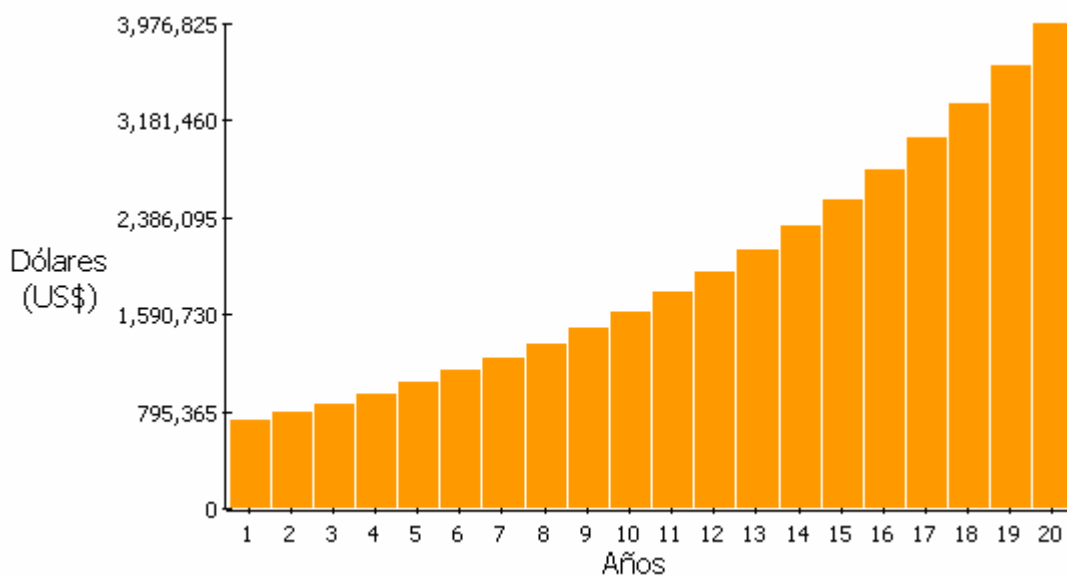


Figura 5.30: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI_A Presupuesto US\$720.000 anuales

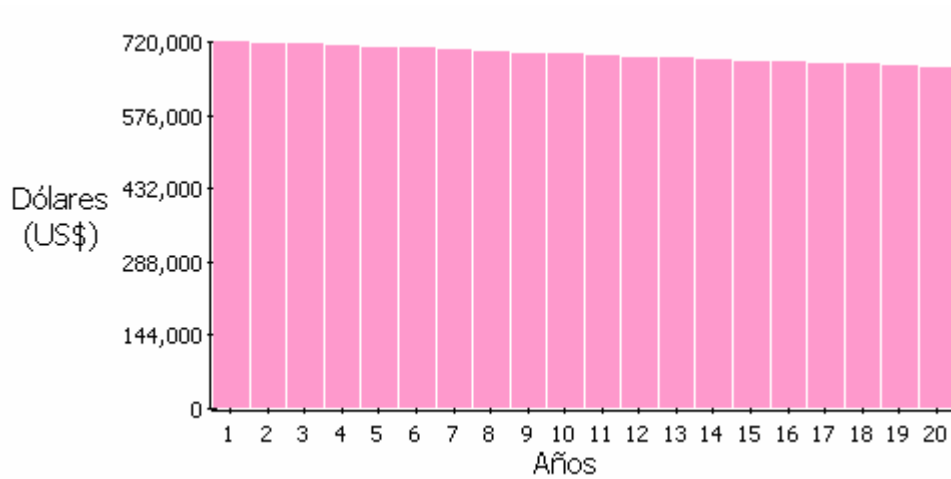


Figura 5.31: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI_{SP} Presupuesto US\$720.000 anuales

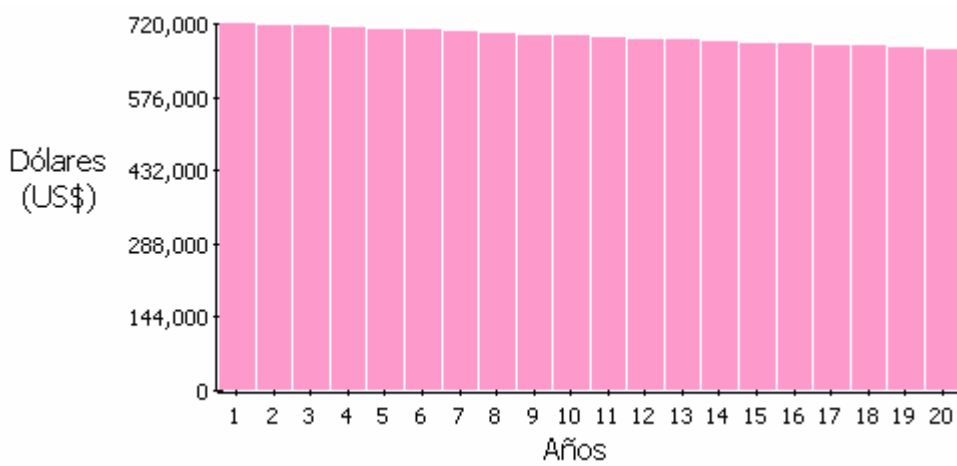


Figura 5.32: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI_A Presupuesto US\$720.000 anuales

Al igual que en el escenario anterior se ejecuta todo el dinero presupuestado para cada año, por lo cual en ambos modelos en este escenario nuevamente las figuras son iguales.

5.6.3 Escenario 3: presupuesto de US\$ 900 000

Este escenario considera un presupuesto anual de US\$ 900.000 para inversión en carreteras, el único cambio que posee en relación a los dos escenarios antes mostrados es el presupuesto de inversión, lo que se busca en este escenario es mostrar lo que sucede cuando se poseen recursos mayores, tratando de empujar a un mejor resultado por parte de los modelos, o incluso a resultados ineficientes en materia financiera.

A continuación se muestran las figuras 5.33 y 5.34, en la cual se describe la cantidad de área asociada a un estado de la carretera con el nuevo escenario de inversión.

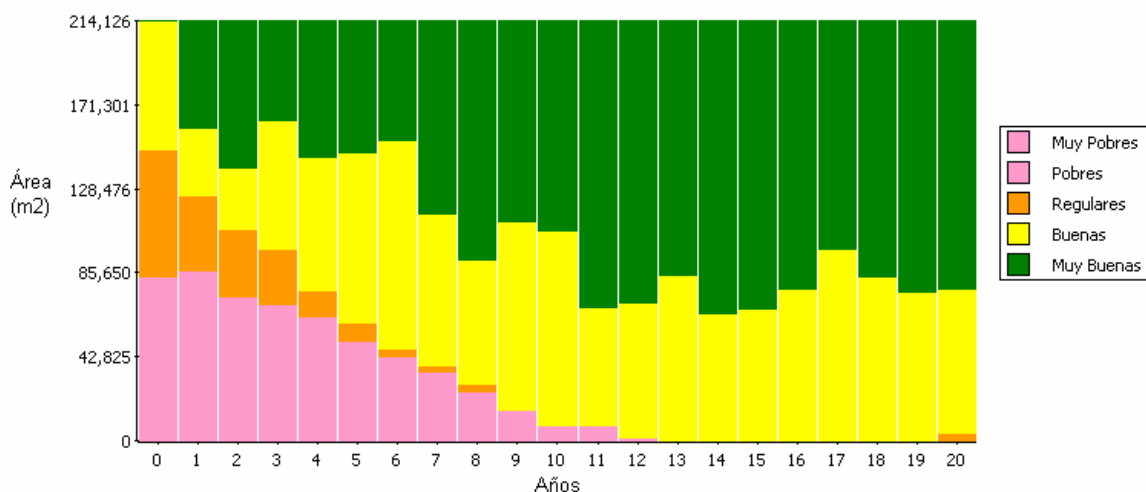


Figura 5.33: Área asociada a cada estado.(PCI_{SP}) Presupuesto US\$900.000 anuales

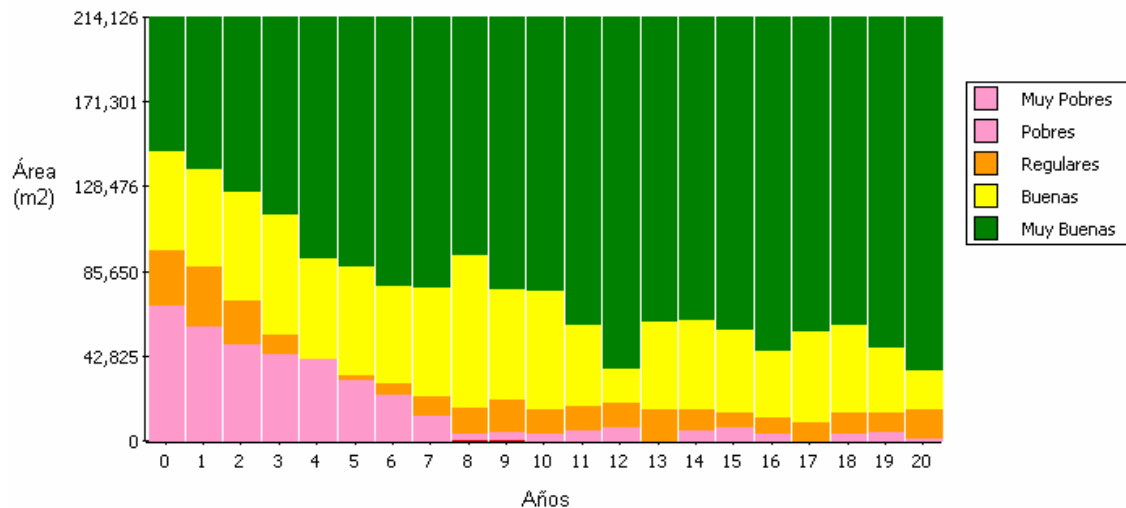


Figura 5.34: Área asociada a cada estado. (PCI_A) Presupuesto US\$900.000 anuales

Para ambos modelos se puede observar que con un presupuesto de US\$ 900.000 anuales la red de carreteras del cantón de Belén elimina todas las carreteras en estado pobre y muy pobre en el transcurso de los primeros 10 años. En el caso del modelo basado en datos de auscultación visual, a pesar de eliminar la los tramos en condición pobre y muy pobre para el año 8, no logra mantener este estado de manera perfecta.

Es importante denotar que el modelo de optimización lineal busca obtener al final de los 20 años de análisis el mejor estado de las carreteras con la restricción presupuestaria establecida. Lo que implica un tope máximo en el gasto, pero no limita en un mínimo, la función objetivo en nuestro caso es obtener el mayor valor de PCI para la red.

A continuación se muestran las figuras 5.35 y 5.36, en las cuales se muestran las variaciones del valor del PCI según el tipo de tránsito.

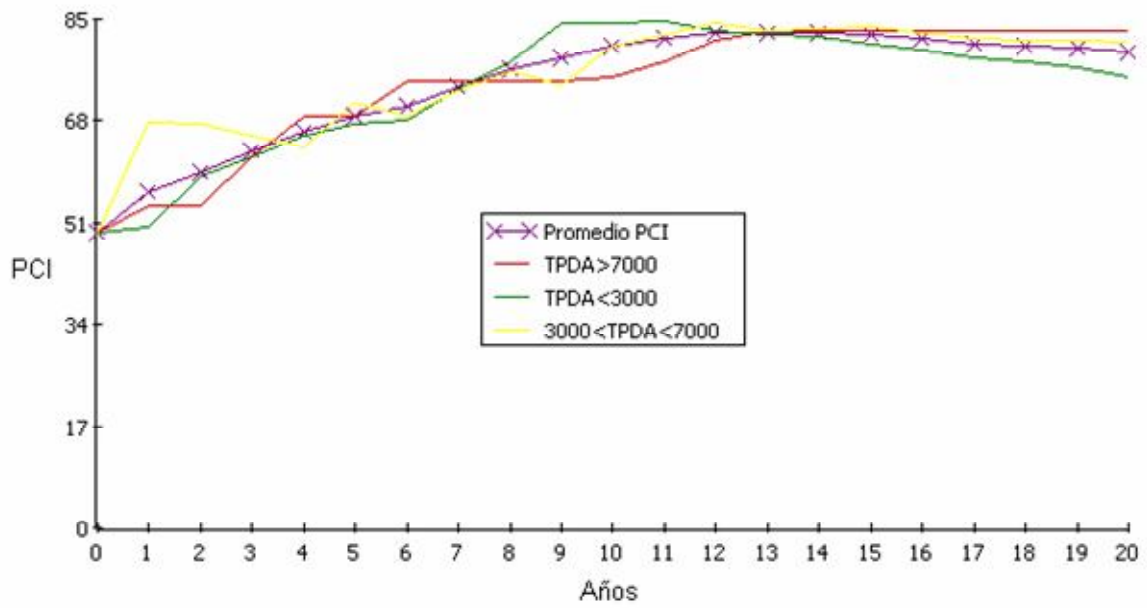


Figura 5.35: Valor del PCI_{SP} según tipo de tránsito. Presupuesto US\$900.000 anuales

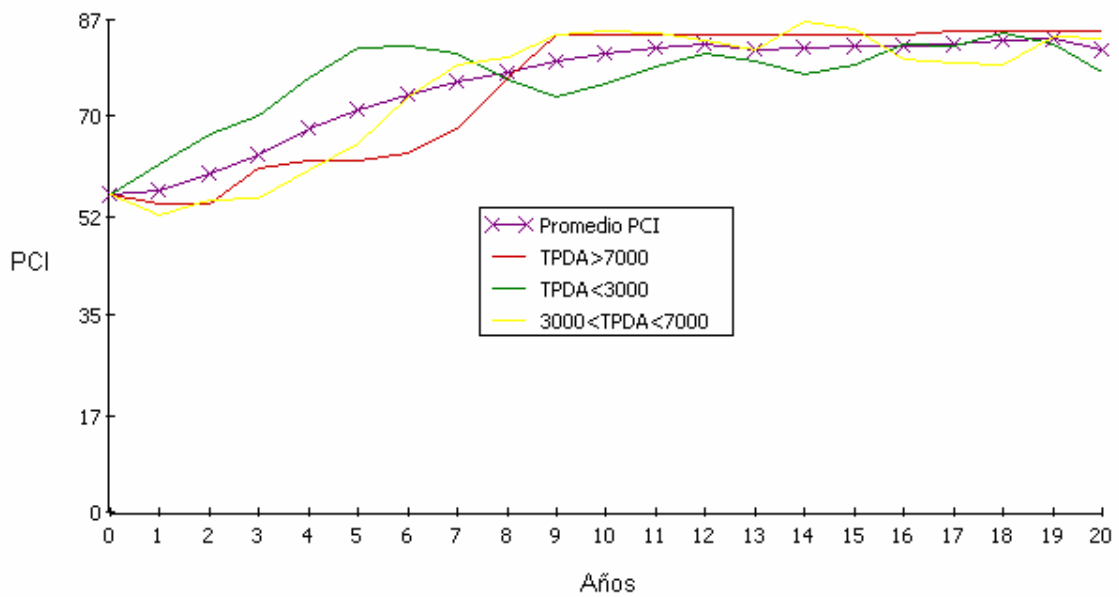


Figura 5.36: Valor del PCI_A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$900.000 anuales

En las figuras 5.35 y 5.36 se muestra claramente una tendencia semejante entre ambos modelos, manteniendo ligeramente por sobre el promedio las carreteras con tránsito alto, y fluctuando un poco las carreteras con tránsito medio y bajo. En los valores promedio la semejanza es más amplia, encontrando a partir del año 10 la estabilidad del valor del PCI.

A continuación se muestran las figuras 5.37 y 5.38, en las cuales se muestran la relación de los costos de las intervenciones según el tipo de tratamiento en función del tiempo.

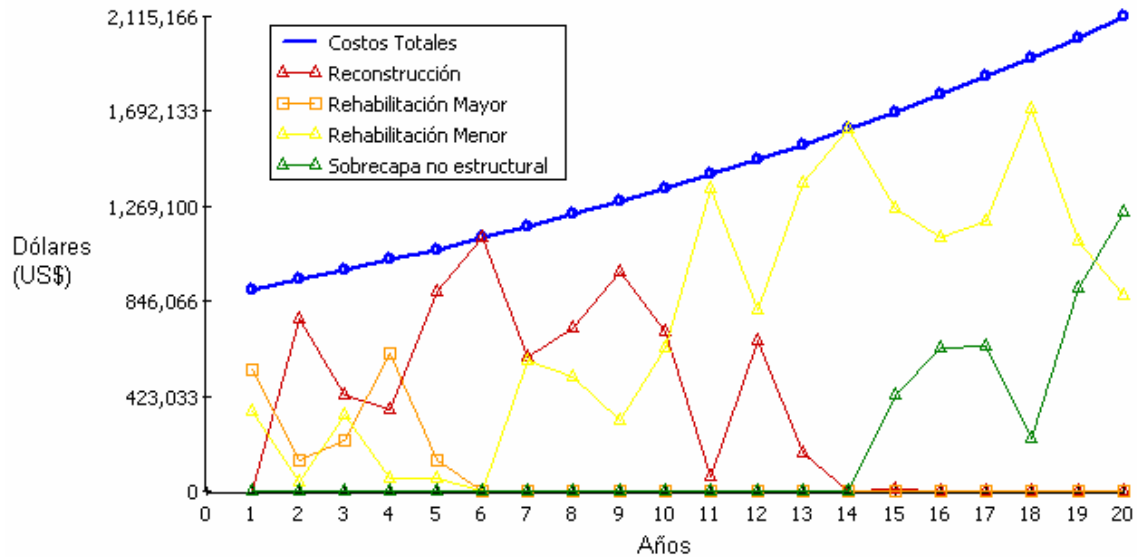


Figura 5.37: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales

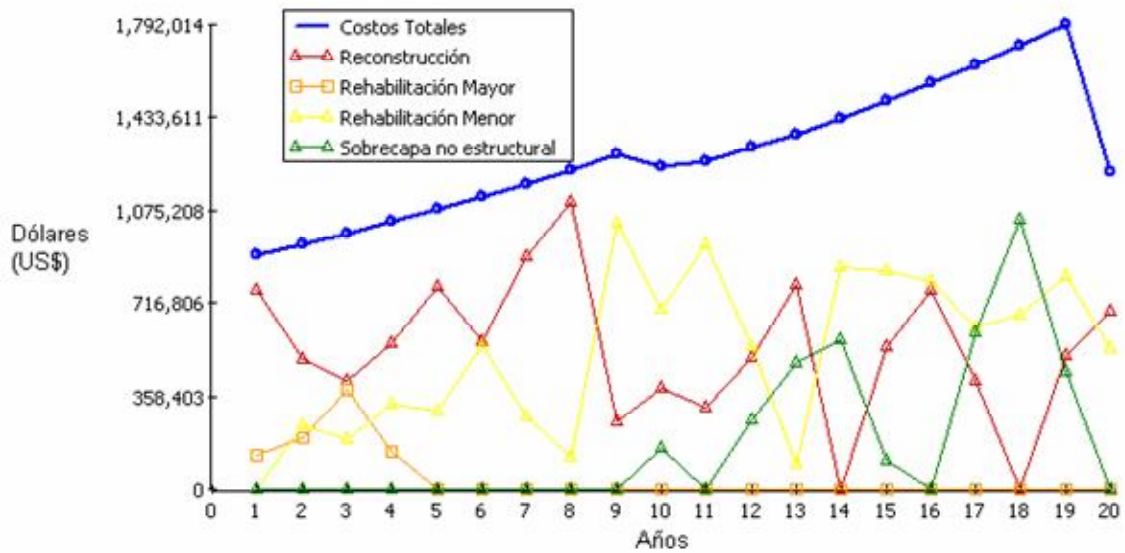


Figura 5.38: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_A Presupuesto US\$900.000 anuales

En la figura 5.38 se muestra dos puntos fuera de la tendencia de las inversiones, los puntos se dan en los años 10 y 20, y cambian la tendencia de invertir todo el presupuesto disponible para ese año. En el caso de las figura 5.37 las tendencias de inversión son constantes.

A continuación se muestran las figuras 5.39, 5.40, 5.41, 5.42, 5.43 y 5.44 en los cuales se muestran el área intervenida según el tipo de tránsito para cada uno de los tratamientos.

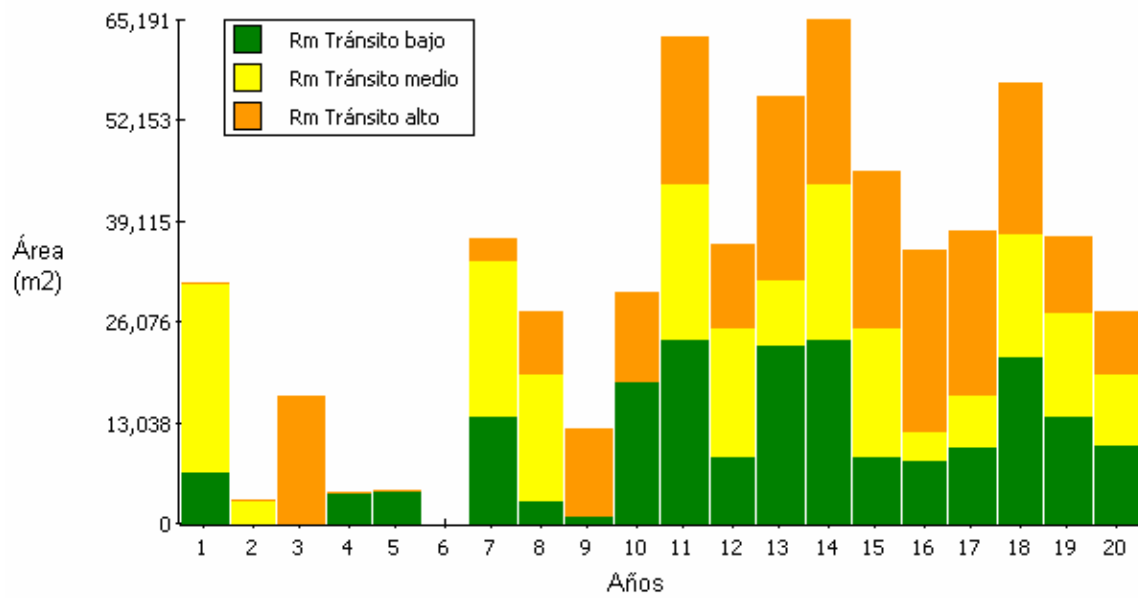


Figura 5.39: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales

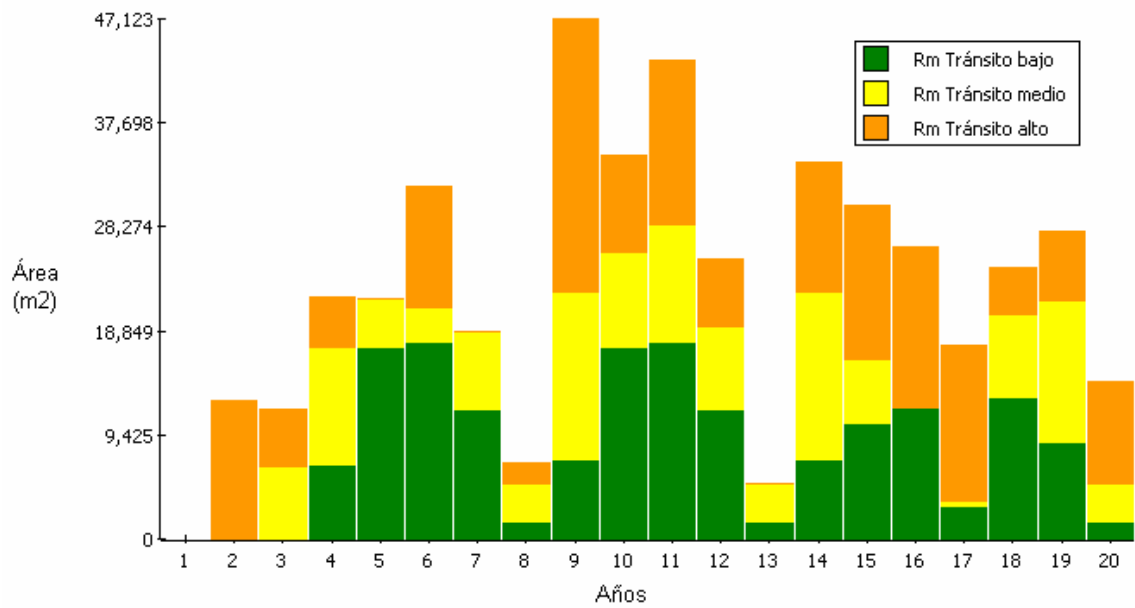


Figura 5.40: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_A
Presupuesto US\$9000.000 anuales

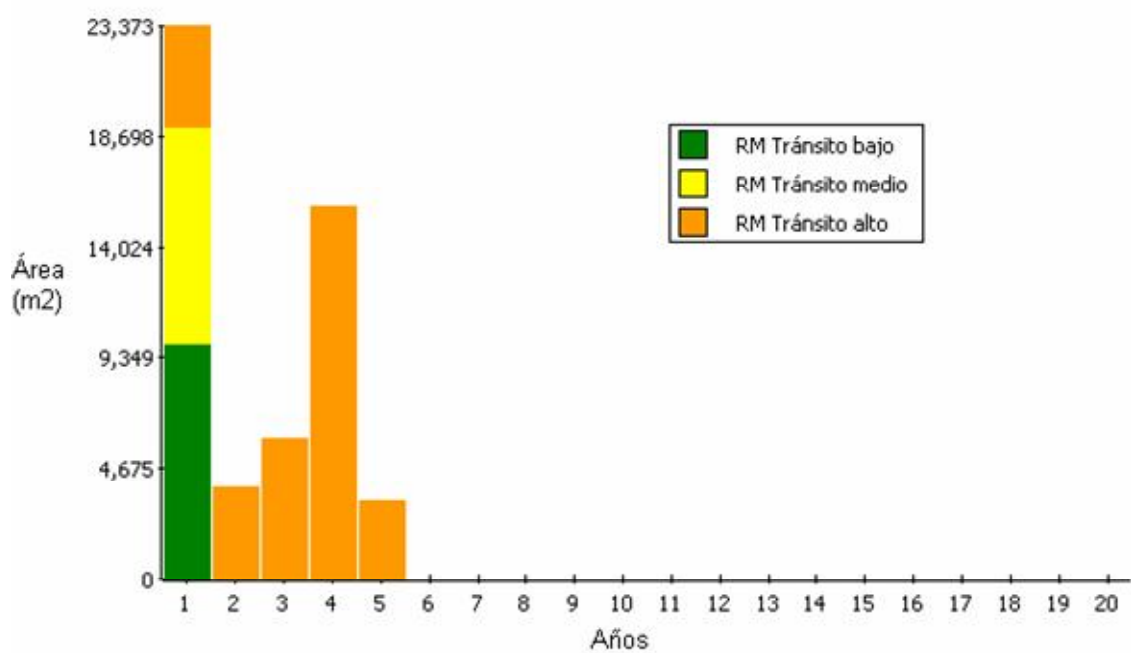


Figura 5.41: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_{SP}
Presupuesto US\$900.000 anuales

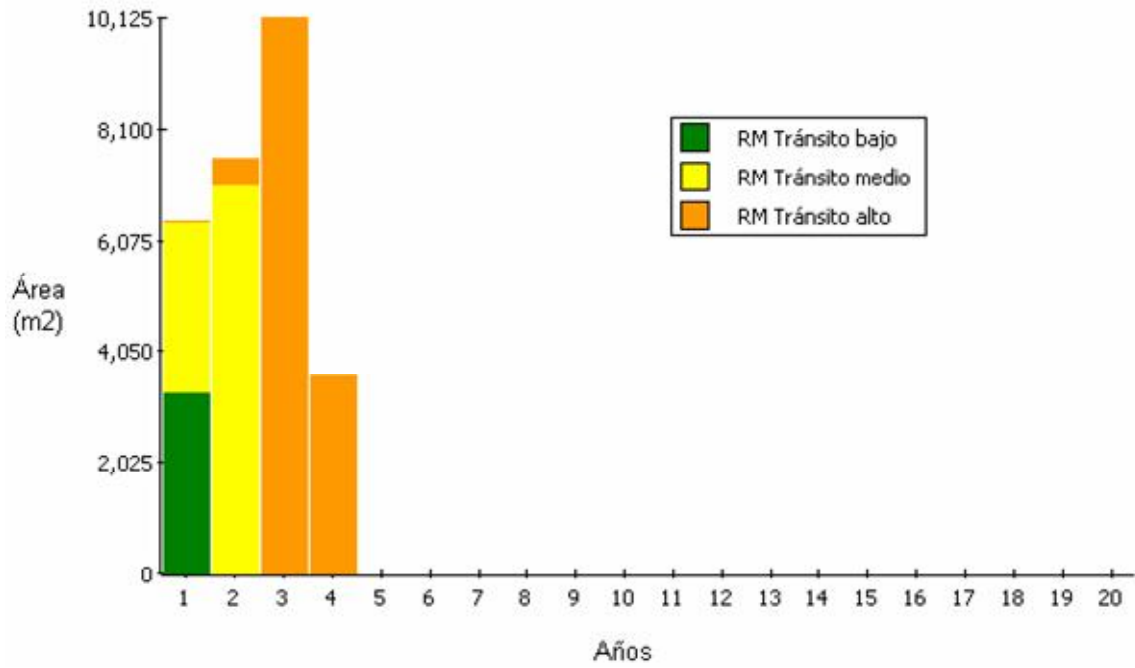


Figura 5.42: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_A
Presupuesto US\$900.000 anuales

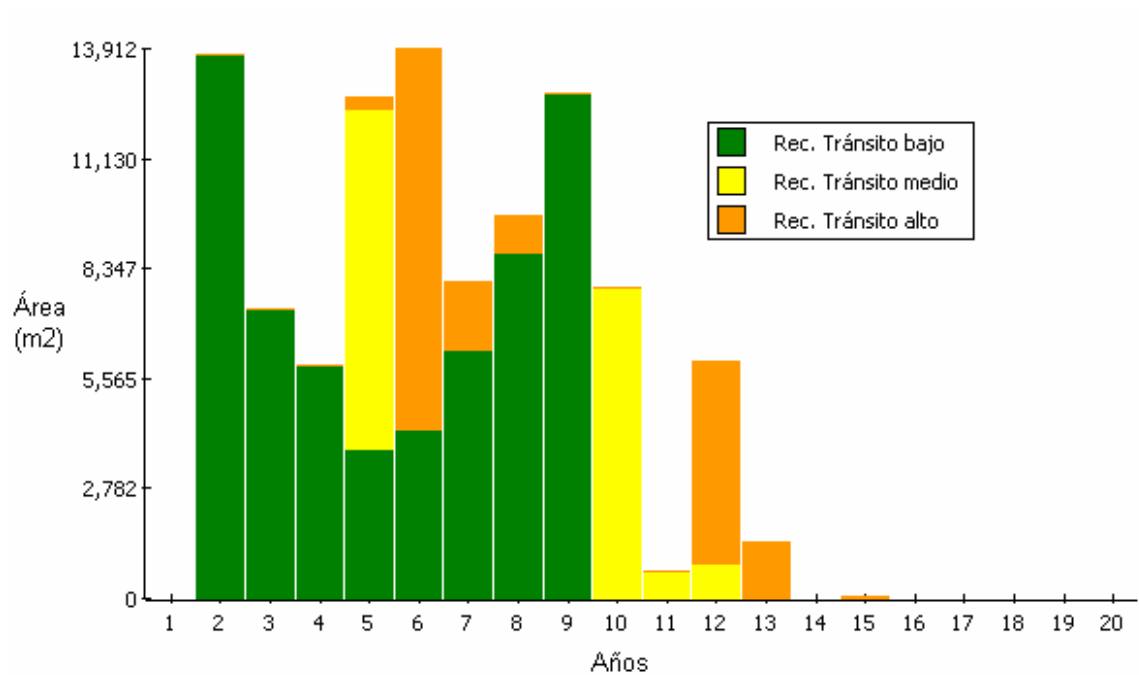


Figura 5.43: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_{SP}
Presupuesto US\$900.000 anuales

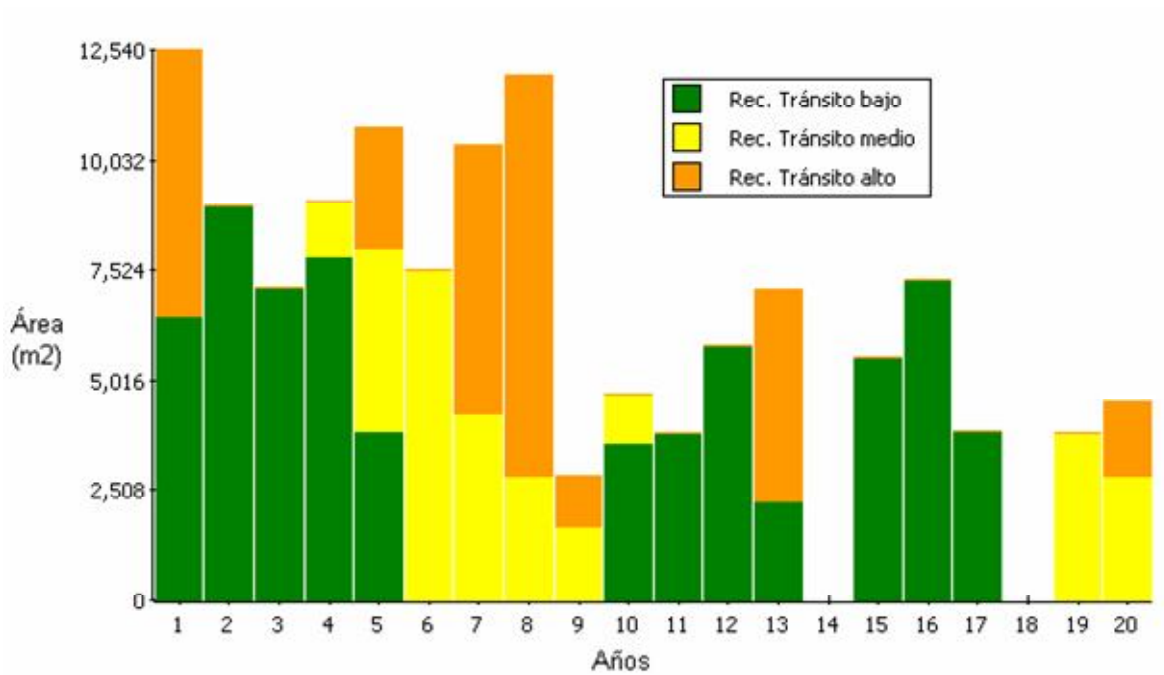


Figura 5.44: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_A
Presupuesto US\$900.000 anuales

Las figuras presentadas de las áreas intervenidas con los diferentes tratamientos presentan similitudes en los años de inversión según el tipo de tratamiento, aplicando los tratamientos de costos mayores en los primeros años de la gestión.

Las variaciones del dinero en el tiempo se describen en las figuras 5.45, 5.46, 5.47 y 5.48, las cuales se muestran a continuación.

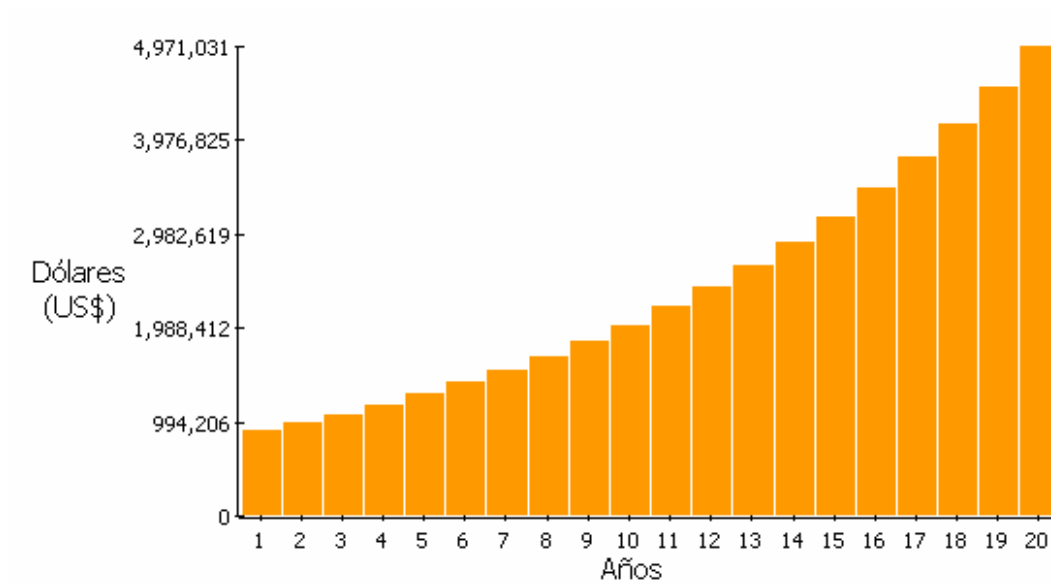


Figura 5.45: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI_{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales

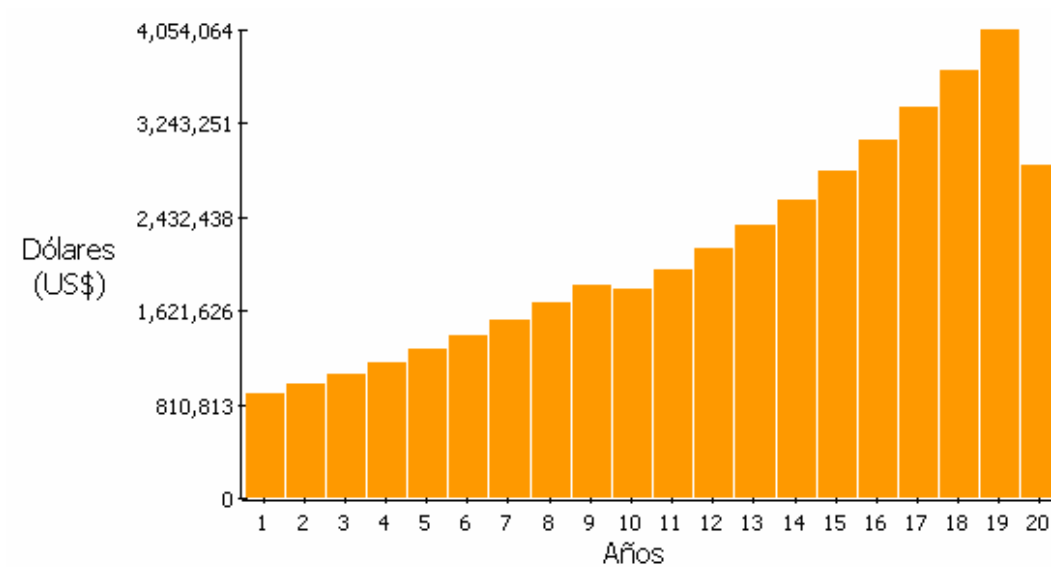


Figura 5.46: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. PCI_A Presupuesto US\$900.000 anuales.

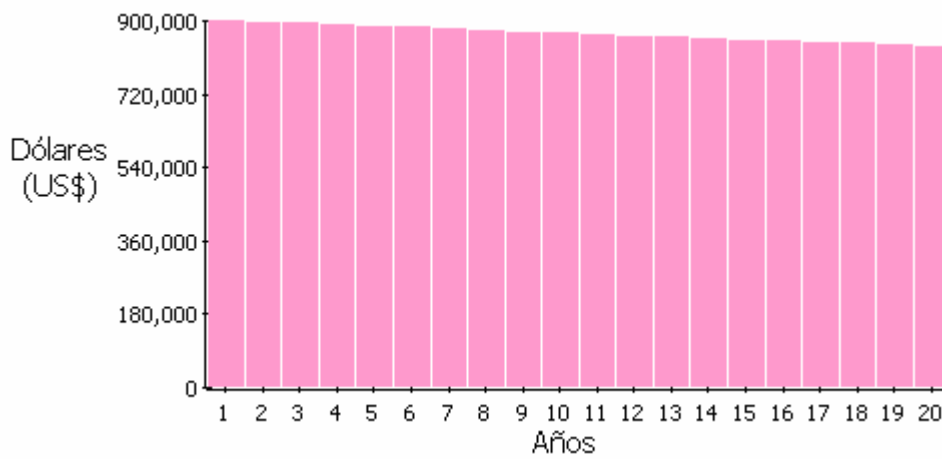


Figura 5.47: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI_{SP} Presupuesto US\$900.000 anuales

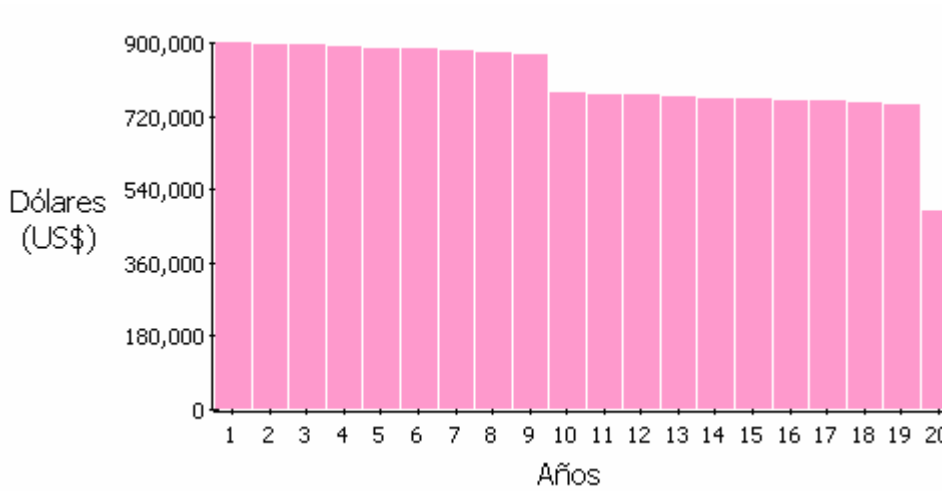


Figura 5.48: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. PCI_A Presupuesto US\$900.000 anuales

Tal como se observó en la figura 5.38, hay una reducción de la tendencia normal de las inversiones, lo cual se ve reflejado claramente en las figuras 5.46 y 5.48. En el caso de las figuras 5.47 y 5.45 mantienen un comportamiento constante, tal como la figura 5.37.

5.7 CONCORDANCIA DE LOS PLANES DE INVERSIÓN.

Los planes de inversión realizados en el programa computacional Woodstock son completamente dependientes de las calificaciones de PCI que se les asignaron a cada tramo de carretera. Al observar los indicadores de los cuales se derivan las calificaciones de PCI_A y PCI_{SP} , podemos notar que a pesar de que en ambos casos se trata de cuantificar las condiciones de las carreteras, se presentan grandes variaciones en las calificaciones otorgadas a cada tramo, ya que los criterios de evaluación no son necesariamente homólogos, por lo cual las gestiones realizadas a partir de estos datos no van a tener una correspondencia que se pueda cuantificar fácilmente.

Los modelos planteados no sólo presentan variables desde el punto de vista de los indicadores de condición, además difieren en la forma de predecir el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo. La curva de deterioro para los datos basados en los indicadores SAI y PRI tal como se muestra en el apéndice B.1, se puede notar un deterioro más lento de los pavimentos en relación con su homóloga basada en datos de auscultación visual, llegando incluso a edades superiores a los 25 años. Provocando que las inversiones que plantean los diferentes escenarios duren más tiempo en verse afectadas, dando un lapso de tiempo más amplio antes de que un tramo de carretera pueda necesitar nuevamente cualquier tipo de intervención.

Para el caso de la curva de deterioro de los pavimentos valorados con el PCI deterioros, la edad máxima de los pavimentos ronda los 15 años, lo cual habla de un deterioro mucho más rápido que el planteado por el modelo anterior. A su vez implica una mayor inversión para el mantenimiento en buen estado de las carreteras.

A pesar de todos los argumentos planteados anteriormente, al ver los dos modelos propuestos para el programa computacional Woodstock, se pueden observar similitudes en los planes de inversión, tomando los valores totales se notan tendencias similares de inversión, y resultados con características similares al final de cada gestión.

PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Para realizar una administración efectiva en un sistema de carreteras, es necesario tener una herramienta que facilite la determinación de las inversiones sobre los tramos homogéneos, inversiones que deben ser efectuadas en el momento justo para alcanzar un mayor beneficio sobre la red. Desde la perspectiva de una metodología práctica para la realización de una gestión de pavimentos flexibles a nivel municipal, dicha herramienta debe ser de fácil manejo y basada en un software de uso generalizado.

Para el uso de una herramienta de este tipo, es necesario que el usuario tenga conocimientos previos de conceptos de gestión de pavimentos, para asegurarse la obtención de resultados que vayan de acuerdo con los principios de una administración efectiva de un sistema de carreteras. En el capítulo 2 se muestran algunas de las nociones básicas de la gestión de pavimentos, pero es necesario que el usuario reflexione sobre los temas de inversión en mantenimiento preventivo de las carreteras.

A continuación se propone el uso de una hoja de cálculo, elaborada sobre el programa computacional Windows Office Excel 2003 de la empresa Microsoft, como respuesta a la necesidad de herramientas de priorización de inversiones en carreteras dentro de los gobiernos locales.

6.1 Descripción de la hoja de cálculo

El empleo de la hoja de cálculo (de ahora en adelante llamada la hoja), no pretende ser el mejor método de priorización de inversión, ya que existen una gran variedad de programas computacionales especializados en el tema de carreteras. La misma presenta limitaciones y restricciones, las cuales veremos a continuación:

6.1.1 Limitaciones del uso de la hoja de cálculo.

La limitación más importante que posee la herramienta es que el resultado no es óptimo, puesto que es planteado a partir de indicadores que reflejan cual tramo de carretera presenta mayor necesidad de inversión, pero mantiene el poder de decisión de inversión sobre el usuario, lo que deja un alto grado de responsabilidad en los resultados finales por parte del operador de la hoja según las nociones y conocimiento sobre gestión de pavimentos que haya adquirido.

6.1.2 Restricciones del uso de la hoja de cálculo.

La hoja de cálculo esta diseñada para admitir una cantidad de datos muy amplia, no obstante es muy difícil para el usuario trabajar con una gran cantidad de datos. Por tal motivo es que se recomienda un máximo de 200 tramos homogéneos de carreteras.

Mediante la experiencia adquirida en el cantón de belén no se recomienda emplear la hoja de cálculo en redes de pavimentos flexibles de más de 80 Km de carretera.

6.1.3 Planteamiento de la hoja de cálculo.

Los programas computacionales especializados se encargan de abordar la priorización de las inversiones desde la perspectiva matemática de la optimización lineal, siendo esta una de las formas que a logrado establecer mejores resultados; dicho planteamiento matemático toma una función objetivo o parámetro a maximizar, en este caso la condición superficial de las carreteras, en relación a las restricciones que se planteen sobre la red, tales como tipo de tramo, tránsito, etc. La desventaja que presentan estas herramientas especializadas es que son de costo elevado, además requieren capacitación de personal calificado y pericia para su utilización.

La hoja propuesta trabaja mediante el uso de cuatro parámetros con diferente participación, cuya función es establecer una calificación para la realización de la inversión, teniendo como valor máximo 100 y como valor mínimo 0, otorgando el valor de 100 al tramo homogéneo que reúne las condiciones más urgentes de inversión, y cero al tramo que no necesita ningún tipo de intervención. Los indicadores que se emplean en la hoja son los siguientes:

6.1.3.1 Tránsito.

Hace referencia al volumen de carros que transitan habitualmente por el tramo homogéneo, calificando las carreteras en tránsito alto, medio y bajo. Se tiene como prioridad de inversión los tramos que presenten valores de volumen de tránsito alto.

Dentro de una gestión de pavimentos, uno de los objetivos principales es el brindarle el mejor servicio a la mayor cantidad de usuarios posible. Por tales motivos el indicador tránsito tiene una participación en la toma de decisiones de inversión.

6.1.3.2 Clasificación de ruta.

Esto indica que tipo de ruta es en la que se encuentra el tramo homogéneo, esto según la designación de su uso. Se clasifican en Primaria, Secundaria y de Travesía, dentro del indicador se le da prioridad de inversión a las rutas Primarias, seguidas de las de Travesía para culminar con las secundarias.

Es importante notar que dentro de un sistema de carreteras, hay rutas que según el criterio de la administración municipal tiene prioridad, no sólo por los usuarios que la transitan, si no también en correspondencia con designaciones sociales, económicas y políticas.

6.1.3.3 Ganancia de la intervención.

Trata de valorar la ganancia económica que se obtendrá a partir de la inversión de capital en un año determinado, en lugar del año siguiente. Se establece una jerarquía

entre los valores de las ganancias sobre los tramos de carretera, determinando un orden de prioridad de intervención del valor mayor al de menor ganancia.

La determinación de la ganancia de inversión va directamente relacionada con los conceptos de gestión de pavimentos. Puesto que como se menciona en el capítulo dos existe un gran ahorro en realizar inversiones oportunas a los tramos de carreteras, inversiones en tratamientos preventivos, tratando de evitar que se deterioren las estructuras y lleguen a condiciones deplorables, en las cuales sea necesario aplicar obras de reconstrucción que representan costos económicos muy elevados para la red.

El indicador de Ganancia de la intervención lo que hace es reflejar cuando es el momento oportuno de inversión basado en el indicador PCI_A y la curva de deterioro respectiva, sirviendo de anuncio al cambio de tratamiento que se debería aplicar para lograr llevar el pavimento a una condición superficial óptima.

6.1.3.4 Mejora del PCI.

El objetivo de los planes de inversión radica en mejorar la condición de las carreteras, y el índice de condición superficial PCI_A ha sido la metodología empleada para calificar el estado de las carreteras y determinar la condición de las mismas. La mejora del PCI_A determina el cambio de la condición superficial al intervenir el tramo de carretera en función del área afectada. Se establecen las prioridades de inversión en relación al valor mayor del producto entre el área del tramo y el cambio de la condición superficial.

Lo que se busca con este indicador es dar un valor dentro de la toma de decisiones a las carreteras que necesitan ser intervenidas por la condición en que se encuentran, ya que entre peor sea el valor del indicador PCI_A en un tramo, más alto el valor del indicador Mejora del PCI. El indicador se encarga de advertir sobre las carreteras que se encuentran en mal estado y el área de la misma, mostrando al usuario los tramos que ayudarían a elevar significativamente el valor del PCI promedio de la red.

6.1.3.4 Indicador de priorización.

El indicador de priorización es un indicador compuesto, el cual está determinado por los cuatro indicadores anteriormente mencionados mediante la siguiente ecuación:

$$I_{\text{Priorización}} = K_1 I_{\text{Tránsito}} + K_2 I_{\text{Ruta}} + K_3 I_{\text{Ganancia}} + K_4 I_{\text{Mejora}} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde:

$I_{\text{Tránsito}}$ = Indicador de tránsito.

I_{Ruta} = Indicador de la clasificación de la ruta.

I_{Ganancia} = Indicador de ganancia por intervención.

I_{Mejora} = Indicador de mejora del PCI_A.

K_1 , K_2 , K_3 y K_4 = los diferentes pesos de los indicadores dentro del indicador priorización.

Los valores para K_1 , K_2 , K_3 y K_4 van a depender de los objetivos de las gestiones, es decir, si se desea valorar el desempeño del sistema invirtiendo prioritariamente en las carreteras con tránsito alto, el valor de K_1 debe ser muy alto en relación a los demás, lo cual producirá que el indicador pondera más de las calificaciones más altas para las rutas de tránsito alto. Es indispensable que el usuario aplique un análisis de sensibilidad antes de instaurar los valores para K_1 , K_2 , K_3 y K_4 según las necesidades de su municipalidad.

6.1.4 Funcionamiento de la hoja de cálculo.

En el diseño de la hoja se plantea el trabajo semiautomatizado, dotando de un espacio al usuario para intervenir en la toma de las decisiones finales, apoyado en un marco de indicadores que lo guían hacia la mejor solución. Un sistema semiautomático se basa en la posibilidad de modificar los planes de inversiones a lo largo del tiempo, ya que se construyen tomando las decisiones para cada año, y los razonamientos técnicos planteados al inicio de la gestión se pueden variar según las circunstancias y eventualidades que logren surgir en la administración municipal, entre ellas:

- Desastres naturales; en nuestro país existen altas probabilidades de inundaciones, terremotos, derrumbes entre otros. En la medida en que pueda suceder una eventualidad de este tipo, las inversiones sobre las carreteras deberán variar, en la hoja se pueden variar las inversiones en el año específico de la ocurrencia del desastre y proyectar en cuanto tiempo se recuperará la red.

- Incurción de datos autóctonos; mediante la recopilación continua de datos sobre las carreteras se pueden establecer parámetros específicos sobre la red vial cantonal, que permitan una evaluación ajustada al lugar de trabajo.
- Desarrollo comercial o industrial del cantón; los volúmenes de tránsito van a variar dependiendo del desarrollo económico que sufra el cantón y los cambios urbanísticos asociados. Es trascendental poder reajustar las importancias, y clasificaciones de los tramos homogéneos a lo largo del tiempo.

La hoja se plantea de manera que los resultados de las decisiones de inversión para cada año se vean reflejados en la misma pestaña en la que se realizan las decisiones, además existe una pestaña en la hoja de cálculo que se encarga de reflejar los valores totales de las inversiones.

Los resultados son mostrados en forma de gráficos, con el fin de representar la información de manera práctica, de fácil entendimiento y utilización. La información refleja la efectividad de las inversiones al mostrar los valores de la condición de la red, según su condición superficial.

6.2 Empleo de la hoja de cálculo

La priorización mediante el uso de la hoja, trata de ser una herramienta de fácil manejo, que permita a usuarios con poca experiencia en el uso del programa Excel trabajar sin dificultades. A continuación se muestra el proceso de empleo de la hoja para la determinación de las inversiones, como ejemplo se trabaja con los datos de la red vial municipal del cantón de Belén.

6.2.1 Ingreso de los datos

Para el empleo de la hoja, es necesario suministrar primero datos referentes a la red vial cantonal, los cuales en su mayoría son obtenidos del inventario realizado sobre la red y los datos restantes se derivan de la Auscultación visual como se explica en el capítulo 3 y 4.

Los datos a suministrar se dividen en dos fases, la primera conformada por la información necesaria para llenar la pestaña llamada "DATOS", y la segunda conformada por la pestaña de "CALIFICACIÓN" correspondiente al valor de los indicadores.

6.2.1.1 Datos

En la pestaña de "Datos" se encuentran las casillas a llenar por parte del usuario, y el primer cuadro en ser trabajado es el de "Información básica de las carreteras".

Las primeras 2 columnas son producto del proceso de determinación de los tramos homogéneos (Apéndice A.2), las columnas 3, 4, 5 y 6 se determinan a partir del inventario de la red vial cantonal. Se colocan los datos como se muestra en la figura 6.1

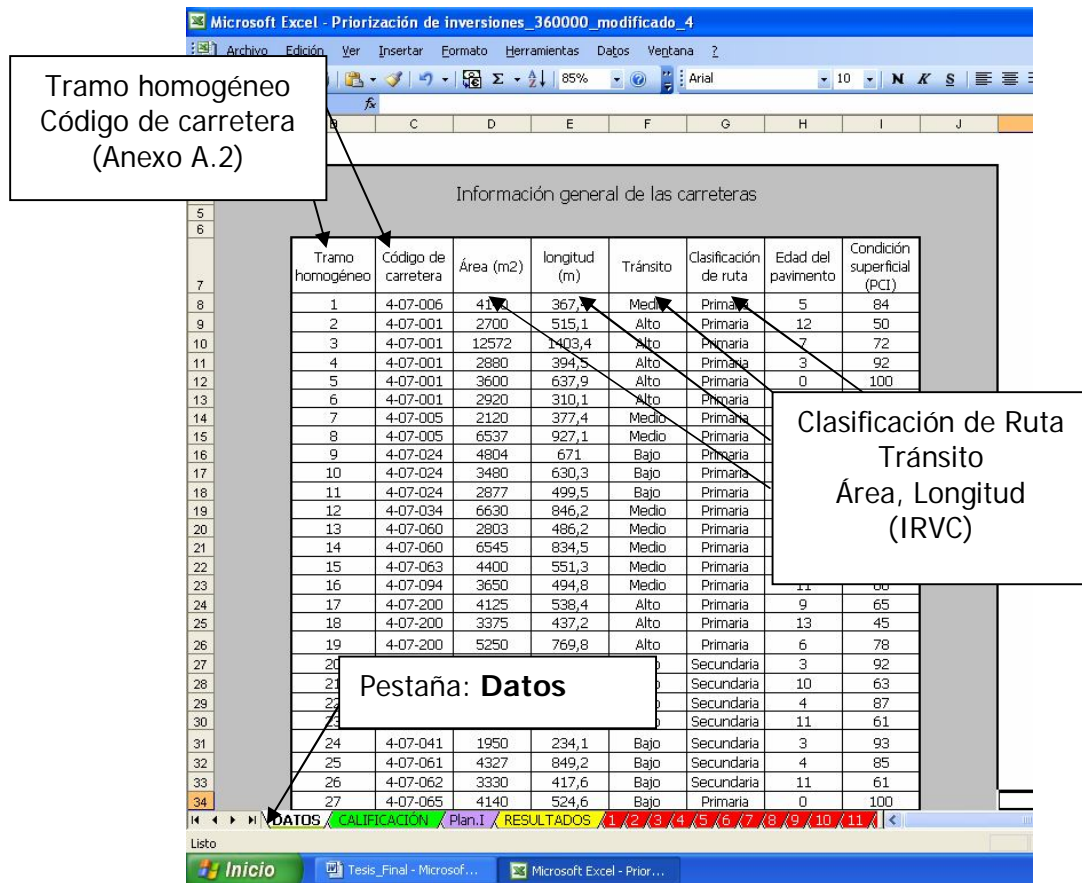


Figura 6.1: Ingreso de datos parte I

Los datos de la columna 6 se obtienen mediante la utilización de las curvas de deterioro del pavimento, dichas curvas se muestran en el Apéndice B.1, aplicando estas curvas a los datos de condición superficial obtenidos en el capítulo 4. Los valores de la columna 7 se obtienen del proceso de auscultación visual mostrados en el capítulo 4. Se colocan los datos como se muestran en la figura 6.2.

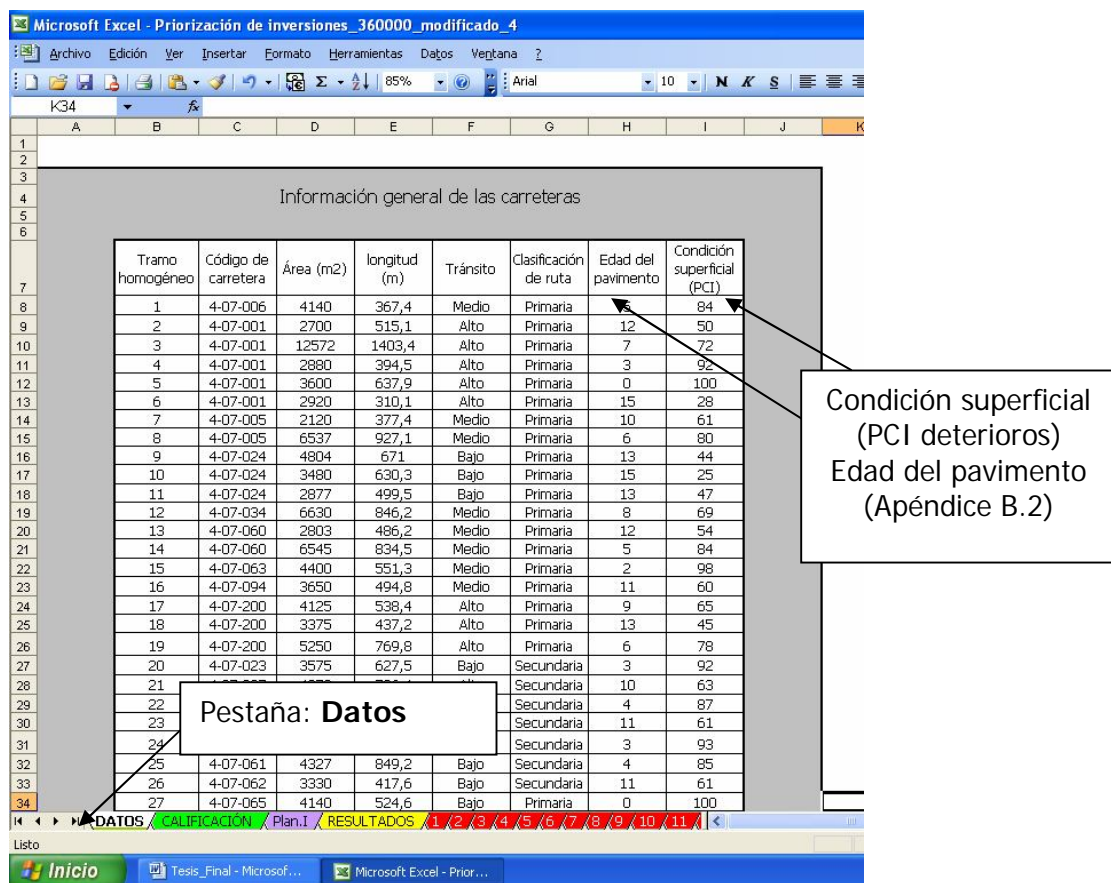


Figura 6.2: Ingreso de datos parte II

Seguidamente se procede a llenar el cuadro de información general de los costos unitarios, dichos valores están asociados al tipo de tránsito y el tratamiento requerido para llevar los tramos homogéneos a una condición óptima. Estos valores se obtienen a partir del diseño de los tratamientos y del cálculo de los costos de los mismos, como se muestra en el capítulo 5.

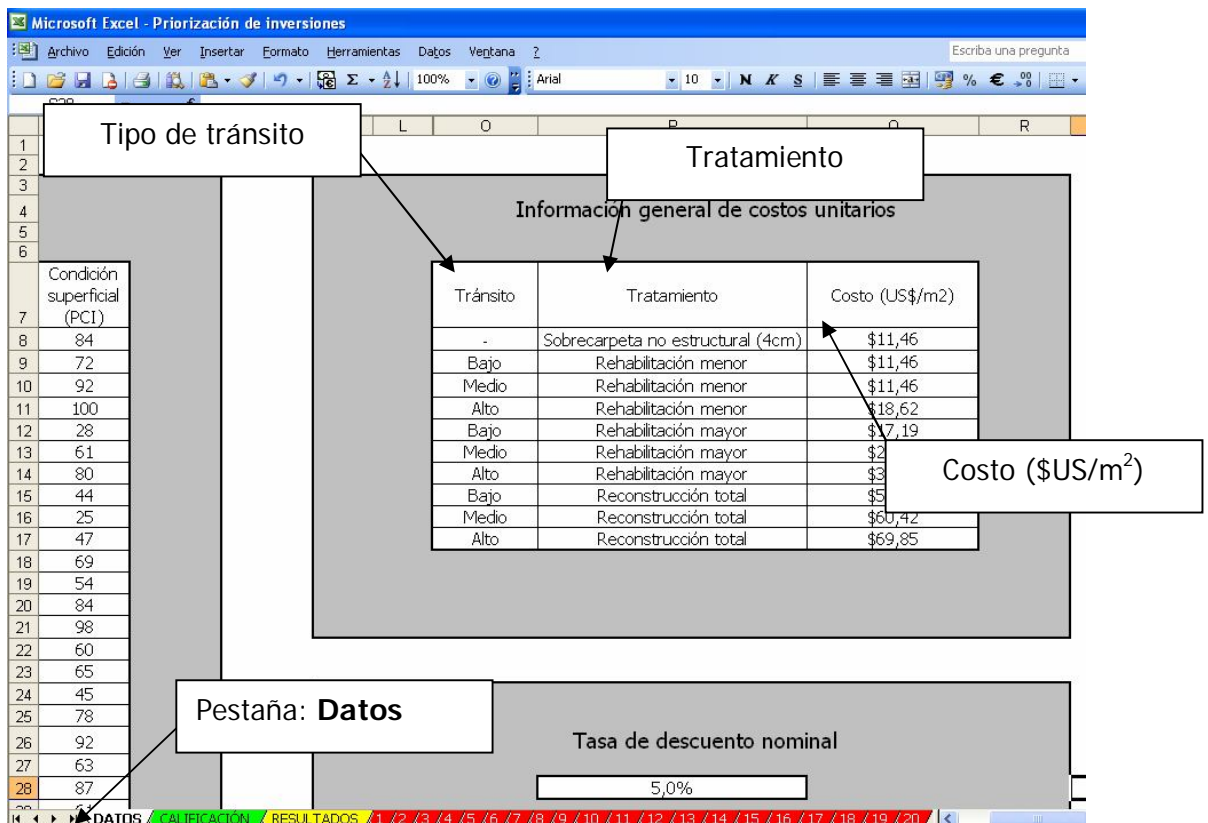


Figura 6.3: Ingreso de datos parte III

Continuando con el procedimiento se ingresan los datos de la tasa de descuento nominal, tasa de inflación y Presupuesto anual. Los dos primeros datos corresponden a valores generados por los entes gubernamentales, los cuales estudian las variaciones de los costos y del valor del dinero en tiempo. Un punto de referencia puede ser el Banco Central de Costa Rica y el Ministerio de Economía Industria y Comercio.

Para el caso del presupuesto anual, este va a depender de las características de la municipalidad, y del estudio que se desee hacer. Los valores a colocar se asocian a los presupuestos actuales, para proyectar el alcance de las inversiones si se mantiene esta tendencia. Además de estudios con presupuestos que permitan mejorar la condición superficial de la red.

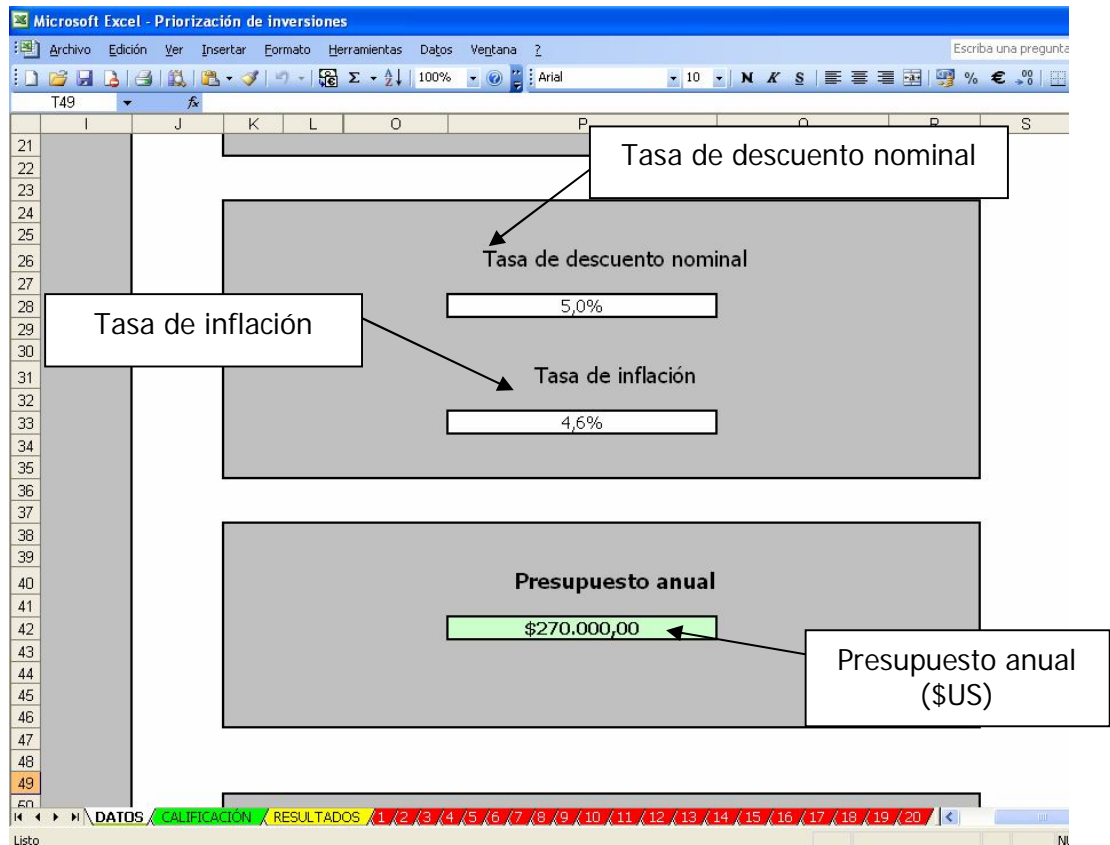


Figura 6.4: Ingreso de datos parte IV

Posteriormente se colocan los datos de las ventanas de operación, los cuales provienen de la condición del pavimento según la norma ASTM D6433, y los criterios del tipo de intervención, producto de la recopilación bibliográfica y consulta a expertos. Una tabla de referencia se muestra en el capítulo 5.

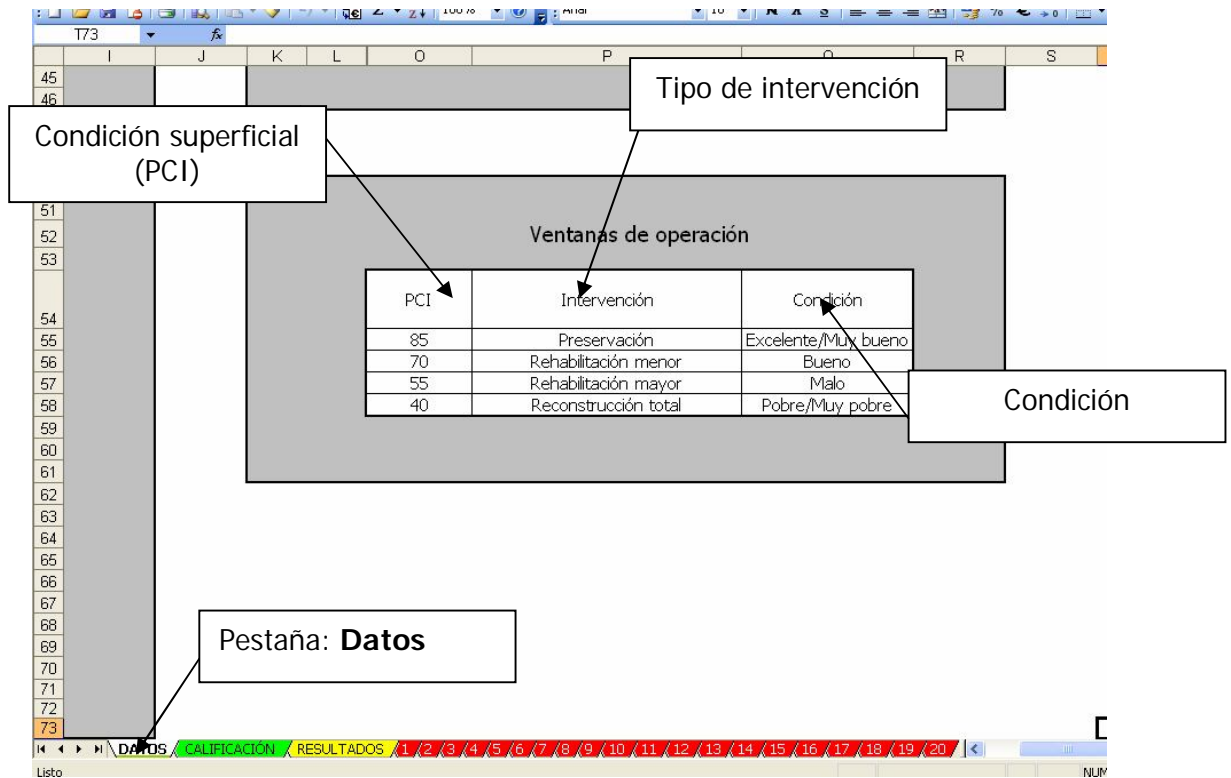


Figura 6.5: Ingreso de datos parte V

Para finalizar la primera fase, es necesario colocar los valores de las curvas de deterioro, que en nuestro caso tenemos curvas variables para las diferentes clasificaciones de carretera (Primaria, Secundaria y Travesía), las curvas empleadas se muestran en el Apéndice B.1.

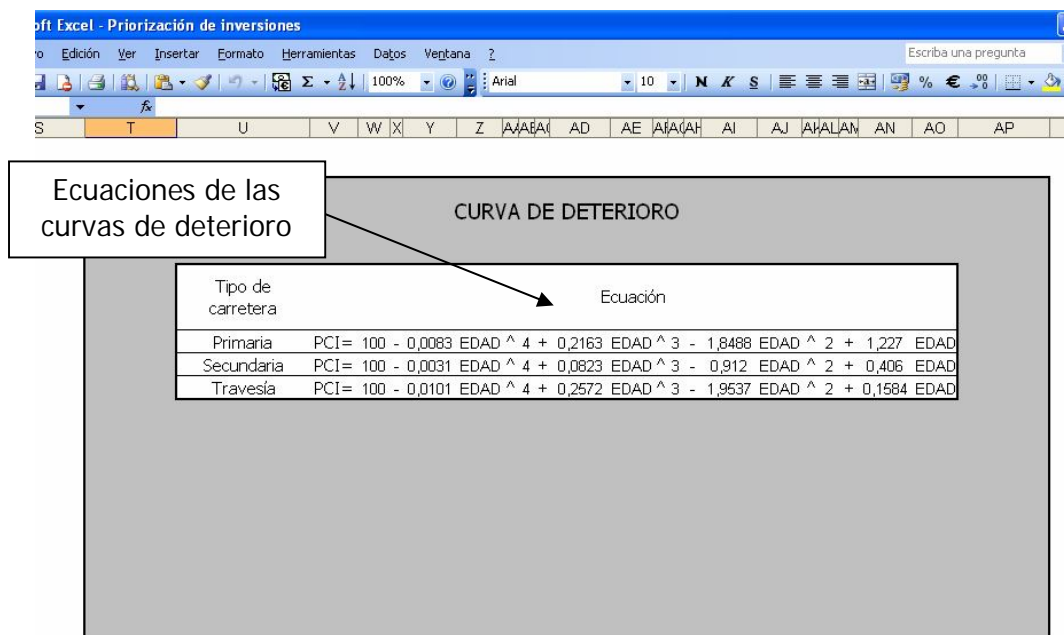


Figura 6.6: ingreso de datos parte VI

6.2.1.1 Calificación

En la hoja la segunda pestaña es la denominada calificación, la cual corresponde a la conformación de los indicadores mencionados en la sección 6.3 En dicha pestaña se encuentran 4 cuadros, cada uno correspondiente a un parámetro, en cada cuadro en la primera columna se describen las diferentes clasificaciones del parámetro, además en la segunda columna se propone una calificación o importancia de la clasificación dentro del parámetro, tal como se muestra a continuación:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with four tables. Callouts from external boxes point to specific columns in these tables:

- Tránsito:**

Clasificación	Calificación	Participación
Alto	100%	30
Medio	50%	
Bajo	20%	
- Clasificación de ruta:**

Clasificación	Calificación	Participación
Primaria	100%	10
Secundaria	60%	
Travesía	30%	
- Ganancia de la intervención:**

Clasificación	Calificación	Participación
sin ganancia	0	30
Mayor ganancia	100%	
Menor ganancia	50%	
- Mejora de PCI:** (This table is partially visible at the bottom of the screenshot)

Figura 6.7: ingreso de datos parte VII

Los valores de la calificación son otorgados según la opinión del profesional responsable de la realización de la gestión, el deberá contar con información de la zona o conocimiento empírico para determinar los valores de los primeros dos cuadros.

La tercer columna contiene los valores de participación de los parámetros en la creación del indicador de priorización (K_1 , K_2 , K_3 y K_4), estos valores se colocan en función de la importancia de cada uno de los parámetros sobre la red, ya que a mayor participación, más peso tendrán en el resultado de las inversiones. El profesional

responsable puede realizar pruebas de sensibilidad para determinar la susceptibilidad de las inversiones en relación a la participación de los parámetros.

Es importante aclarar que la participación de los cuatro parámetros deberá sumar un valor de 100, además de recordar que el objetivo de la gestión de pavimentos es mejorar la condición de las carreteras. Por otro lado la priorización de las inversiones se hace con la idea de minimizar el gasto en las intervenciones, por lo que estas deberán hacerse en el momento justo para lograr que el pavimento no se deteriore y requiera inversiones más altas, por consiguiente los valores de K_3 y K_4 deberían tener una gran importancia dentro del indicador.

6.2.2 Determinación de las inversiones

En la hoja de cálculo existe una serie de pestañas cuyos nombres corresponden a números, dichos números representan el año dentro de la gestión de pavimentos que se está realizando. En dicha pestaña es donde se presenta la información necesaria para la toma de decisiones, en relación a la determinación de invertir sobre uno u otro tramo homogéneo.

A continuación se explican en tres fases los datos presentes en las pestañas de los años, y el modo de empleo de las mismas

6.2.2.1 Descripción de los datos.

En la pestaña se presentan los datos necesarios para la determinación de las decisiones sobre la red. Dichos datos aparecen automáticamente, cuando uno coloca los datos básicos en la primera fase, son mostrados con la intención de que el usuario tenga un marco claro para la toma de decisiones de inversión.

Los primeros datos mostrados son los de presupuesto, los cuales reflejan el presupuesto de ese año asignado desde el año cero, más el valor del dinero en el tiempo, todo se muestra como un gran total en la casilla denominada presupuesto. Seguidamente se muestra la casilla con las inversiones realizadas en ese año, que en caso de no realizar inversiones tiene un valor de cero.

En la casilla siguiente se muestra la pérdida de dinero en las inversiones; esto refiere a la orden de que se debe ejecutar todo el presupuesto cada año, ya que en el ejercicio municipal, el dinero que no se gasta en un periodo no puede ahorrarse. Posterior a esto se muestra la diferencia porcentual entre la inversión del año en que se esta trabajando en comparación con el anterior, esta información es importante para notar el comportamiento de las inversiones en el tiempo.

Luego de ver el cuadro de presupuesto, se prosigue con la descripción básica de los tramos homogéneos, esta descripción hace referencia a la nomenclatura del tramo, y las condiciones del mismo, tales como edad, área y condición.

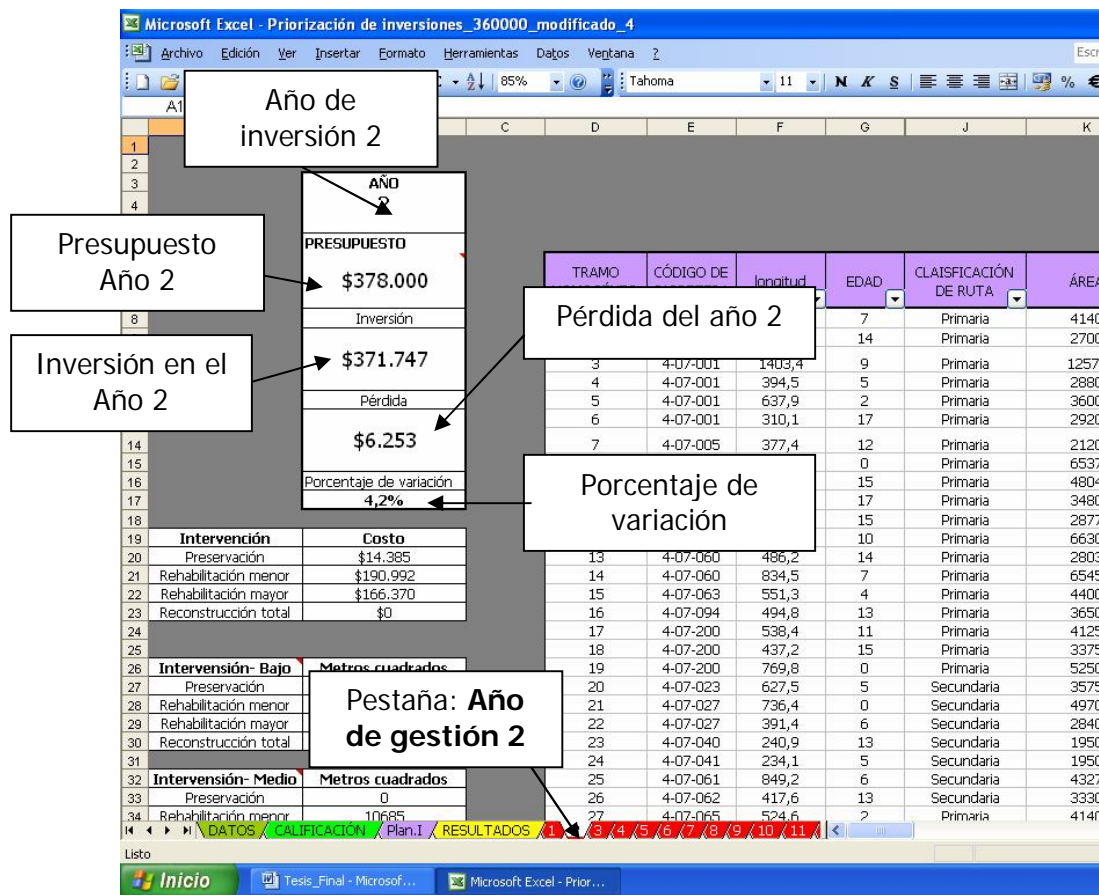


Figura 6.8: Descripción de datos I

Las columnas que prosiguen a la descripción básica de los tramos homogéneos las componen valores asociados a la condición superficial del tramo. Para cada valor de condición superficial se coloca en la columna denominada "Tratamiento" una tarea específica de intervención sobre el pavimento y en la columna siguiente el costo de dicha intervención sobre ese tramo. Además se coloca en la columna denominada "Ahorro" el

valor de la diferencia de dinero entre los costos de invertir el tramo de carretera en este año invertir en el año siguiente.

Los tramos homogéneos en cada año aparecen dos veces, sólo que en el caso de los tramos con datos en color gris refieren a valores de 0% de área, por lo tanto 0% de participación, están colocados con el fin de dividir los tramos de gran extensión, para trabajarlos más fácilmente.

	CÓDIGO DE CARRETERA	EDAD	PCI condición superficial	TRATAMIENTO	COSTO	AHORRO
8	4-07-006	7	72	Rehabilitación menor	\$49.627	\$53.365
9	4-07-001	9	65	Rehabilitación mayor	\$412.525	\$0
10	4-07-001	5	82	Rehabilitación menor	\$56.092	\$0
11	4-07-001	2	97	Preservación	\$43.154	\$0
12	4-07-001	16	5	Reconstrucción total	\$213.344	\$0

Figura 6.9: Descripción de datos II

Seguidamente se encuentran los valores de los parámetros, en escala de 0 a 1, siendo 1 el valor de mayor prioridad de inversión, y cero el de menor necesidad de inversión con relación a ese indicador. Los indicadores se describen en la sección 6.2. Además se adjuntan unas casillas donde se refleja el número de intervención del mismo tipo realizadas sobre el tramo.

El indicador ponderado, refleja la unión de los cuatro parámetros con su respectivo nivel de participación, entregando al usuario un resultado con valores de 0 a 100 que permitan tomar la mejor decisión de inversión.

	Indicador de ahorro	Indicador Cambio PCI	Indicador de tránsito	Indicador de importancia	Preservación	Rehabilitación menor	Rehabilitación Mayor	Reconstrucción Total	Indicador ponderado	Inten
365	0,85	0,75	0,50	1,00	0	1	0	0	75,7	
\$0	0,00	0,83	1,00	1,00	0	0	0	0	63,3	
\$0	0,00				0	0	0	0	68,8	
\$0	0,00				0	0	0	0	56,7	
\$0	0,00				0	0	0	0	52,4	
\$0	0,00				0	0	0	0	66,1	
\$0	0,00				0	0	0	0	49,4	

Figura 6.10: Descripción de datos III

6.2.2.2 Determinación de inversiones.

La columna denominada "Intervención", muestra la decisión del usuario sobre cual tramo se debe intervenir, esto fundamentado en la información de los parámetros y el indicador ponderado. El usuario debe colocar en la celda correspondiente la palabra "SI" en caso de que se deba intervenir, y "NO" en caso de que el tramo no deba ser intervenido.

	Reconstrucción Total	Indicador ponderado	Intervención	Porcentaje Intervenido	Costo de la intervención
8	0	75,7	SI	100%	\$49.627
9	0	63,3	NO	100%	
10	0	68,8	NO	100%	
11	0	56,7	NO	100%	
12	0	52,4	NO	100%	
13	0	66,1	NO	100%	
14	0	49,4	NO	100%	
			NO	100%	
			NO	100%	
			NO	100%	
			NO	100%	
			NO	100%	
			NO	100%	
			NO	100%	
20	0	54,1	NO	100%	
21	0	81,0	SI	100%	\$78.456
22	0	47,1	NO	100%	
23	0	54,5	NO	100%	
24	0	92,2	SI	100%	\$135.354
25	0	66,5	NO	100%	
26	0	30,4	NO	100%	
27	0	32,9	NO	100%	

Figura 6.11: Determinación de inversiones I

En la columna contigua se muestra el porcentaje de área a intervenir. Esto se plantea debido a que en algunos casos los tramos homogéneos contienen un área extensa de carretera, lo que impide realizar inversión sobre la carretera en un solo desembolso. Al indicar el porcentaje de área a intervenir, automáticamente se divide en dos tramos homogéneos con las mismas características, el cual sale indicado en las filas por debajo de las oficiales de los tramos homogéneos, tal como se muestra en la figura 6.12.

	Indicador de tránsito	Indicador de importancia	Preservación	Rehabilitación menor	Rehabilitación Mayor	Reconstrucción Total	Indicador ponderado	Intervención	Porcentaje Intervenido	Costo inversión
3										
4										
5										
6										
7										
8	0,50	1,00	0	1	0	0	75,3	SI	100%	\$ 49,3
9	1,00	1,00	0	0	0	0	62,9	NO	100%	
10	1,00	1,00	0	0	0	0	64,5	NO	50%	
11	1,00	1,00	0	0	0	0	56,3	NO	100%	
30	0,20	0,30	0	0	0	0	36,4	NO	100%	
31	0,20	0,30	0	0	0	0	31,3	NO	100%	
57	0,20	0,30	0	0	0	0	45,8	NO	100%	
58	0,20	0,30	0	0	0	0	44,3	NO	100%	
59	0,50	1,00	0	0	0	0	20,4	NO	0%	
60	1,00	1,00	0	0	0	0	30,4	NO	0%	
61	1,00	1,00	0	0	0	0	64,5	NO	50%	
62	1,00	1,00	0	0	0	0	30,4	NO	0%	
63	1,00	1,00	0	0	0	0	30,4	NO	0%	
64	1,00	1,00	0	0	0	0	30,4	NO	0%	
65	0,50	1,00	0	0	0	0	20,4	NO	0%	
66	0,50	1,00	0	0	0	0	20,4	NO	0%	
67	0,20	1,00	0	0	0	0	14,4	NO	0%	
68	0,20	1,00	0	0	0	0	14,4	NO	0%	
69	0,20	1,00	0	0	0	0	14,4	NO	0%	
70	0,50	1,00	0	0	0	0	20,4	NO	0%	

Figura 6.12: Determinación de inversiones II

Es importante que en el momento en que se divide en dos un tramo homogéneo para ser intervenido, al siguiente año se continúe con la inversión del tramo faltante, esto con el fin de mantener una homogeneidad en las inversiones, y en el comportamiento de los tramos.

En el caso de que los costos de las intervenciones excedan el rubro del presupuesto para ese año, se colocará en la parte superior del cuadro un mensaje con la leyenda "Error grave, no alcanza el presupuesto" tal como se ve en la figura 6.13.

	Indicador Cambio PCI	Indicador de tránsito	Indicador de importancia	Indicador ponderado	Intervención	Costo de la intervención
ERROE GRAVE, NO ALCANZA EL PRESUPUESTO						

Figura 6.13: Determinación de inversiones III

6.2.2.3 Resultados de las intervenciones

En la hoja de cálculo, en la pestaña del año, los resultados de las inversiones se muestran de manera descriptiva mediante un gráfico de barras, en el cual se indican valores de las áreas que se encuentran en condición excelente, muy buena, buena, mala, pobre, muy pobre e inhabilitada. De esta manera se puede observar los cambios sobre la red en general.

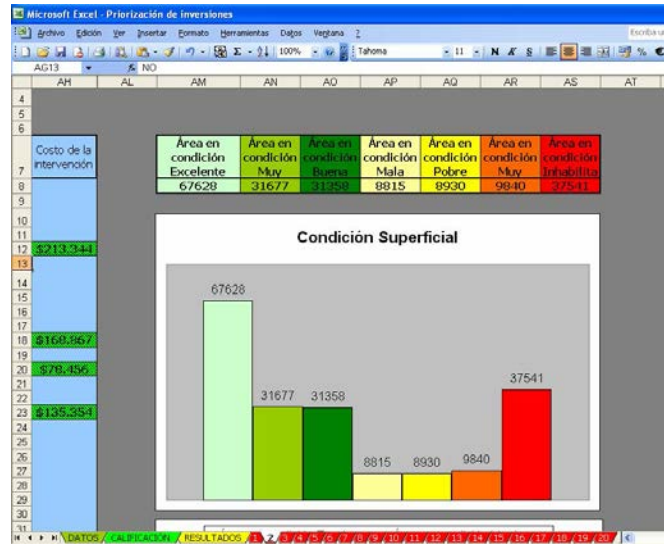


Figura 6.14: Resultados de las intervenciones I.

Seguidamente se muestra el gráfico donde se describe los porcentajes según la condición superficial.

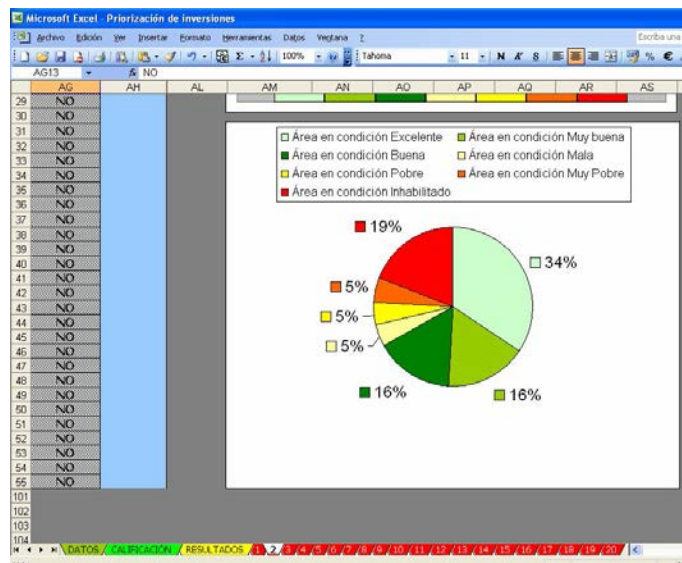


Figura 6.15: Resultados de las intervenciones II.

Además por medio de cuadros se describe la información referente al tipo de inversiones que se realizaron en el año correspondiente, es decir, las interacciones entre la inversión, el tipo de intervención, el tipo de tránsito y el área intervenida.

Intervención		Costo
Preservación		\$0
Rehabilitación menor		\$78.456
Rehabilitación mayor		\$304.220
Reconstrucción total		\$213.344

Intervención- Bajo	Metros cuadrados
Preservación	0
Rehabilitación menor	0
Rehabilitación mayor	0
Reconstrucción total	0

Intervención- Medio	Metros cuadrados
Preservación	0
Rehabilitación menor	6545
Rehabilitación mayor	6630
Reconstrucción total	0

Intervención- Alto	Metros cuadrados
Preservación	0
Rehabilitación menor	0
Rehabilitación mayor	4125
Reconstrucción total	2920

Figura 6.16: Resultados de las intervenciones III.

También se colocan los cuadros con descripciones de tipo de intervención según el tránsito en valores de Km, esto con el fin de hacer más práctica la visualización de los datos por parte de los usuarios.

Intervención- Bajo	Km
Preservación	0,2046
Rehabilitación menor	0
Rehabilitación mayor	0,2509
Reconstrucción total	0

Intervención- Medio	Km
Preservación	0
Rehabilitación menor	1,2019
Rehabilitación mayor	0
Reconstrucción total	0

Intervención- Alto	Km
Preservación	0
Rehabilitación menor	0,4488
Rehabilitación mayor	0,5384
Reconstrucción total	0

Figura 6.17: Resultados de las intervenciones IV.

6.3 Resultados de la hoja de priorización

Con el ingreso de la información básica del sistema de carreteras, y las decisiones de inversión tomadas para cada año se pueden observar los resultados totales de manera grafica en la pestaña denominada "RESULTADOS".

Entre los resultados se observa el gráfico de barras que relaciona el área del tramo homogéneo con la condición superficial del mismo. Además del grafico que muestra el valor de la condición superficial (PCI) a través del paso de los años según el tipo de tránsito y el gráfico que muestra el costo de las invenciones según el tipo de intervención.

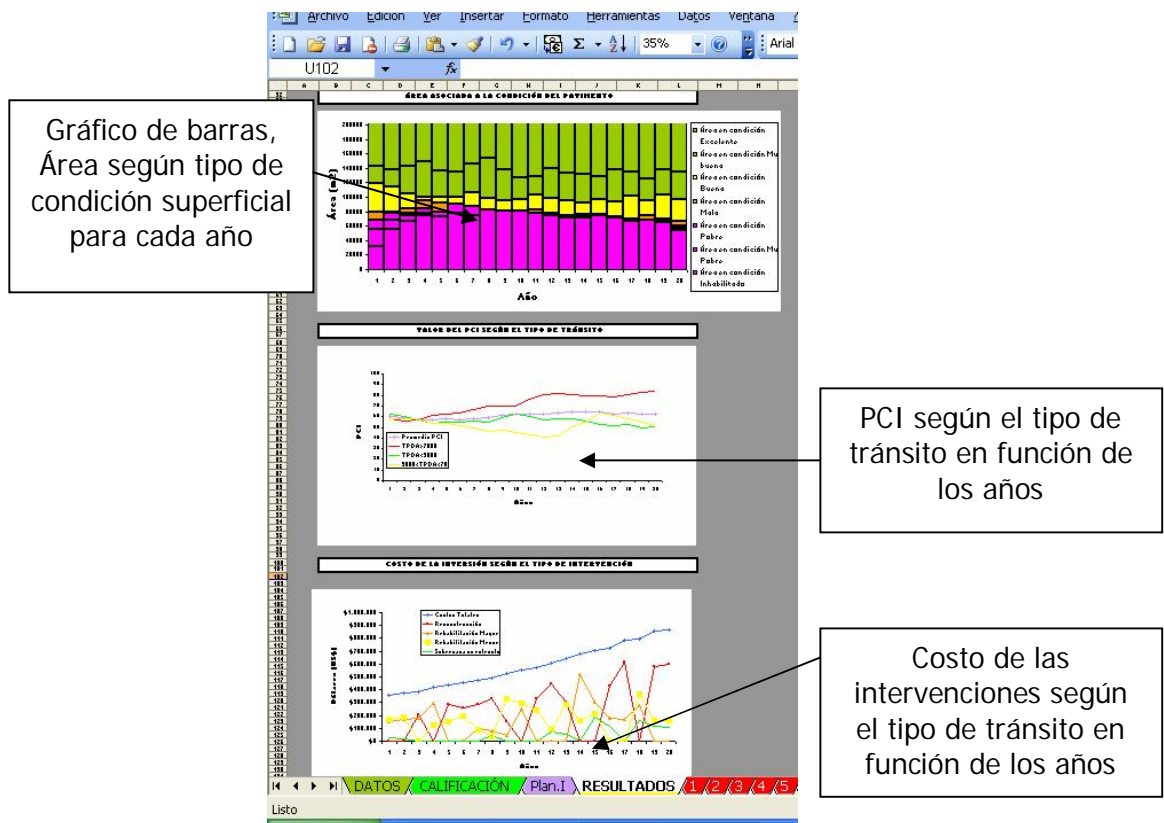


Figura 6.18: Gráficos con los resultados de las intervenciones I

Además se presentan los gráficos que relacionan la inversión realizada en un tipo de intervención según el nivel de tránsito para cada año de inversión. Además se puede observar la tabla de datos de los cuales dependen los gráficos, tal como se muestra en la figura 6.19 a continuación:

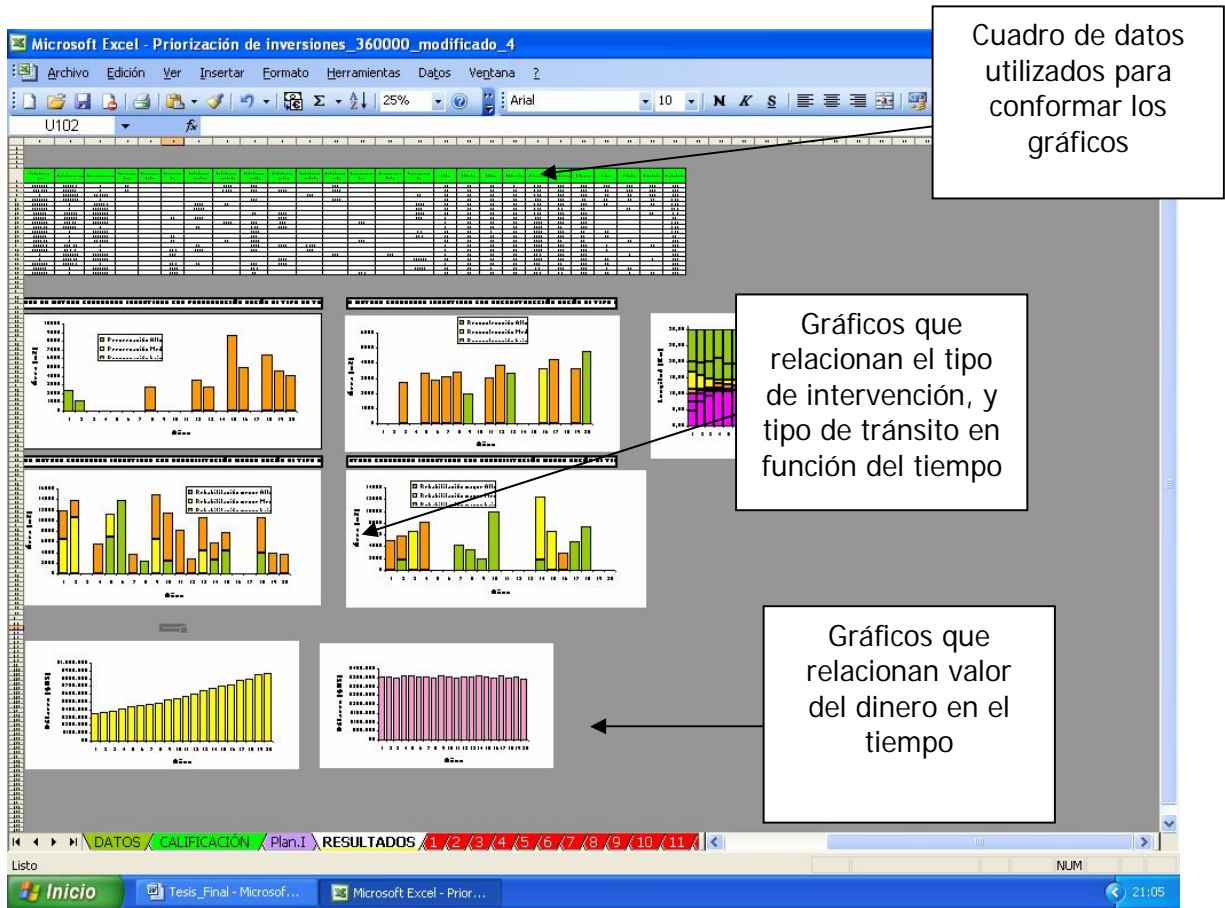


Figura 6.19: Gráficos con los resultados de las intervenciones II

6.4 Escenarios de inversión

Se plantean diferentes escenarios de inversión variando los valores del presupuesto de inversión anual, dicho proceso se realiza para los escenarios de US\$360.00 y \$US720.000 al igual que los dos primeros escenarios mostrados en el capítulo 5.

Para el caso de las ventanas de operación, se emplean según un criterio más apegado a las clasificaciones del PCI deterioros, esto con el objetivo presentar al usuario una clasificación coherente con la teoría. A continuación se muestra el cuadro 6.1 con la información respectiva.

Cuadro 6.1: Ventanas de Operación PCI condición superficial

PCI	Intervención	Condición
85-70	Preservación	Muy bueno
70-55	Rehabilitación menor	Bueno
55-40	Rehabilitación mayor	Malo
40-0	Reconstrucción total	Pobre/Muy pobre

6.4.1 Escenario 1: presupuesto de US\$ 360.000

Para el escenario de US\$360.000, se emplean las mismas ideas que en las optimizaciones planteadas en el capítulo 5. Es importante tomar en cuenta que el uso de la hoja de cálculo no da resultados óptimos en el manejo de los recursos, ya que las decisiones de inversión recaen sobre el usuario. A continuación se muestran los resultados de los planes de inversión en m² y en Km.

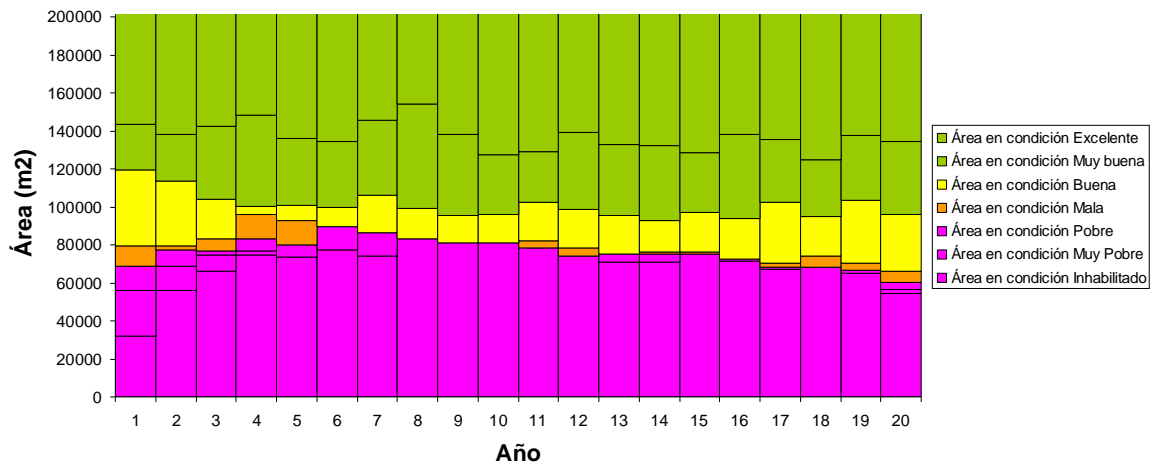


Figura 6.20: Área asociada a cada estado. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

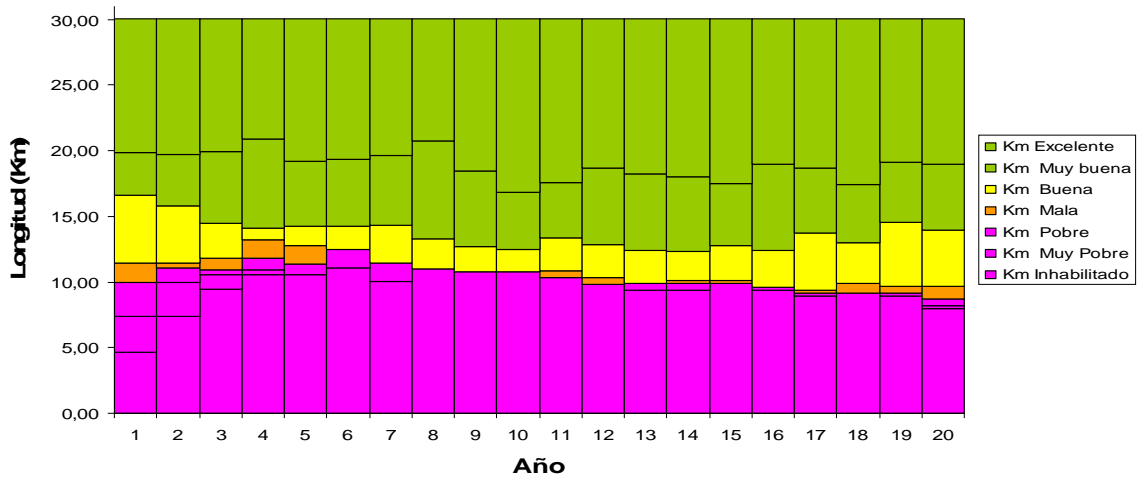


Figura 6.21: Kilómetros de vía asociado a cada estado. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

El resultado mostrado por la figura 6.20 tiene mucha similitud con el presentado en la figura 5.2, en ambos casos el presupuesto es insuficiente como para lograr reducir las calles que se encuentran en estado pobre. Es decir con el presupuesto mostrado, sólo se logra mantener las carreteras a lo sumo en el estado en que se encuentran.

En el uso de la hoja de priorización de inversiones, dada la restricción de dinero existente, no se llegaba a cubrir las intenciones de inversión de los indicadores, es decir, no todas las calificaciones altas podían recibir el visto bueno de inversión, por lo que se asignan los recursos en los tramos que se consideraron indicados.

A continuación se muestra la figura 6.22 en la cual muestra de manera gráfica la variación del PCI según el tipo de tránsito a lo largo del tiempo.

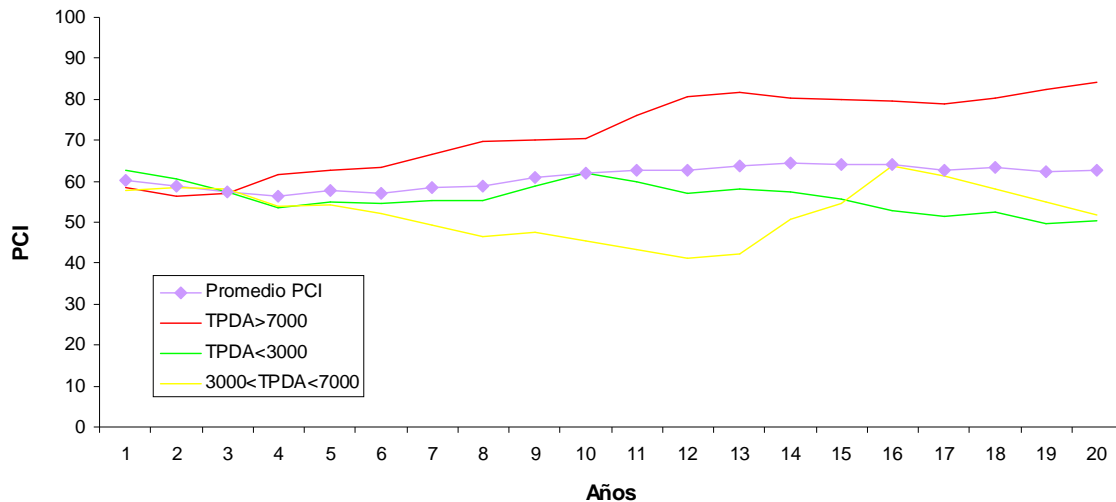


Figura 6.22: Valor del PCI según tipo de tránsito. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

La figura 6.22 presenta un comportamiento del promedio del PCI muy similar al establecido en la figura 5.4, en ambos casos el valor promedio del PCI cae ligeramente al principio, y luego recupera de manera gradual su valor inicial. Se muestra una mayor diferencia en el comportamiento de las carreteras con tránsito bajo y medio, en relación con las mostradas en la figura 5.4.

A continuación se muestra la figura 6.23, la cual muestra gráficamente el costo de las inversiones en función del tiempo.

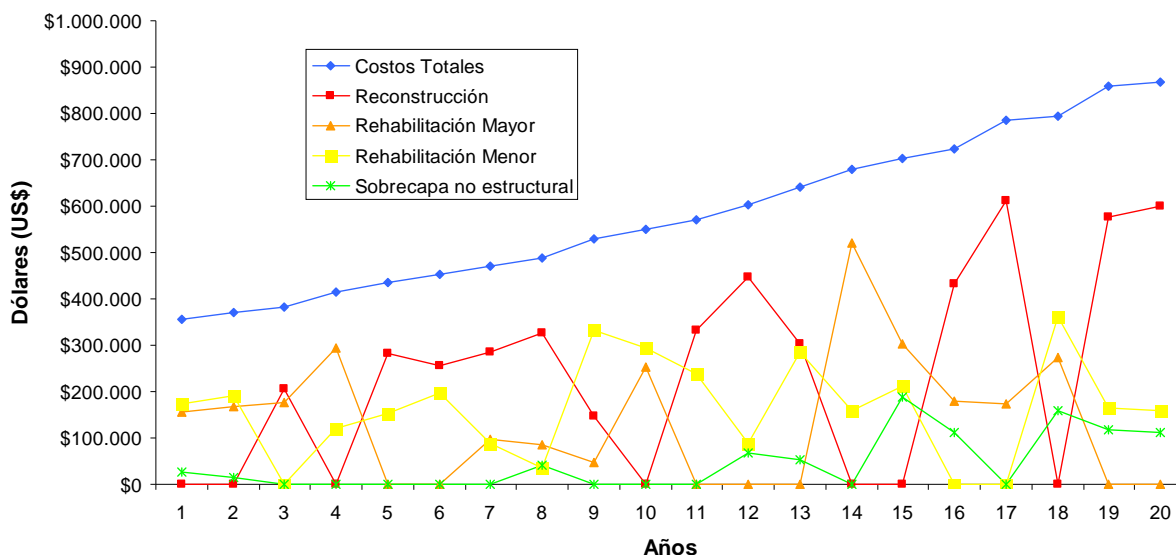


Figura 6.23: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_A Presupuesto US\$360.000 anuales

La descripción del costo de las inversiones en el tiempo a pesar de tener una gran similitud a la figura 5.6, presenta el inconveniente de no lograr la ejecución del total del presupuesto para cada año, dando valores cercanos pero no exactos, básicamente porque las inversiones en la hoja de priorización se dan como totales sobre la carretera, es decir, a lo sumo se divide una sola vez un tramo, creando dos secciones de menor área para que sea más simple la inversión. Esto implica que los presupuestos no se puedan ejecutar en su totalidad en cada año. Además de que las decisiones de inversión no necesariamente son las mismas, ya que la figura 5.6 es realizada bajo un sistema de optimización lineal, y la figura 6.23 depende de la pericia del operador.

A continuación se muestran las figuras 6.24, 6.25 y 6.26 en los cuales se muestran el área intervenida según el tipo de tránsito para cada uno de los tratamientos

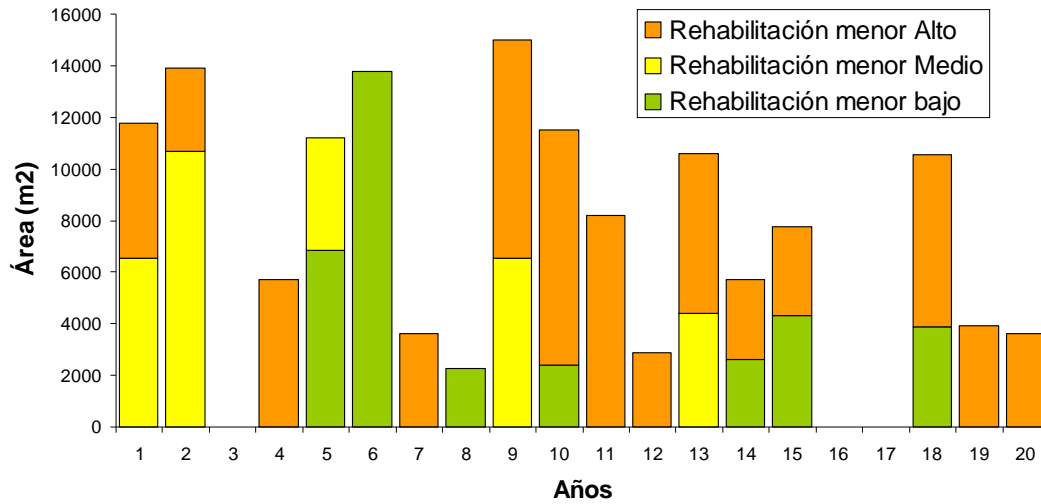


Figura 6.24: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_A
Presupuesto US\$360.000 anuales

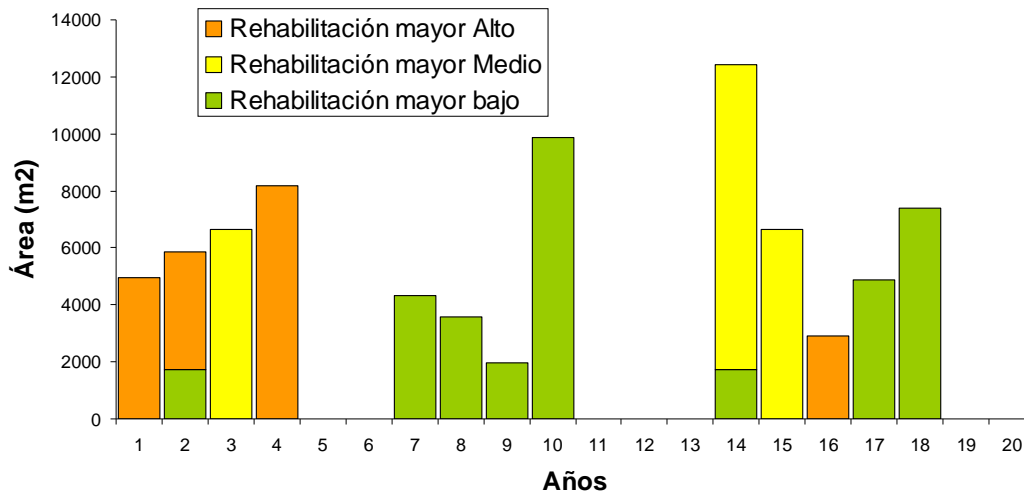


Figura 6.25: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_A
Presupuesto US\$360.000 anuales

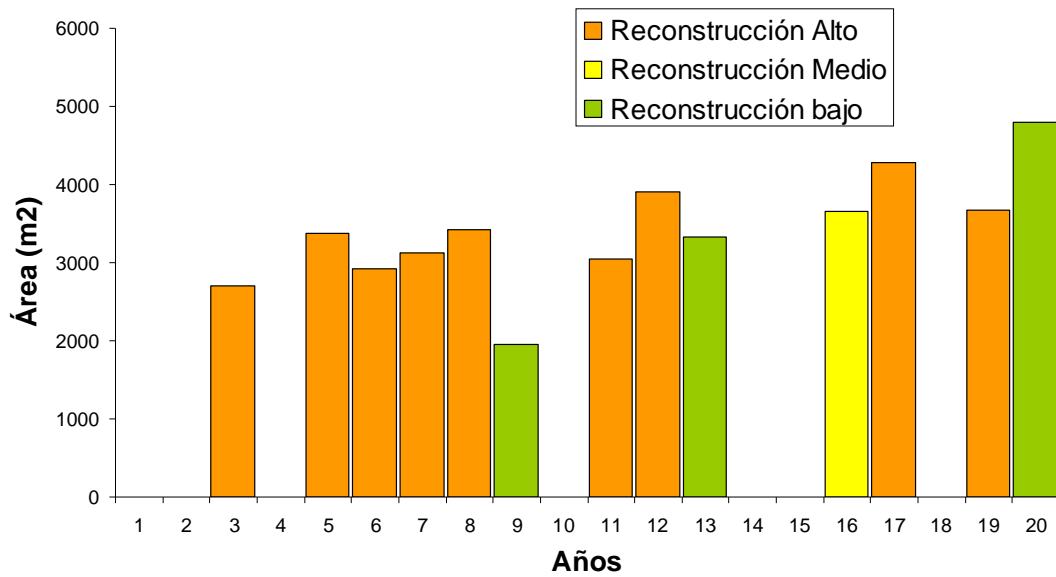


Figura 6.26: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_A
Presupuesto US\$360.000 anuales

Es importante notar las diferencias de las decisiones de las inversiones, ya que en el caso de la hoja de priorización la vista se tuvo puesta principalmente en las rutas con tránsito alto, lo cual en la figura 6.22 se nota el aumento significativo del valor del PCI_A , y las figuras 6.24 y 6.26 lo vienen a ratificar, evidenciando una tendencia de inversión.

El hecho de que las inversiones se centren en las rutas con tránsito alto y medio se plantea desde la creación de los indicadores, ya que se otorga una calificación más alta a estos dos grupos, aunado a esto, las rutas con tránsitos más elevados tienden a estar clasificadas como rutas primarias, aumentando de esta forma aún más su calificación de priorización.

A continuación se presentan los datos que muestran la variación del dinero en el tiempo.

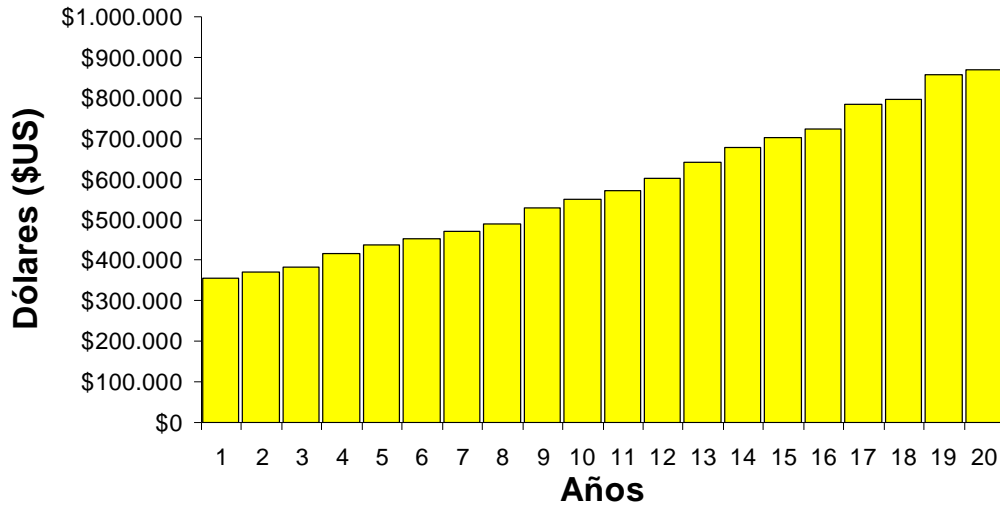


Figura 6.27: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. Presupuesto US\$360.000 anuales

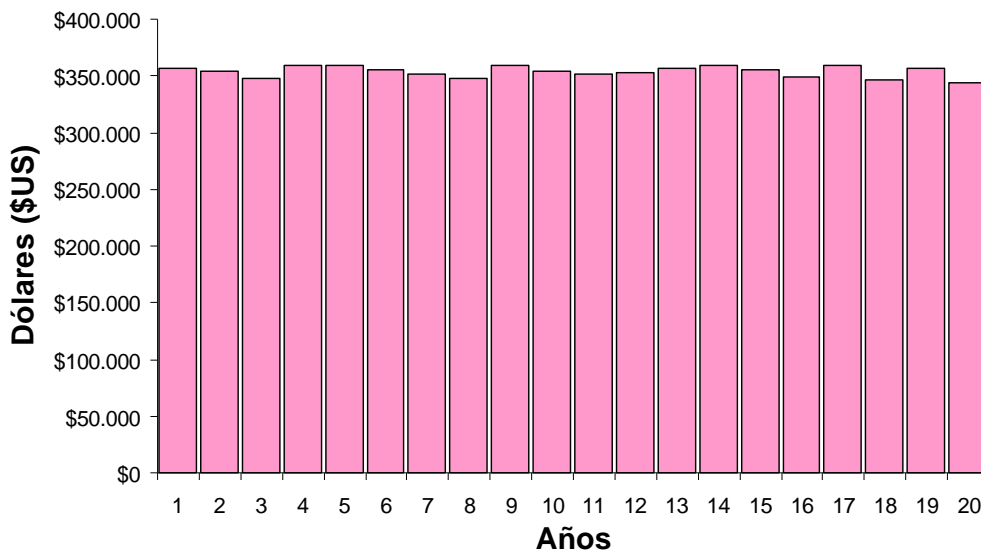


Figura 6.28: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. Presupuesto US\$360.000 anuales

La figura 6.28, no se ve con la leve declinación que muestra la figura 5.16, esto debido a que las inversiones no logran alcanzar el máximo de dinero disponible, lo que repercute en la visualización de la figura.

6.4.2 Escenario 2: presupuesto de US\$ 720.000

Para el escenario de US\$ 720.000 las condiciones de manejo de la hoja de priorización varían, ya que a pesar de parecer obvias las inversiones en mantenimiento preventivo para los primeros años en relación al ahorro de dinero, lo que arroja mejores resultados es la aplicación de rehabilitaciones y reconstrucción, esto manteniendo el norte claro de mejorar la condición de la red. Lo que implica en algunos casos no tomar en cuenta la calificación del tramo para invertir en él, e invertir nuevamente en estos tramos en la siguiente ventana de operación.

A continuación se muestra la figura 6.29, en la cual se describe la cantidad de área asociada a un estado de la carretera con el nuevo escenario de inversión, además de la figura 6.30, que describe los Km de carretera según su condición.

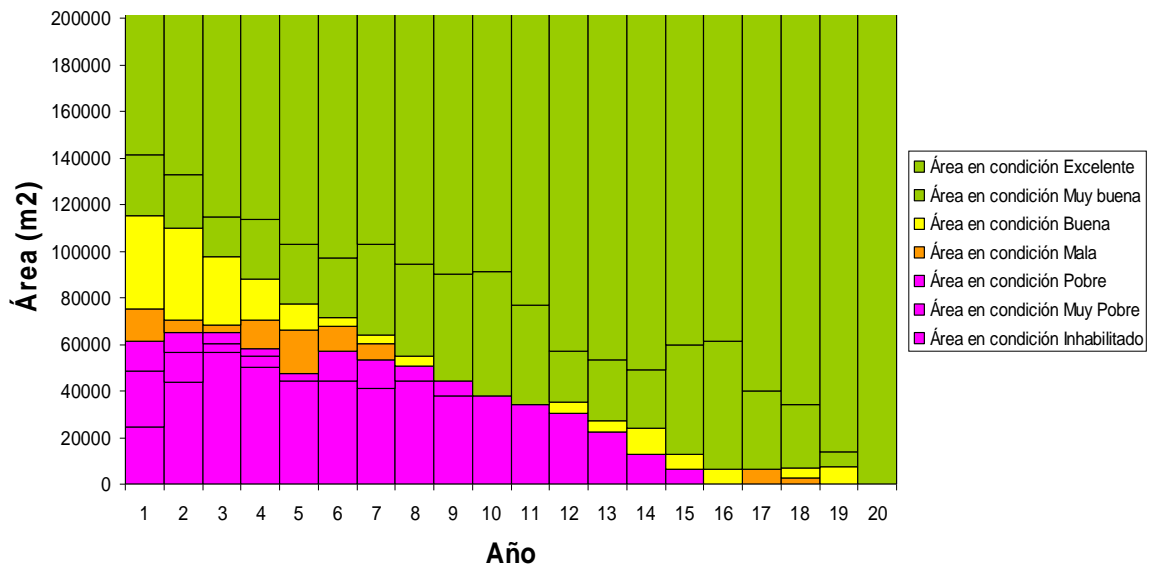


Figura 6.29: Área asociada a cada estado. PCI_A Presupuesto US\$720.000 anuales

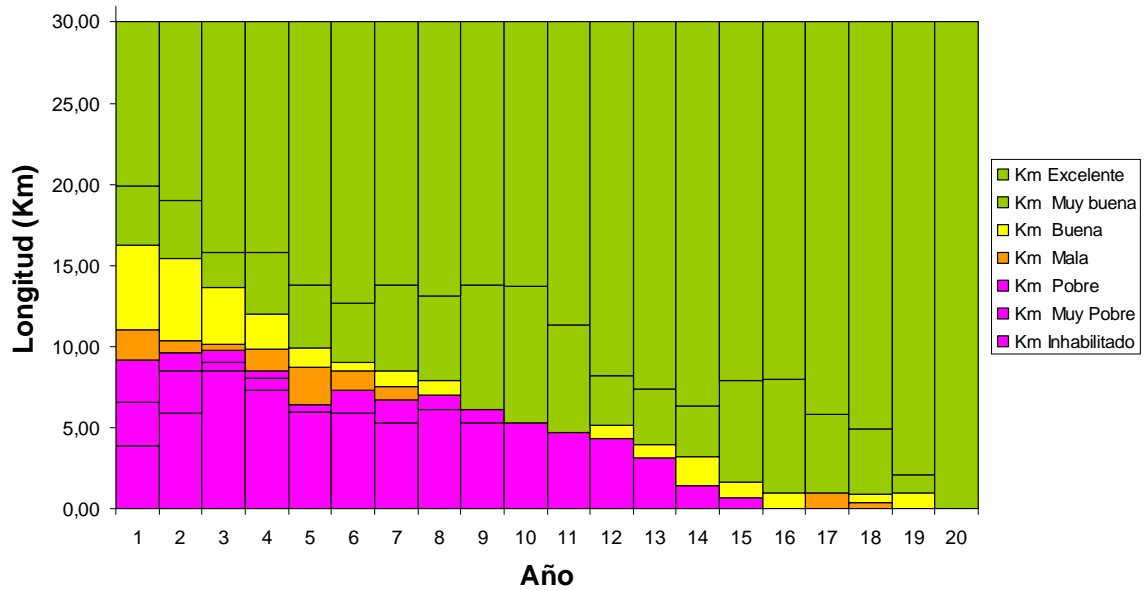


Figura 6.30: Kilómetros de vía asociado a cada estado. PCI_A Presupuesto US\$720.000 anuales

En las figuras 6.29 y 6.30 se muestra claramente un descenso paulatino de las carreteras en condición pobre, a la vez que se da un aumento de las carreras en condiciones óptimas, los resultados obtenidos son similares a los logrados en el capítulo anterior.

A continuación se muestra la figura 6.31, en la cual se muestra las variaciones del valor del PCI según el tipo de tránsito.

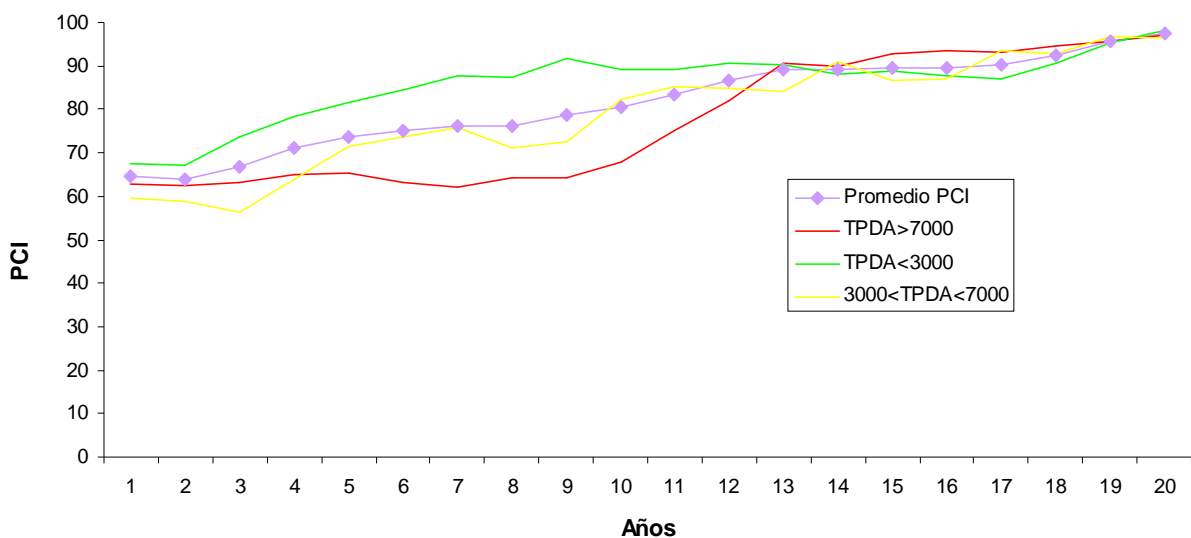


Figura 6.31: Valor del PCI_A según tipo de tránsito. Presupuesto US\$720.000 anuales

En el gráfico 6.31, se muestra una tendencia muy similar a los datos representados en la figura 5.20, ya que todos los valores tienden a manejarse como un solo grupo, sin que existan diferencias abismales entre los valores según el tipo de tránsito.

A continuación se muestra la figura 6.32, la cual muestra gráficamente el costo de las inversiones en función del tiempo.

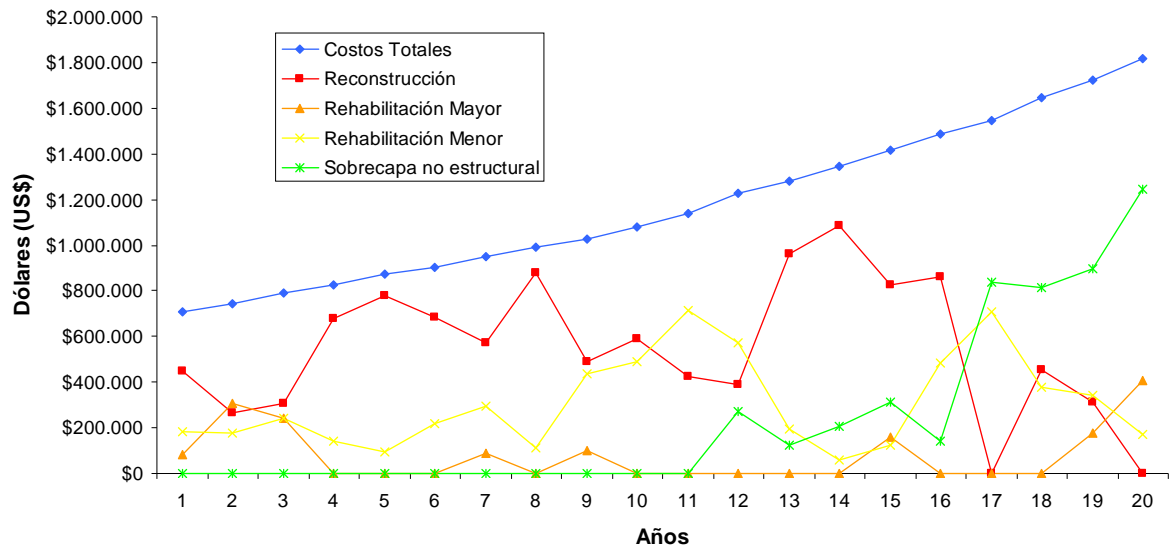


Figura 6.32: Costo de la inversión según el tipo de intervención. PCI_A Presupuesto US\$720.000 anuales

Las decisiones de inversión se ven reflejadas en los costos mostrados en la figura 6.32, como se pueden notar a pesar de que las inversiones no logran abarcar todo el presupuesto, presentan una buena tendencia, muy similar a la establecida en la figura 5.22 realizada a partir de la optimización lineal

A continuación se presentan las Figuras 6.33, 6.34 y 6.35 las que se encargan de mostrar la cantidad de área intervenida con un tipo de tratamiento específico, según el tipo de tránsito, todo en función del tiempo.

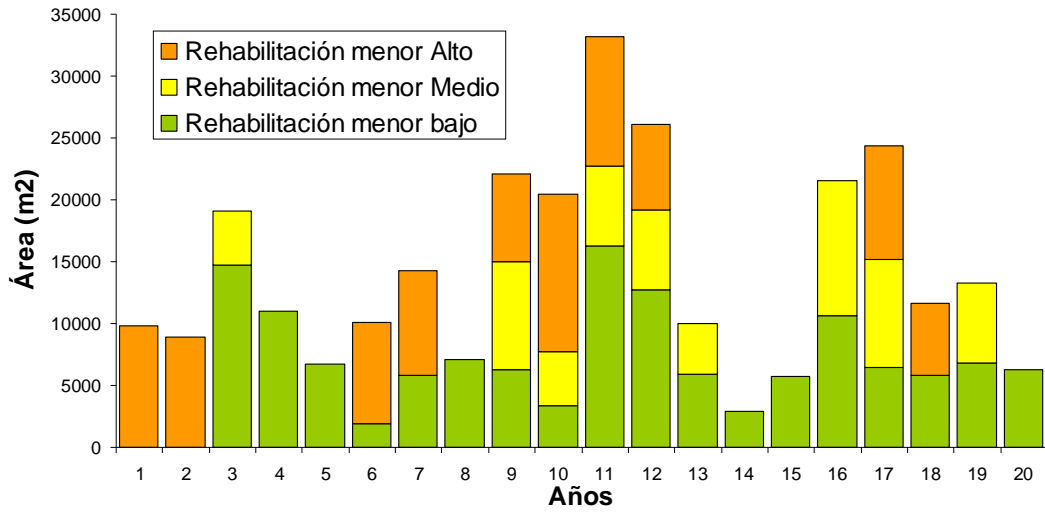
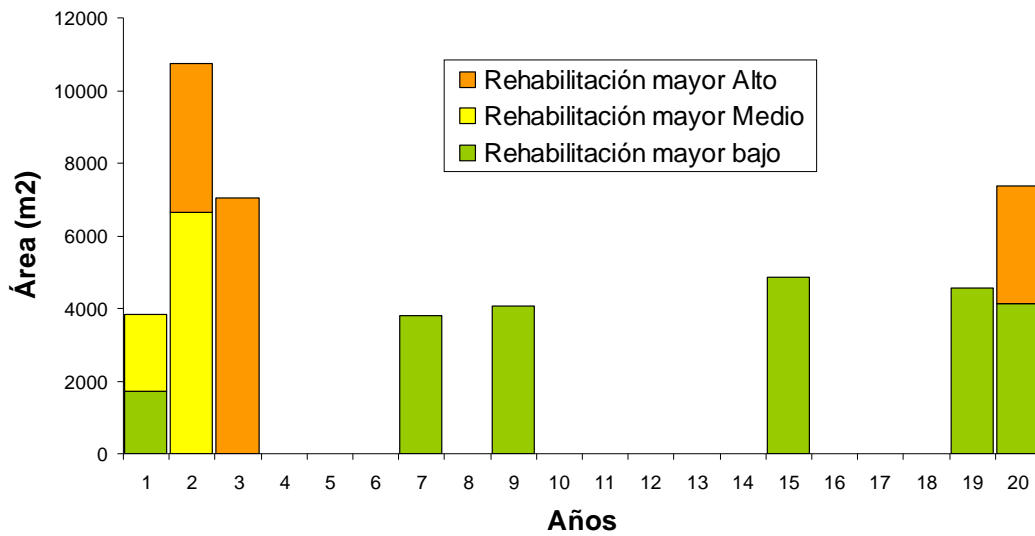


Figura 6.33: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación menor. PCI_A
Presupuesto US\$720.000 anuales



6.34: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Rehabilitación mayor. PCI_A
Presupuesto US\$720.000 anuales

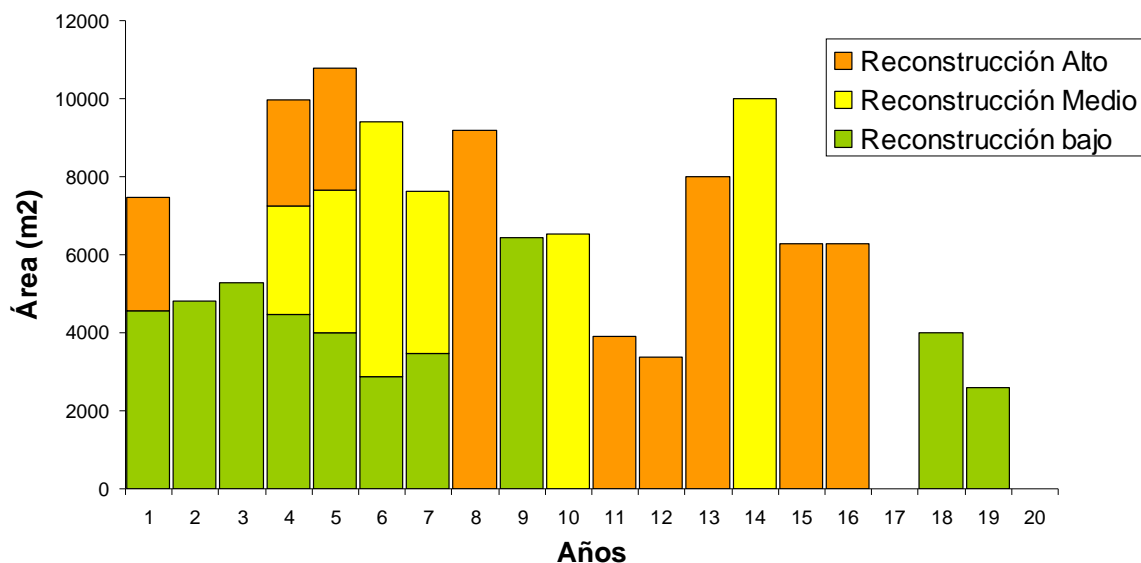


Figura 6.35: Cantidad de metros cuadrados intervenidos con Reconstrucción. PCI_A Presupuesto US\$720.000 anuales

A pesar de que las soluciones planteadas por los planes de inversión mediante el programa computacional Woodstock y la hoja de cálculo presenten similitudes, en las decisiones se denotan las diferencias de realizar un proceso mediante el uso de la optimización lineal contra el realizado mediante indicadores de priorización.

A continuación se presentan los datos que muestran la variación del dinero en el tiempo.

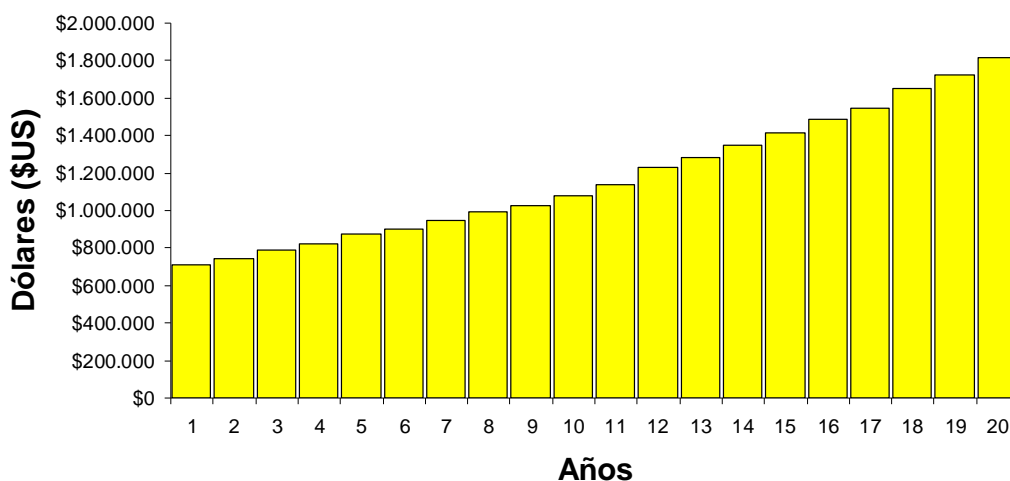


Figura 6.36: Presupuesto ajustado a la tasa de inflación. Presupuesto US\$720.000 anuales

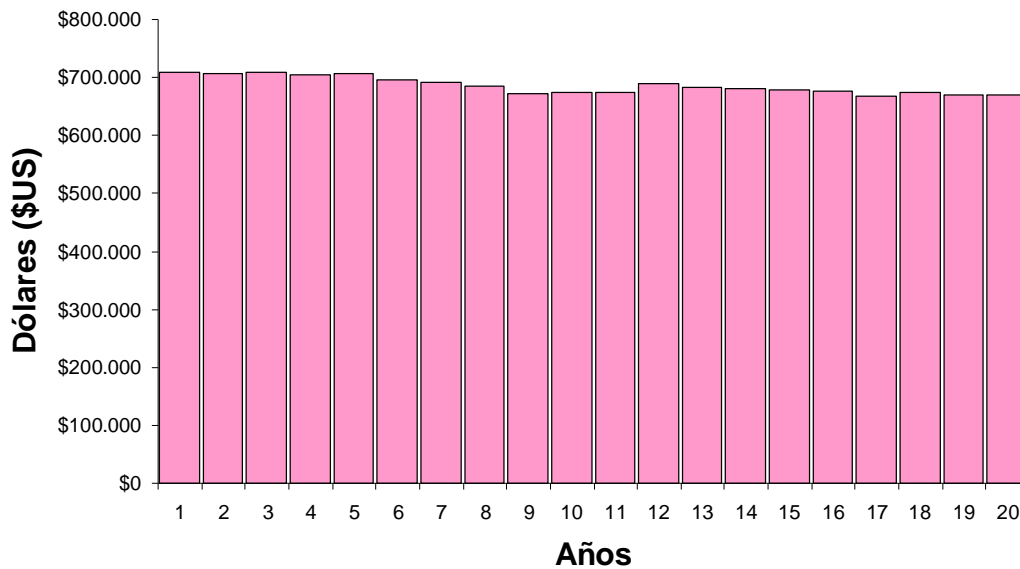


Figura 6.37: Presupuesto ajustado a la tasa de descuento. Presupuesto US\$720.000 anuales

Las figuras 6.36 y 6.37 son muy similares a las presentadas en el capítulo 5, ya que para este escenario se logra aproximar mejor las inversiones de cada año en relación al dinero disponible.

6.5 Comparación de la hoja de priorización en relación a otros programas.

Es importante que el usuario comprenda que el uso de la hoja de priorización presenta riesgos asociados a su implementación, además de las ventajas y desventajas que este posee en relación a los programas computacionales especializados, y el rango de acción donde tiene relevancia. A continuación se presenta el cuadro 6.2, en el cual se comparan las características de la hoja de priorización en relación con otros sistemas computacionales.

Cuadro 6.2: Características de la hoja de priorización en función de los programas computacionales más usados.

Programa computacional	Objetivo del programa	Costo programa	Optimización de resultados	Interface	Información necesaria	Grado de conocimiento del programa por parte del usuario	Km evaluados	Observaciones
Hoja de Priorización	Determinación de los tramos de carretera con mayor necesidad de inversión	Bajo	No	Poco amigable	Media	Bajo	Limitados (no más de 80Km)	Los resultados obtenidos son dependientes de las decisiones del usuario, lo cual implica riesgos
MicroPAVER	Gestión de pavimentos	Medio	Si	Muy amigable	Media	Medio	Ilimitados	El programa está diseñado para ser usado con la norma ASTM D6433-03
Woodstock	Plataforma computacional para la realización de optimización lineal	Alto	Si	Poco amigable	La que se desee analizar	Muy alto	Ilimitados	Los resultados obtenidos dependen tanto de los datos como de la programación propuesta por el usuario
HDM-4	Minimizar los costos totales del transporte para la sociedad.	Alto	Si	Amigable	Muy alta	Alto	Ilimitados	La calibración de los modelos es muy difícil.

Como se observa en el cuadro 6.2 para cada uno de los programas se tienen diversas ventajas y desventajas en relación con los demás.

En la relación de costos entre los programas, el más accesible económicamente es la hoja de priorización, ya que esta basado en el programa Excel, el cual es ampliamente utilizado dentro de las municipalidades. Pero si observamos cuidadosamente la relación costo beneficio, notaríamos que no es tan ganancioso, ya que existen riesgos asociados al empleo de la hoja, lo que puede incurrir en inversiones no óptimas sobre las carreteras.

En el caso de la información necesaria para la realización de planes de inversión, el programa HDM-4 tiene como principal desventaja la gran cantidad de datos necesarios para su funcionamiento, dado que el principal objetivo del programa es minimizar los costos totales de transporte para la sociedad, por lo cual necesita no sólo información de la condición de las carreteras, del tránsito y los costos de las intervenciones, si no que le es necesario establecer el parque automotor de la región, así como la información de clima. Además la calibración de los modelos es bastante laboriosa.

En el caso del programa Woodstock de la empresa Remsoft, la información necesaria para la realización de los planes de inversión es básicamente la que se desee analizar en el modelo propuesto, ya que es abierto a las modificaciones que el usuario considere necesarias, lo que permite analizar sistemas con muy poca información, hasta sistemas muy complejos dependiendo de la calidad de los resultados que se desee.

Para el empleo del programa MicroPAVER, la información necesaria es básicamente la propuesta en este proyecto, ya que se basa en la norma ASTM D6433-03, y a partir de ahí se pueden realizar los diferentes análisis de inversión.

El programa Woodstock es una poderosa herramienta de optimización de recursos, la cual permite incluir los activos que el usuario desea e introducir las limitaciones y restricciones que se consideren pertinentes, la principal desventaja que tiene es el nivel de conocimiento del programa necesario para obtener los resultados deseados, ya que el trabajo de programación es complejo y laborioso.

Los programas especializados se encargan de brindar muchas herramientas a parte de los planes de inversión, por lo que la hoja de priorización en el programa Excel queda enmarcada a un rango muy bajo de aplicación.

Todos los programas computacionales generan malos resultados si se basan en información de la red poco fidedigna, es importante que el usuario se asegure de que la información suministrada sea la mejor disponible, además de todas las características tales como geografía, clima, tránsito, etc. y las limitaciones que pueda representar para los planes de inversión.

METODOLOGÍA PRÁCTICA PARA REALIZAR GESTIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES A NIVEL MUNICIPAL

Los procesos de una gestión de pavimentos flexibles comprenden un gran número de actividades, que comienzan con el planteamiento de las necesidades y culminan con la alimentación del sistema para una mejora continua. Pero para lograr culminar el proceso es necesario pasar una serie de etapas que cumplan de guía y soporten de las decisiones sobre la red.

Los primeros pasos dentro de la gestión de pavimentos se realizan a partir del reconocimiento de la red. Una herramienta indispensable es el inventario de la red vial cantonal, procedimiento establecido para las municipalidades a partir del Decreto Ejecutivo No. 30263-MOPT del 5 de marzo del 2002.

El inventario de la red vial cantonal consiste en un levantamiento de características viales, sociales y económicas que comprenden la carretera y su entorno. Dicho inventario se compone de secciones encargadas de diferentes áreas. A pesar de que mucha de la información recopilada es de suma importancia, sólo se empleará la correspondiente al inventario físico de la red vial cantonal.

El inventario físico de la red vial cantonal se encarga de caracterizar las calles que componen el sistema de carreteras, asignando atributos a los diferentes tramos. Entre los datos más importantes encontramos; el tránsito promedio diario, designación de las calles, códigos de las vías, tipo de superficie de ruedo, condición de la superficie de ruedo, características de la zona, número de carriles y ancho de carriles.

Es de suma importancia que los datos recopilados sean veraces, ya que a partir de ellos se van a tomar decisiones sobre toda la red.

Existen 5 pasos notables en la dirección de proyectos, los cuales se plantean bajo la iniciativa de administrar de manera eficiente y ordenada todos los procesos del proyecto. Los pasos son; Inicio, Planeamiento, Ejecución, Control y Cierre.

La metodología práctica para la realización de una gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal está basada en la administración de proyectos propuesta por Chamoun, Y. 2002, a continuación se presenta la figura 7.1, en la cual se muestra las etapas a seguir para realizar la gestión de pavimentos flexibles.

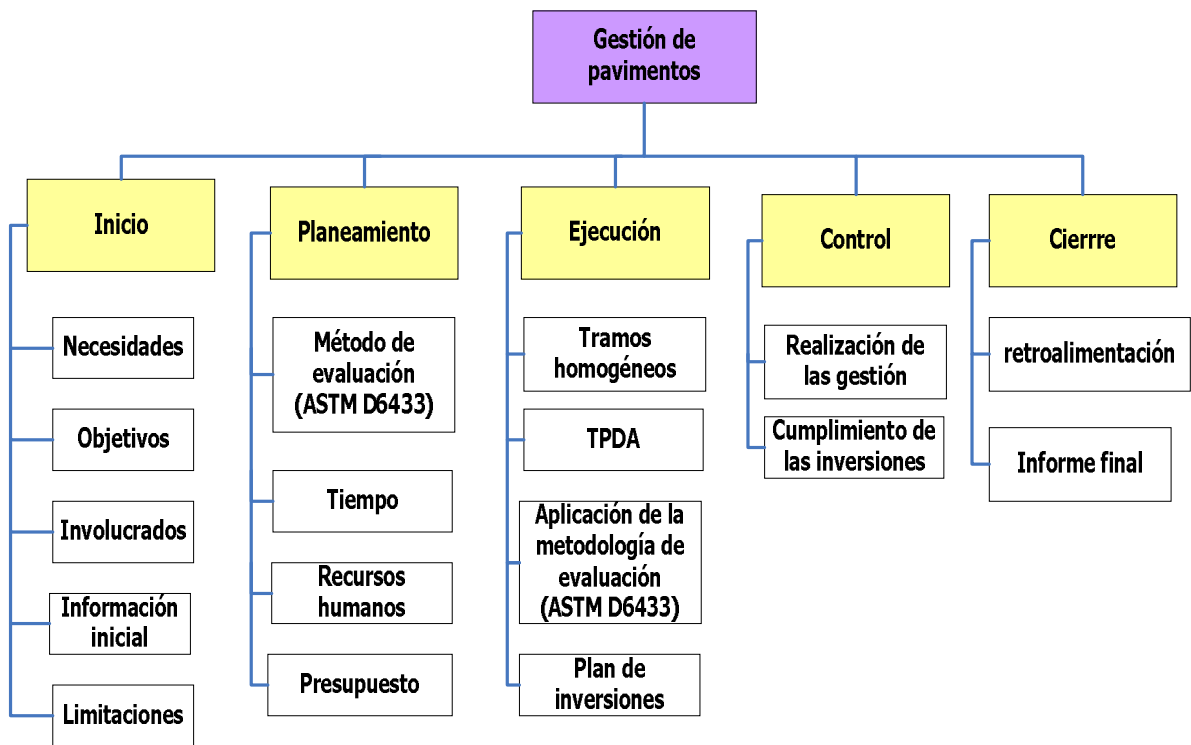


Figura 7.1: Esquema metodológico de las etapas para realizar la gestión de pavimentos.

7.1 Inicio de la gestión de pavimentos flexibles

Para iniciar cualquier proceso de gestión es necesario plantearse cuestionamientos básicos, tales como: ¿Por qué debo realizar una gestión de pavimento flexible?, ¿Qué deseo alcanzar con la gestión de pavimentos?, etc. Cuestionamientos que sólo pueden ser resueltos con base en la experiencia dentro de la estructura del trabajo municipal, anexando a las respuestas todas las características técnicas y sociales que identifiquen el cantón.

A continuación se presentan los 5 pasos necesarios para dar inicio al establecimiento de una gestión de pavimentos dentro de un sistema de carreteras municipal, además del resumen de los mismos.

7.1.1 Necesidades de la red vial municipal

Las necesidades de un sistema de carreteras son variables dependiendo de las características de un cantón, desde las solicitudes de capacidad de una carretera, las cuales varían notablemente si se trata de una zona industrial, urbana o agrícola, hasta la capacidad económica de los habitantes y la generación de nuevos usuarios. Además las necesidades de un sistema de carreteras no solo comprenden la superficie de rodamiento, aplica también para la seguridad vial, los sistemas de drenaje, la señalización y todos los elementos que interfieran con los usuarios y la red.

El profesional a cargo debe establecer las necesidades del sistema vial, en nuestro caso sólo hemos tomado en cuenta como la necesidad principal el mejoramiento de la estructura de pavimento, y empleando este elemento como única necesidad para análisis, pero en el cualquier otro caso municipal se pueden incluir diferentes necesidades.

7.1.2 Objetivos de la gestión de pavimentos flexibles

Teniendo en cuenta las necesidades de la red vial municipal, se deben establecer los objetivos que se desean alcanzar mediante la utilización de la herramienta de gestión, estableciendo un objetivo general y objetivos específicos que se desean cumplir en el proceso. Esto se puede ver como; el producto deseado como resultado de la gestión de pavimentos, así como los todos los subproductos que se deriven de la gestión.

Para nuestro caso el objetivo general es mejorar el estado de la condición del pavimento flexible, pero se pueden incluir objetivos específicos, como la obtención de curvas de deterioro del pavimento para la red, revisión de las condiciones de los drenajes, definir los tipos más comunes de deterioros, entre otros.

7.1.3 Identificación de los involucrados

En la etapa inicial es necesario establecer cuales son los grupos interesados en el desarrollo de la gestión, tanto involucrados directos como indirectos, ya que de ellos depende que la gestión de pavimentos pueda ser planteada, desarrollada y ejecutada a cabalidad.

El desarrollo de un sistema de administración dentro de una municipalidad necesita del apoyo de muchos sectores, desde los usuarios de la red, los cuales son los beneficiados primarios, hasta el sector político que se encarga de la toma de decisiones.

7.1.4 Información inicial de la red

Para poder establecer un planeamiento, es necesario saber con cual información histórica de la red se cuenta, ya que a partir de esta información se puede tener una base sobre la cual propiciar la gestión de pavimentos flexibles.

Para poder realizar los mapas conceptuales sobre los cuales se desarrollará el planteamiento de la gestión, es importante tener conocimientos básicos de la red, tales como longitud, tipo de superficie, condición de las vías entre otros.

7.1.5 Limitaciones de la gestión de pavimentos flexibles

Es importante que desde el inicio de la gestión podamos establecer las limitaciones que pueda llevar la implementación de la metodología. Estas abarcan desde las dificultades técnicas hasta las dificultades presupuestarias.

7.1.6 Resumen del inicio de la gestión de pavimentos flexibles.


Los pasos de la etapa de inicio deben ser considerados en su totalidad, ya que esto nos dará una visión clara de los productos esperados y las limitaciones de nuestra gestión.

A continuación se muestra un cuadro resumen con la información pertinente al inicio de la gestión para el caso de la municipalidad de Belén, esto con el fin de establecer un formato que nos permita trabajar todo el inicio de la gestión, sin olvidar ninguna de las partes que lo componen. El formato del cuadro 7.1 se encuentra en el Apéndice C.

Cuadro 7.1: Datos del inicio de la gestión de pavimentos flexibles para el cantón de Belén.

Fecha: 22/11/2010	Nombre del Cantón: Belén	Provincia: Heredia
Información general de la red vial: Tipo de red: Urbana/Industrial Longitud de la red: 73,98km de vías pavimentadas Clima de la Zona: Valle Central Otros: El cantón abarca un área de 11,81 km ² El cantón se divide en tres distritos; San Antonio, La Rivera y Asunción Comprende grandes desarrollos habitacionales de clase media/alta		
Necesidades de la red vial municipal: Mejorar la serviciabilidad de la red vial municipal Establecer un planeamiento de inversiones en carreteras que se base en criterios técnicos Información de la condiciones constructivas y diseño de las carreteras municipales Determinar los deterioros del pavimento más comunes dentro de la red Determinar las intervenciones que se deben realizar para cada tramo carretera		
Objetivo de la gestión de pavimentos flexibles: General: A partir del mejoramiento de la calidad de las carreteras, optimizar la inversión de capital sobre el sistema vial de la municipalidad de Belén Específicos: Determinar indicadores de condición para los tramos de carretera Establecer la prioridad de las rutas a intervenir en la red cantonal de Belén Determinar los costos de las inversiones futuras, con el objetivo de mantener las carreteras en un estado de servicio satisfactorio		

Cuadro 7.1: Datos del inicio de la gestión de pavimentos flexibles para el cantón de Belén
(continuación)

<p>Descripción del producto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una guía de inversión de capital para los siguientes 20 años. • Determinación de un presupuesto viable para el mejoramiento de la red. • Descripción el estado de los tramos de carretera. • Modelos de los diferentes escenarios de inversión. • Indicadores de condición para cada tramo. 	
<p>Identificación de los involucrados</p> <p>Directos</p> <p>Cuerpo de ingeniería de la municipalidad de Belén Alcalde de la municipalidad de Belén Concejo municipal Cuadrillas de trabajo vial, municipalidad de Belén Empresas de mantenimiento y construcción de carreteras Ministerio de obras públicas y transportes</p> <p>Indirectos</p> <p>Industrias del cantón Centros comerciales Desarrolladores inmobiliarios Servicios Públicos, agua, luz</p>	
<p>Limitaciones de la gestión de pavimentos</p> <p>Se requiere del favor político para que se puedan aplicar las inversiones según los criterios técnicos No se cuenta con información histórica de la red</p>	
<p>Encargado: Luis Carlos Zamora Bustamante</p>	<p>Firma: </p>

7.2 Planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles

Para el correcto funcionamiento de la gestión, es necesaria una gran cantidad de información de la red, la cual necesita de un plan de acción que regule el tiempo y los recursos destinados a la obtención o elaboración de los datos. Los planes de inversión se realizan a partir de un gran compendio de datos, de los cuales se establecen las restricciones y los objetivos a la hora de establecer la designación de recursos.

A continuación se presenta un esquema metodológico que describe el proceso de creación de información necesaria para llegar a la realización del plan de inversiones.

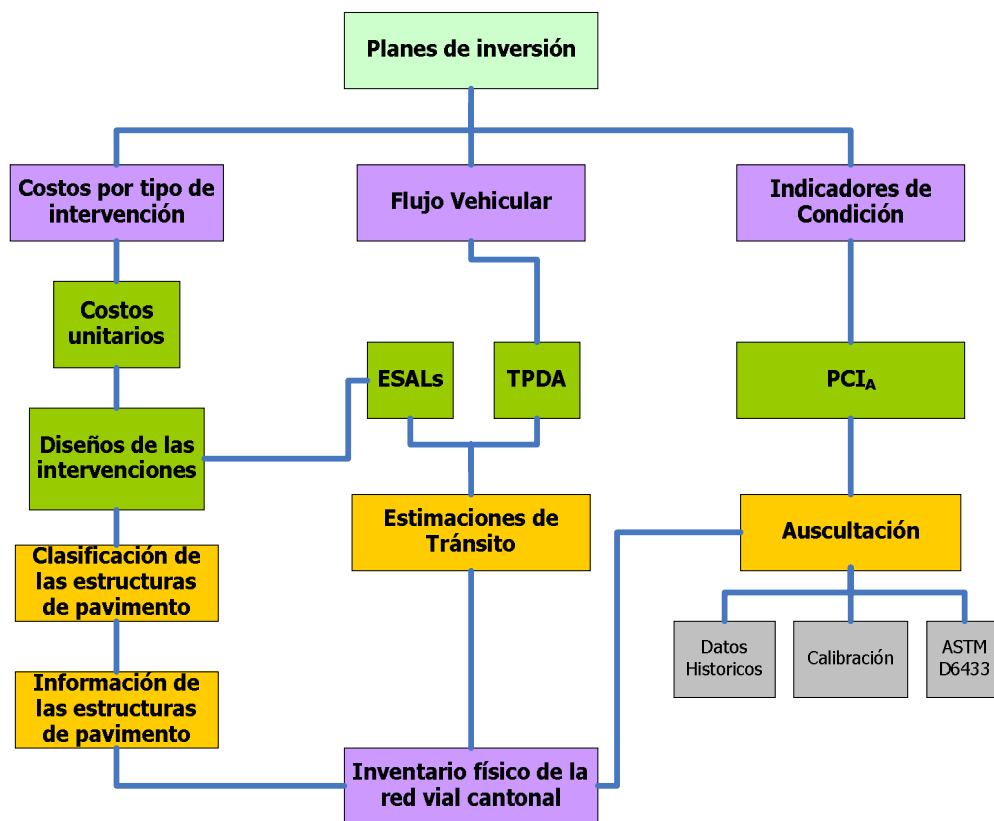


Figura 7.2: Esquema metodológico para la realización del plan de inversiones

La visualización de la información necesaria para realizar el plan de inversiones nos da una perspectiva clara de todas las obras que faltan por realizar, lo cual nos permite plantear en temas de planeamiento la posible duración de los procesos, el recurso humano necesario y el presupuesto.

7.2.1 Metodología de evaluación de la red

La propuesta para la realización de esta gestión de pavimentos flexibles es emplear datos de condición superficial, utilizando el indicador PCI_A de la norma ASTM D6433-03. Dicho ensayo puede modificarse por cualquier otro que nos brinde de manera adecuada la información necesaria para determinar la condición del estado del pavimento, y la vez nos permita establecer parámetros para la calificación de la red.

La información respectiva a la decisión de la utilización de la norma ASTM D6433 se muestra en el capítulo 2, y en los capítulos 3 y 4 se da información sobre el uso de la metodología.

7.2.2 Planeamiento del tiempo

El recurso del tiempo puede subdividirse en dos grupos, en el tiempo de ejecución de los diferentes ensayos y pruebas de campo, y en el tiempo de análisis de los datos. Ya que ambos procesos tienen diferentes limitantes.

7.2.2.1 Tiempo de ejecución de las pruebas de campo

La planeación del momento indicado para la ejecución de las pruebas de campo es de suma importancia, ya que se desea trabajar con la mejor información. Y la mejor información se obtiene en la mejor de las condiciones para el operador.

7.2.2.1.1 Auscultación visual

Para la aplicación de cualquier norma de auscultación visual, lo indicado es realizar la prueba a inicios de año, en el periodo de la estación seca. Esto obedece a que en la estación seca se observan los deterioros que ha dejado el paso del invierno, visualmente son detectados más fácilmente, ya que no se cuenta con la distorsión de la humedad y la lluvia sobre la carretera. Algunos deterioros como las grietas pueden verse minimizados por el efecto de la expansión de la superficie asfáltica, pero a pesar de esto son más fáciles de detectar que con la sección de carretera completamente humedecida. Otro aspecto importante a considerar es que el operador no puede trabajar cuando esta lloviendo, lo que limita las horas laborales a las condiciones climáticas.

Como referencia de la duración de las mediciones de la norma ASTM D6433-03 sobre una red, los rendimientos fueron de 12 unidades de evaluación por jornada laboral de 5 horas. Entre las variables a considerar es el número de operadores, y el medio de transporte, ya que la evaluación de referencia fue realizada por un operador, sin el aporte de un ayudante, y el desplazamiento de un punto a otro fue realizado a pie, trasladando el equipo.

De manera conservadora se puede utilizar el valor de 0.80km de red evaluada por cada hora de trabajo, para un sólo operador, trasladándose a pie.

7.2.2.1.2 Información de tránsito

Para la realización de la gestión es necesario tomar en cuenta el tránsito sobre las vías, ya que es un criterio de suma importancia en la determinación de la priorización de las rutas a intervenir.

Con el aporte del inventario físico de la red vial cantonal, se obtienen los valores del TPDA de los caminos, estos valores serán los empleados para determinar las clasificaciones de tránsito dentro del sistema.

7.2.2.1.2 Información estructural de las carreteras

Para establecer los diseños de las intervenciones sobre las carreteras, es necesario contar con una información mínima sobre los elementos que componen cada una de las carreteras.

Gran parte de la información se puede obtener de los datos históricos del diseño y construcción de las carreteras, o en consulta con vecinos a cada tramo de carretera. Uno de los objetivos de esta información es determinar si se le ha aplicado algún tratamiento a la vía, y el tipo de tratamiento aplicado. En casos en que se considere indispensable se deberá realizar sondeos en los tramos involucrados.

7.2.2.1 Tiempo de análisis de los datos.

El tiempo de análisis es relativo a la experiencia que posea el funcionario encargado, lo esperable es que en un máximo de 2 meses se pueda salir avante con el análisis de los datos, tanto los datos históricos que necesiten adecuaciones como la digitalización de los datos de campo.

En el caso de los planes de inversión, la duración de la realización dependerá del mecanismo usado para la determinación. Se propone utilizar hojas de cálculo del programa computacional Excel 2003, ya que es un programa ampliamente utilizado, la descripción de cómo emplear las hojas de cálculo se encuentra en el capítulo 6.

7.2.3 Recursos Humanos

El cuantificar la cantidad de personal que se empleará en cada una de las partes de la gestión nos permite determinar costos asociados y la duración de las etapas. En los trabajos de campo, en función de la seguridad vial, es necesario que como mínimo se encuentren dos personas en todo momento.

El personal encargado de trabajar y dirigir la recolección de los datos debe ser un profesional del área.

7.2.3.1 Operadores para la auscultación visual

Para la auscultación visual no es recomendable el uso de muchos operadores, ya que a pesar de que la norma ASTM D6433-03 es muy objetiva en la forma de determinar las magnitudes de los deterioros, se pueden presentar diferencias entre las calificaciones de las severidades por parte de los operadores.

Los operadores deben adquirir cierta pericia, ya que deben reconocer los deterioros en un 95% de las ocasiones, sólo son aceptables errores del 10% en las mediciones lineales, y del 20% en las mediciones de áreas. Los operadores deben ser adiestrados y calibrados antes de iniciar el proceso de auscultación.

7.2.3.2 Ayudante para la auscultación visual

En las carreteras de alto tránsito es importante contar con un ayudante que se encargue de estar vigilante del flujo vehicular. Además de que pueda tomar nota de muchos deterioros mientras el operador le dicta la extensión y severidad.

7.2.3.3 Digitadores

Los encargados de digitalizar los datos deben tener conocimientos mínimos del proceso que se realiza, con el fin de que puedan percatarse si existen datos incoherentes o mal trabajados. Esto con el fin de no entorpecer las labores de análisis de los datos y los resultados finales.

7.2.4 Presupuesto

El presupuesto para lograr realizar una gestión de pavimentos es variable dependiendo de los alcances de la misma. Bajo el argumento de una gestión práctica, la propuesta del proyecto busca llevar al mínimo posible los gastos de la realización de la gestión. Básicamente la idea es lograr realizar la gestión con el personal de la municipalidad, empleando herramientas de muy bajo costo para la realización de las pruebas de campo.

Es importante hacer notar que a menor cantidad de información histórica, mayores pueden ser las demandas presupuestarias. Por tales motivos, la recopilación de información es una de las tareas de mayor importancia en una gestión.

7.2.5 Resumen planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles

A continuación se muestra un cuadro resumen, en la cual se exponen la mayoría de las actividades para la realización de la gestión. Dicho cuadro contiene la información de la gestión realizada para la municipalidad de Belén. El formato del cuadro 7.2 se encuentra en el Apéndice C.

Cuadro 7.2: Datos del planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles para el cantón de Belén

Código	Actividad	Condición	Recurso humano	Tiempo (días)	Costo Aproximado
IR-1	Tramos Homogéneos	Realizada	Profesional		
T-1	Conteos Vehiculares	Realizada	Operador		
T-2	Datos históricos de tránsito	Realizada	Operador		
T-3	Estimaciones de Tránsito	Realizada	Profesional		
CI-1	Datos históricos Estructurales	Realizada	Operador		
CI-2	Clasificación de las estructuras de pavimento	Realizada	Profesional		
CI-3	Diseño de las intervenciones	Realizada	Profesional		
CI-4	Costos unitarios de intervenciones	Realizada	Profesional		
IC-1	Capacitación del operador para la aplicación de la norma ASTM D6433	Por realizar	Profesional /Operador	4	
IC-2	Calibración de los operadores	Por realizar	Profesional /Operador	2	
IC-3	Datos históricos de los deterioros	Por realizar	Profesional /Operador	5	
IC-4	Auscultación Visual	Por realizar	Operador/ Ayudante	20	
IC-5	Determinación de PCI condición superficial	Por realizar	Profesional	8	
AD-1	Planes de inversiones	Por realizar	Profesional	10	
AD-2	Conclusiones	Por realizar	Profesional	3	
AD-3	Recomendaciones	Por realizar	Profesional	3	

La información relevante a los códigos se encuentra en el Apéndice C, en el cuadro C.3. No se cuentan con datos referentes a los costos asociados a cada actividad, dentro de cada municipalidad los valores van a variar en función de los costos de las planillas y de la información previa con que se cuente.

Muchas de las actividades ya habían sido realizadas para la red vial del cantón de Belén, por lo que no se tienen estimaciones de duración de las mismas. Para el caso de la auscultación visual, y los indicadores de condición, las duraciones son el aproximado del trabajo realizado en este proyecto.

7.3 Ejecución de la gestión de pavimentos flexibles

La ejecución se puede delimitar en dos grandes grupos, el primero determinado por la conformación de la información y el segundo con la creación de los planes de inversión.

7.3.1 Determinación de los tramos homogéneos

A partir de los datos del inventario físico de la Red Vial Cantonal, se pueden determinar las características básicas sobre las cuales se determinan los tramos homogéneos. Es importante mencionar que los tramos deben ser verificados en campo, ya que al caminar sobre la vía se pueden notar diferencias entre secciones que se creían homogéneas.

La manera práctica de determinar los tramos homogéneos se muestran en el Apéndice A2, donde se dan los pasos a seguir en la determinación de los tramos homogéneos, y como establecer la nomenclatura de los mismos. Los tramos homogéneos empleados en este proyecto se muestran en el capítulo 3.

7.3.2 Determinación del flujo vehicular

Con la realización del inventario de la red vial cantonal, este punto debería determinarse como concluido.

En caso de que no se cuente con información, o que la misma presente incongruencias es necesario emplear metodologías que nos permita estimar el tránsito promedio diario anual (TPDA) a partir de datos de conteos parciales. Con el método de factores de expansión a partir de estaciones de conteo continuo se pueden establecer los valores de TPDA para las rutas. La metodología la describe el libro Ingeniería de Tránsito y Carreteras de Nicholas J. Garber y Hoel, L. (2005).

La información de tránsito empleada para la municipalidad de Belén fue calculada mediante la metodología de factores de expansión, tal como lo describe López, S. (2009).

Los datos de TPDA para las rutas dentro de la red se clasifican en tránsito alto, tránsito medio y tránsito bajo. La clasificación se hace mediante un análisis estadístico para determinar las categorías. A continuación se muestran los rangos propuestos para la red vial municipal del cantón de Belén.

Cuadro: 7.3: Clasificación según el TPDA

TPDA	Clasificación
Menor a 3000	Bajo
Mayor a 3000 y menor que 7000	Medio
Mayor que 18000	Alto

Fuente: López, S. (2009)

7.3.3 Determinación de los costos por intervención

El ideal del proyecto es establecer para cada tramo homogéneo los costos de las intervenciones, ya que las inversiones dependen de las solicitudes estructurales del tramo y estas varían dependiendo del tipo de estructura y el TPDA. Para el caso de una gestión de pavimentos a nivel de red, no necesariamente se va a establecer un diseño preciso para cada sección de carretera, los diseños reales se deben hacer cuando se trabaja a nivel de proyecto.

Con los datos de los diseños de las intervenciones y los costos unitarios, se pueden establecer los diferentes costos para las intervenciones requeridas en cada uno de los tramos homogéneos, a continuación se muestra la información para determinar los diseños de las estrategias de conservación y los costos unitarios.

7.3.3.1 Estrategias de conservación y rehabilitación de pavimentos

Las estrategias de conservación y rehabilitación de pavimentos son planteamientos de diseños a emplear en las intervenciones, los cuales buscan devolver las capacidades de vialidad perdidas a lo largo del tiempo por los tramos de carretera. Los diseños planteados son soluciones generales a nivel estratégico, en el caso de nivel de proyecto es necesario realizar ajustes para tener un diseño óptimo.

El procedimiento empleado para establecer los diseños se relaciona con el número estructural (SN), el cual describe la condición de cada uno de los tramos homogéneos. Es necesario establecer una relación entre el número estructural (SN) y el estado de la vía asociado a una de las clasificaciones de condición del valor PCI. A continuación se propone una relación entre el PCI basado en auscultación visual y el número estructural (SN).

Cuadro 7.4: condición del pavimento según el número estructural (SN)

Número estructural (SN)	PCI condición superficial	Condición del pavimento	Tipo de intervención
6	100-86	Excelente	Preservación
5	85-71	Muy bueno	Preservación
4	70-56	Bueno	Rehabilitación menor
3	55-41	Malo	Rehabilitación mayor
2	40-26	Pobre	Reconstrucción total
1	25-0	Muy pobre	Reconstrucción total

7.3.3.1.1 Preservación

El tratamiento de preservación consiste en una sobrecapa no estructural de 4cm, la cual se aplicara a los pavimentos que presenten una condición de PCI igual o mayor que 71.

Como metodología de preservación se pueden realizar varios procedimientos, tales como el sellado de grietas entre otros. Aquí sólo se propone la sobrecarpeta no estructural, queda al razonamiento del encargado de la red el incluir más metodologías de tratamientos preventivos, y las bases técnicas para la optimización de su aplicación.

7.3.3.1.2 Rehabilitación

Consiste en aplicar sobre capas de asfalto sobre la estructura de pavimento existente, las intervenciones recomendadas para los tramos homogéneos en condiciones regulares, ya que este procedimiento no mejora considerablemente la capacidad estructural de la carretera.

Para los tramos considerados buenos se aplica una rehabilitación menor, esta se aplica a los tramos cuyo valor de PCI que se encuentran entre 70 y 56, por lo que se le da un valor de SN=4. Para los tramos considerados malos, con PCI entre 55 y 41 se aplica una rehabilitación mayor, a la cual se le asigna un SN=3.

Con los datos del número estructural mediante la metodología AASHTO 93 se aplican las siguientes ecuaciones:

$$SN_{requerido} = SN_{existente} + h_{CA} \cdot a_{CA} \quad (\text{Ecuación 7.1})$$

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_o + 9.36 \cdot \log_{10} (SN_{req} + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_{req} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log_{10} M_R - 8.07 \quad (\text{Ecuación 7.2})$$

Donde:

$SN_{requerido}$: Número estructural requerido

$SN_{existente}$: Número estructural existente, dependiente de la rehabilitación (SN=3, SN=4)

W_{18} : Número de cargas de ejes equivalentes, ESALs, según el tránsito vehicular

h_{CA} : Espesor de la carpeta asfáltica

a_{CA} : Resistencia relativa del material de la carpeta asfáltica, $a_{CA}=0.44$

Z_R : Desviación estándar normal, para un nivel de confianza de 85%, $Z_R=-1.037$

S_o : Desviación estándar de todas las variables, $S_o=0.4$

ΔPSI : Cambio de serviciabilidad, $\Delta PSI=4.2-1.7=2.5$

M_R : Módulo resiliente de la subrasante, $M_R=4350$ psi

Los resultados para los diferentes tipos de tránsito encontrados dentro de la red vial del cantón de Belén se presentan a continuación:

Cuadro 7.5: Espesores de carpeta asfáltica para rehabilitación, diseño de 20 años

ESALs	TPDA	SN _{requerido}	Rehabilitación menor			Rehabilitación mayor		
			SN _{existente}	CA (cm)	SN _{real}	SN _{existente}	CA (cm)	SN _{real}
1 550 000	3000	3.93	4.00	4.00	4.69	3.00	6.00	4.03
3 615 000	7000	4.41	4.00	4.00	4.69	3.00	8.50	4.47
9 300 000	18000	5.00	4.00	6.50	5.13	3.00	12.00	5.08

Fuente: López,S. (2009)

7.3.3.1.3 Reconstrucción total

La reconstrucción total aplica para los tramos de carretera con PCI inferior a 40, lo cual indica que la estructura de pavimento está severamente deteriorada y requiere ser reemplazado el paquete estructural en su totalidad.

No se toma en cuenta el tratamiento de reconstrucción menor, ya que los costos de la misma son muy similares a los que se obtienen en las reconstrucciones totales, puesto que uno de los factores que marca significativamente el costo de las intervenciones es la carpeta asfáltica. Aunado a esto, es necesario tener la información de las capas inferiores de la estructura del pavimento, lo que implica sondeos y ensayos de deflectometría, dejando de lado la practicidad que busca este proyecto.

Con la información de tránsito de la red vial municipal y las características de las subrasantes de la zona se deben establecer diseños que satisfagan las solicitudes. Los diseños pueden ser calculados mediante el uso de catálogos de diseño que se adapten a las condiciones o bien empleando la metodología AASHTO 93

Los diseños se realizados para la municipalidad de Belén se hicieron mediante la metodología AASHTO 93 para 20 años, empleando la ecuación 7.2, y aplicando los valores de desviación estándar normal para un nivel de confianza de 85% de $Z_R = -1.037$,

desviación estándar de todas las variables de $S_0=0.4$ y un cambio de serviciabilidad, $\Delta PSI=2.5$. Se considera una base granular con un módulo de 30 000psi, la sub-base con un módulo de 15 000psi y la subrasante con el valor típico de la zona 4350, además se empleará una base estabilizada BE-35, con las características establecidas por el CR-77 .los diseños se obtuvieron por medio de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + a_3 \cdot h_3 + \dots + a_n \cdot h_n \quad (\text{Ecuación 7.3})$$

A continuación se muestran los diseños propuestos para la reconstrucción total sobre la red vial municipal de Belén:

Cuadro 7.6: Diseños propuestos para la reconstrucción total.

Tipo de tránsito	Carpeta Asfáltica			Base Estabilizada			Sub-base		
	Espesor (cm)	Mr (psi)	a	Espesor (cm)	Mr (psi)	a	Espesor (cm)	Mr (psi)	a
Bajo	8	450000	0.44	28	620000	0.17	20	15000	0.109
Medio	11	450000	0.44	28	620000	0.17	20	15000	0.109
Alto	14	450000	0.44	28	620000	0.17	20	15000	0.109

Fuente: López,S(2009)

7.3.3.1.4 Análisis de fatiga

La metodología de diseño AASHTO 93 no asegura que el paquete estructural resista la fatiga, por lo que es necesario realizar análisis por fatiga para corroborar que los diseños sean correctos, esto para los puntos mas susceptibles a la falla, ya sea por ruptura (fibra inferior de la carpeta asfáltica o de la base estabilizada) o por deformación permanente (límite inferior del material granular en contacto con la subrasante). Por lo tanto es necesario establecer tres análisis.

Falla en la fibra inferior de la carpeta asfáltica:

Se da una ruptura en la fibra inferior de la carpeta asfáltica porque las deformaciones horizontales producto de la tensión superan la capacidad de la carpeta durante su vida útil. Es necesario realizar un análisis que determina la cantidad de ESALs admisibles para el diseño dado, y determinar si cumple nuestro diseño a 20 años.

Para la determinar el número de repeticiones máximas de carga que puede resistir la carpeta asfáltica se utiliza la siguiente ecuación:

$$N_f = 0.0796 \cdot (\varepsilon_t)^{-3.291} \cdot E^{-0.854} \quad (\text{Ecuación 7.4})$$

Donde:

N_f : Numero de repeticiones máximas admisibles (ESALs) para evitar la deformación horizontal permanente.

ε_t : Deformación horizontal de la fibra inferior de la carpeta asfáltica

E: Módulo de resiliencia

Falla en la fibra inferior de la base estabilizada:

En el caso de las carreteras construidas con bases estabilizadas, en el paquete estructural la carpeta asfáltica y la base estabilizada tienden a comportarse como un solo elemento en relación a los esfuerzos en tensión, por lo que un punto crítico ocurre en la fibra inferior de la base estabilizada.

La base estabilizada falla cuando el esfuerzo aplicado al pavimento es superior que el esfuerzo de ruptura de la base. Para lograr determinar este esfuerzo teórico de la base estabilizada se hace uso del gráfico propuesto por la Asociación de Concreto Portland (PCA), en la cual se establece una relación entre el número de pasadas admisibles según la relación el esfuerzo aplicado (σ_{aplicado}) con respecto al de ruptura (σ_{ruptura}).

La base estabilizada utilizada es la BE-35, con un esfuerzo de ruptura igual a 98.48psi, tomando en cuenta una resistencia a la compresión a los 28 días igual a 30 Kg/cm² (426.7psi).

Falla en la fibra superior de la subrasante:

Producto de las deformaciones verticales a lo largo de la vida útil de una carretera se produce una falla en la fibra superior de la subrasante. Para establecer el número de repeticiones de carga admisibles, se emplea la siguiente ecuación:

$$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \cdot (\varepsilon_c)^{-4.477} \quad \text{(Ecuación 7.5)}$$

Donde:

N_f : Numero de repeticiones máximas admisibles (ESALs) para evitar la deformación horizontal permanente.

ε_c : Deformación vertical de la fibra superior de la subrasante

7.3.3.2 Costos unitarios

Para determinar los costos unitarios es necesario establecer una unidad de medida y ser consistente con la misma a lo largo de toda la gestión, la unidad en que se trabaja es en m^2 .

Los costos unitarios dependen de las condiciones de mercado, por lo que los datos de referencia pueden ser tomados de las últimas contrataciones realizadas por la municipalidad, o por contrataciones realizadas por municipalidades vecinas, haciendo un consenso de las variaciones de los precios. Es importante tomar en cuenta el costo en que incurriría la municipalidad si ella fuera la que realizara las labores, ya que por lo general aunque implique altos valores iniciales por el costo de la adquisición de la maquinaria, en el largo plazo se vería una disminución en los gastos, aparte de los activos que se adjudica la institución.

Para el caso de los costos unitarios de la municipalidad de Belén, los datos se muestran en el capítulo 5, en el apartado 5.5, donde se explica la forma en como fueron calculados los mismos.

7.3.4 Determinación de los indicadores de condición superficial

La metodología empleada es la norma ASTM D6433-03, la cual se encuentra descrita en el capítulo 2, la forma de empleo de la norma sobre la red vial municipal del cantón de Belén se describe en el capítulo 3, y el cálculo de los indicadores de condición se encuentran descritos en el capítulo 4.

7.3.5 Resumen de la conformación de la información

La información procesada es claramente uno de los activos más importantes de una gestión de pavimentos, el manejo de la misma es fundamental en la determinación de los planes de inversión. A continuación se presenta un cuadro de revisión de las tareas realizadas para la conformación de la información, la plantilla de la lista de chequeo se muestra en el Apéndice C.

Cuadro 7.7: Cuadro de revisión del cumplimiento de las actividades cantón de Belén

Código	Actividad	Avance	Observaciones
IR-1	Tramos Homogéneos	100%	Los tramos homogéneos fueron realizados en base a deflectometría por López, S.(2009)
T-3	Estimaciones de Tránsito	100%	Realizadas por López, S.(2009)
CI-5	Costos unitarios de intervenciones	100%	Realizadas por López, S.(2009)
CI-4	Diseño de las intervenciones	100%	No se tomaron en cuenta los diseños para reconstrucción menor,
IC-5	Determinación de PCI condición superficial	100%	Realizado por Luis Carlos Zamora metodología ASTM D6433
IC-4	Auscultación Visual	100%	Realizado por Luis Carlos Zamora en noviembre 2010

Con la información de tránsito, y de condición superficial de cada tramo homogéneo, se procede a establecer un cuadro resumen, el cual es la base de la conformación de los planes de inversión. A continuación se muestra los resultados para la red vial cantonal de la municipalidad de Belén.

Cuadro 7.8: Condición superficial y tránsito para los tramos homogéneos de la red vial municipal del cantón de Belén

ID	RUTA	TRÁNSITO	PCI _A
1	4-07-006	Medio	84
2	4-07-001	Alto	50
3	4-07-001	Alto	72
4	4-07-001	Alto	92
5	4-07-001	Alto	100
6	4-07-001	Alto	28
7	4-07-005	Medio	61
8	4-07-005	Medio	80
9	4-07-024	Bajo	44
10	4-07-024	Bajo	25
11	4-07-024	Bajo	47
12	4-07-034	Medio	69
13	4-07-060	Medio	54
14	4-07-060	Medio	84
15	4-07-063	Medio	98
16	4-07-094	Medio	60
17	4-07-200	Alto	65
18	4-07-200	Alto	45
19	4-07-200	Alto	78
20	4-07-023	Bajo	92
21	4-07-027	Alto	63
22	4-07-027	Alto	87
23	4-07-040	Bajo	61
24	4-07-041	Bajo	93
25	4-07-061	Bajo	85
26	4-07-062	Bajo	61
27	4-07-065	Bajo	100
28	4-07-068	Bajo	65
29	4-07-106	Bajo	88
30	4-07-107	Bajo	20
31	4-07-107	Bajo	93
32	4-07-109	Bajo	95
33	4-07-111	Bajo	44
34	4-07-112	Bajo	93
35	4-07-112	Bajo	100
36	4-07-112	Bajo	98
37	4-07-112	Bajo	96
38	4-07-119	Bajo	99
39	4-07-030	Bajo	98
40	4-07-002	Alto	52

Cuadro 7.8: Condición superficial y tránsito para los tramos homogéneos de la red vial municipal del cantón de Belén (Continuación)

ID	RUTA	TRÁNSITO	PCI _A
41	4-07-059	Alto	50
42	4-07-064	Medio	31
43	4-07-064	Alto	55
44	4-07-092	Alto	91
45	4-07-092	Alto	75
46	4-07-127	Alto	95
47	4-07-127	Alto	70
48	4-07-127	Alto	71
49	4-07-119	Bajo	96
50	4-07-111	Bajo	30
51	4-07-062	Bajo	51

7.3.6 Realización de los planes de inversión

Con toda la información relativa a tránsito, costos de inversión y condición superficial de los tramos homogéneos se realizan los planes de inversión. Existen varios programas computacionales que se pueden emplear para la realización de los planes de inversión, en el caso de la metodología práctica de inversión se empleará la hoja de cálculo del programa Excel 2003 de la compañía Microsoft.

En el capítulo 6 se muestra claramente el procedimiento para la realización de los planes de inversión empleando las hojas de cálculo. Con los datos de los años en que deben ser intervenidos los tramos homogéneos y el tipo de intervención, se muestra el siguiente cuadro resumen.

Cuadro 7.9: Resumen de las inversiones sobre el cantón de Belén, escenario 2:
presupuesto de US\$ 720.00

ID	Código de carretera	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención
1	4-07-006	7	Reconstrucción total	13	Rehabilitación menor				
2	4-07-001	4	Reconstrucción total	11	Rehabilitación menor	16	Preservación	20	Preservación
3	4-07-001	15	Reconstrucción total	19	Preservación				
4	4-07-001	2	Rehabilitación menor	10	Rehabilitación menor	15	Preservación	20	Preservación
5	4-07-001	6	Rehabilitación menor	12	Rehabilitación menor	16	Preservación	20	Preservación
6	4-07-001	1	Reconstrucción total	9	Rehabilitación menor	14	Preservación	19	Preservación
7	4-07-005	1	Rehabilitación mayor	9	Rehabilitación menor	17	Rehabilitación menor		
8	4-07-005	6	Reconstrucción total	12	Rehabilitación menor				
9	4-07-024	2	Reconstrucción total	8	Rehabilitación menor	16	Rehabilitación menor	20	Preservación
10	4-07-024	7	Reconstrucción total	13	Rehabilitación menor	19	Rehabilitación menor		
11	4-07-024	6	Reconstrucción total	14	Rehabilitación menor	19	Preservación		
12	4-07-034	2	Rehabilitación mayor	9	Rehabilitación menor	17	Rehabilitación menor	20	Preservación
13	4-07-060	4	Reconstrucción total	11	Rehabilitación menor	19	Rehabilitación menor		
14	4-07-060	10	Reconstrucción total	16	Rehabilitación menor	20	Preservación		
15	4-07-063	3	Rehabilitación menor	10	Rehabilitación menor	16	Rehabilitación menor	20	Preservación
16	4-07-094	5	Reconstrucción total	11	Rehabilitación menor	19	Rehabilitación menor		
17	4-07-200	2	Rehabilitación mayor	9	Rehabilitación menor	13	Preservación		
18	4-07-200	12	Reconstrucción total						
19	4-07-200	1	Rehabilitación menor	7	Rehabilitación menor	12	Preservación		
20	4-07-023	3	Rehabilitación menor	11	Rehabilitación menor				
21	4-07-027	13	Reconstrucción total	18	Preservación				
22	4-07-027	2	Rehabilitación menor	10	Rehabilitación menor	18	Rehabilitación menor		
23	4-07-040	3	Reconstrucción total	12	Rehabilitación menor	18	Preservación		
24	4-07-041	3	Rehabilitación menor	12	Rehabilitación menor	20	Rehabilitación menor		
25	4-07-061	3	Rehabilitación menor	12	Rehabilitación menor	20	Rehabilitación menor		
26	4-07-062	3	Reconstrucción total	10	Rehabilitación menor	19	Rehabilitación menor		
27	4-07-065	5	Rehabilitación menor	11	Rehabilitación menor	20	Rehabilitación mayor		

Cuadro 7.9: Resumen de las inversiones sobre el cantón de Belén, escenario 2:
presupuesto de US\$ 720.00 (continuación)

ID	Código de carretera	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención
28	4-07-068	1	Rehabilitación mayor	9	Rehabilitación menor	18	Rehabilitación menor		
29	4-07-106	4	Rehabilitación menor	13	Rehabilitación menor	18	Preservación		
30	4-07-107	9	Reconstrucción total	17	Rehabilitación menor				
31	4-07-107	4	Rehabilitación menor	11	Rehabilitación menor				
32	4-07-109	4	Rehabilitación menor	11	Rehabilitación menor				
33	4-07-111	4	Reconstrucción total	12	Rehabilitación menor	18	Preservación		
34	4-07-112	3	Rehabilitación menor	15	Rehabilitación mayor	19	Preservación		
35	4-07-112	8	Rehabilitación menor	13	Preservación	18	Preservación		
36	4-07-112	5	Rehabilitación menor	19	Reconstrucción total				
37	4-07-112	6	Rehabilitación menor	15	Rehabilitación menor	20	Preservación		
38	4-07-119	7	Rehabilitación menor	16	Rehabilitación menor				
39	4-07-030	9	Rehabilitación mayor	18	Rehabilitación menor				
40	4-07-002	11	Reconstrucción total	15	Preservación	19	Preservación		
41	4-07-059	8	Reconstrucción total	12	Preservación	17	Rehabilitación menor	20	Preservación
42	4-07-064	14	Reconstrucción total	18	Preservación				
43	4-07-064	5	Reconstrucción total	11	Rehabilitación menor	15	Preservación	19	Preservación
44	4-07-092	1	Rehabilitación menor	6	Rehabilitación menor	11	Rehabilitación menor	15	Preservación
45	4-07-092	3	Rehabilitación mayor	10	Rehabilitación menor	14	Preservación	18	Preservación
46	4-07-127	2	Rehabilitación menor	7	Rehabilitación menor	12	Rehabilitación menor	20	Rehabilitación mayor
47	4-07-127	13	Reconstrucción total	18	Rehabilitación menor				
48	4-07-127	3	Rehabilitación mayor	10	Rehabilitación menor	14	Preservación	18	Preservación
49	4-07-119	7	Rehabilitación mayor	15	Rehabilitación menor	20	Preservación		
50	4-07-111	1	Reconstrucción total	9	Rehabilitación menor	19	Rehabilitación mayor		
51	4-07-062	5	Reconstrucción total	18	Reconstrucción total				

7.3.7 Implementación de los planes de inversión

Con la realización de los planes de inversión, la red vial municipal se debe ir mejorando según el lineamiento que se ha establecido, es decir, los planes de inversión deben servir como guía de trabajo sobre la red vial municipal para los siguientes 20 años.

Es trascendental el cumplir metódicamente con los planes de inversión, si requieren obtener los resultados propuestos. En el caso de emergencias producto de desastres naturales, se deberá modificar nuevamente los planes de inversión según las necesidades municipales.

7.4 Control de la gestión de pavimentos flexibles

Luego de los procesos realizados es muy importante mantener un control, tanto en el proceso de realización de la gestión, como la mejora continua año con año de la misma. El control lo podemos definir en dos grupos, el primero con el desarrollo de la gestión, y el segundo con el cumplimiento de los planes de inversión y la alimentación de información para la red.

7.4.1 Control de la realización gestión de pavimentos flexibles

Durante el proceso de creación de la gestión de pavimentos flexibles para la red vial municipal, se deben tener indicadores de avance que nos puedan ayudar a comparar el avance real contra el avance esperado, esto con el fin de mantenernos alertas sobre las tareas fundamentales del proyecto.

7.4.2 Control del cumplimiento de las inversiones

Ya implementada la gestión de pavimentos flexibles, es indispensable que cada año se revisen los avances en relación con las propuesta planteada por los planes de inversión, esto con el fin de determinar si el avance es igual al esperado, y en el caso de haber alguna variación corregirla o implementarla, haciendo variar los planes de inversión.

Cada año es necesario realizar nuevas estimaciones del indicador de condición superficial PCI, con el fin de actualizar la condición de la red, determinar si realmente se

están estableciendo mejoras, y si el modelo planteado se aproxima a las condiciones reales.

La realización por varios años de la norma ASTM D6433 nos permitiría obtener curvas de deterioros reales de los pavimentos flexibles de la red vial municipal, curvas que se deben implementar en los datos a tomar en cuenta en la realización de los planes de inversión. Esto con el fin de tener una mejora continua en la gestión.

7.5 Cierre de la gestión de pavimentos flexibles

Dentro del proceso de la realización de una gestión de pavimentos flexibles, no se puede dar por terminada la labor, ya que esta conlleva el trabajar por una mejora sostenida en el tiempo, a través de tareas metódicas. Entre las más importantes la aplicación de la norma ASTM D6433, y la revisión del modelo de inversiones.

Pero podemos hablar de una culminación de desarrollo de la gestión cuando logramos establecer un plan de inversiones adecuado a las necesidades de la red, basado en un presupuesto de acorde a las posibilidades del catón y que permita el mejoramiento de la condición de todo el sistema. Al final de esta etapa se contará con un plan de inversiones definidos y una serie de recomendaciones y conclusiones sobre la red.

Los productos de la gestión deben quedar debidamente detallados y por escrito en un informe final, el cual debe ser entregado a todos los involucrados directos, y poner a disposición de todos los involucrados indirectos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- La gestión de pavimentos es una herramienta determinante en la administración de una red de carreteras cantonales, lo que implica repercusiones importantes desde el punto de vista económico, social y cultural del cantón. Debe establecerse como prioridad de cualquier gobierno local el tener una administración efectiva del sistema vial.
- La realización de una gestión de pavimentos flexibles a partir de inventarios de condición superficial es una herramienta muy poderosa, que permite a las municipalidades administrar y regular las inversiones. La metodología propuesta permite al administrador tener una noción clara del estado de las vías, además de plantearle una solución al mejoramiento de la red en un lapso de tiempo determinado.
- La metodología propuesta para la elaboración de una gestión de pavimentos flexibles presenta una solución alternativa y viable para muchas municipalidades dentro del territorio nacional. Está planteada para ser realizada a un bajo costo y no emplea equipo sofisticado.
- Información fidedigna es la base de una buena gestión de pavimentos, en la medida en que las organizaciones municipales y estatales se encarguen de una obtención veraz y la correcta administración de la misma, se logrará realizar trabajos de administración de sistemas de carreteras cada vez más eficientes.

- La información obtenida mediante el uso de la norma ASTM D6433 es capaz de mostrar las condiciones de una red, ya que aporta datos de la condición superficial y a la vez infiere datos de la condición estructural, en ambos casos mediante la clasificación y calificación de los deterioros superficiales de las vías. A nivel de proyecto hay que considerar la efectividad que presente la auscultación visual con la determinación de las condiciones estructurales.
- La recolección de información mediante la auscultación visual en carreteras, es una herramienta fácil de instaurar en cualquier municipalidad, ya que presenta un costo muy bajo de equipo, además de no requerir personal altamente calificado.
- La metodología de auscultación visual que más se apega a las necesidades de la gestión de pavimentos es la norma ASTM D6433-03, ya que esta comprendida por un amplio catálogo de deterioros, presenta una forma objetiva de clasificación, calificación y medición de los deterioros en carretera. Aunado a lo anterior la norma logra establecer una relación entre los deterioros y el estado o condición de la carretera.
- La metodología ASTM D6433-03 puede verse distorsionada al aplicar trabajos que no satisfacen las necesidades de la carretera, los cuales mejoren la condición superficial pero no mejoren las necesidades estructurales. La metodología de la norma está planteada para sistemas de carreteras en los cuales cada intervención que se realiza sobre la vía va de acorde con las necesidades de la misma, es decir, no se le aplican una sobrecarpeta asfáltica a un tramo de carretera que necesita reconstrucción total. En el caso de Costa Rica, por diversas disposiciones, es de uso común estas prácticas, lo cual incidirá en los resultados de la gestión.
- Los modelos propuestos para realizar los planes de inversión son completamente dependientes de las curvas de deterioro que se atribuyen a cada uno. Las curvas de deterioro empleadas a pesar de tener una base teórica, no necesariamente aplican en un 100% a las necesidades de la evaluación. Por lo tanto es necesaria la construcción de curvas de deterioro autóctonas para los pavimentos flexibles nacionales.

- La hoja de priorización elaborada en el programa Excel, es una herramienta con limitaciones y restricciones, la misma no debe ser utilizada de manera irresponsable, con el objetivo de justificar las malas decisiones de una gestión municipal. Es necesario que el usuario discierna la aplicabilidad de esta herramienta y maneje los conceptos básicos de la gestión de pavimentos.
- El empleo de las hojas de cálculo propuestas para la determinación de los planes de inversión sobre la red, no proveen resultados óptimos en la realización de los planes de inversión, pero da un marco de referencia que permite visualizar el comportamiento de la red con datos aceptables a costos muy bajos. A pesar de no tratarse de un programa computacional diseñado específicamente para el tema, las soluciones brindadas son una herramienta poderosa en la realización de una gestión de pavimentos flexibles.
- Los planes de inversión que se puedan derivar de las gestiones de pavimentos flexibles son completamente inútiles si no poseen el apoyo institucional para su realización. Es necesario que los planteamientos técnicos sean los principales gobernantes ante las decisiones políticas en la administración municipal de sistemas de carreteras.

8.2 Recomendaciones

- La metodología práctica para la realización de gestión de pavimentos flexibles a partir de datos de condición superficial esta enfocada a las municipalidades que por falta de recursos económicos y capacidad técnica no se encuentran realizando ninguna metodología de gestión de pavimentos. El objetivo de este proyecto no es sustituir las metodologías basadas en datos de capacidad estructural y regularidad, lo que se busca es mostrar una alternativa práctica para muchas municipalidades.
- La metodología práctica para realizar una gestión de pavimentos flexibles a nivel de red vial municipal más que un estándar de procedimientos a seguir se plantea como una ayuda en el proceso de construcción de la gestión vial de una municipalidad. Cada administrador deberá incluir las características del cantón que hagan del proceso un proyecto satisfactorio con las necesidades del cantón.
- La metodología propuesta no pretende ser la mejor solución a la administración de sistemas de pavimentos. El uso de un indicador basado exclusivamente en datos de auscultación visual no logra abarcar todas las características que influyen en el correcto funcionamiento de una carretera. El proyecto trata de aportar una alternativa para los entes encargados de sistemas de carreteras que no están realizando ningún tipo de gestión.
- Tal y como se observa en el anexo B.1, las curvas de deterioro empleadas presentan grandes divergencias de criterio. Es de suma importancia para la implementación de la gestión de pavimentos a nivel de país, el que se pueda conocer el comportamiento de nuestras carreteras con el paso del tiempo, por lo que se recomienda implementar y ampliar los esfuerzos en la obtención de datos de condición superficial de manera eficiente y periódica.
- Dentro de la gestión realizada para la municipalidad del Cantón de Belén, no se incluyeron los espaldones ni el alcantarillado. Pero es necesario si hablamos de mejorar la vialidad de una carretera que se tomen en cuenta estos factores. En varios tramos de carretera se notaron desniveles muy altos entre la calzada y el espaldón, lo que puede propiciar accidentes. Además se encontraron zonas donde no existía un drenaje adecuado, el cual atentaba con socavar la estructura del

pavimento, así como zonas donde se ausentaban los drenajes. La gestión de pavimentos flexibles tiene como objetivo el mejoramiento del sistema de carreteras, tomando como base la estructura del pavimento, pero es necesario no olvidar los elementos que propician el buen funcionamiento de la misma.

- La realización periódica de la norma ASTM D6433 de auscultación visual nos permite crear curvas de deterioro del pavimento. Las cuales nos ayudan a comprender el comportamiento del pavimento en función del paso del tiempo. Es importante que los departamentos de ingeniería municipal tengan modelos autóctonos para describir el deterioro de sus carreteras, ya que los modelos se pueden ver afectados por múltiples variables y tener poca efectividad al ser aplicados en diferentes zonas.
- Dentro de la administración de carreteras es de suma importancia contar con un catálogo de deterioros que logre satisfacer a cabalidad las necesidades de los usuarios. Es necesario que se desarrolle en Costa Rica un catálogo de deterioros de uso homogéneo en las municipalidades, y que defina la interacción de los deterioros con la condición de la carretera.
- En Costa Rica la metodología más empleada para la evaluación de carreteras es la VIZIR, la cual presenta limitaciones y carencias ante la norma ASTM D6433-03 en función de la gestión de pavimentos. Mientras no se tenga una metodología de auscultación visual oficial, es importante que los administradores de sistemas de carreteras cantonales tomen decisiones basados en argumentos técnicos, sobre cual es la metodología más conveniente para la toma de decisiones en torno a la red.
- Los indicadores usados en la gestión remiten exclusivamente a criterios técnicos de las carreteras, ya que la gestión planteada se preocupa por la calidad de las vías como un total, visualizando las mejores acciones en función de la mayor cantidad de usuarios. Es importante notar que a partir de este planteamiento existen carreteras con tránsito bajo, que no son consideradas de alta importancia, las cuales podrían pasar grandes lapsos de tiempo sin recibir ningún tipo de intervención, ya que las intervenciones en la misma no representan una acción coherente con el plan de inversiones. Dado que las carreteras influyen directamente

en el desarrollo social, económico y cultural de una región, el ideal es que se establezcan planes de acciones que no dejen por fuera a las personas de escasos recursos, a pesar de que esto no sea lo más rentable a nivel financiero para la municipalidad.

- La aplicación de sobrecarpetas no estructurales en un sistema de carreteras debería ser un tratamiento exclusivo de las vías en estado muy bueno. El uso injustificado de las sobrecarpetas no estructurales crea un espejismo sobre las valoraciones realizadas mediante la norma ASTM D6433. La creación de malos datos conlleva a la obtención de resultados ficticios en los planes de inversión. Desde el punto de vista económico, las sobrecarpetas no estructurales representan inversiones de bajo costo inicial, pero al ser aplicadas a carreteras con necesidades más amplias se convierten en gastos que no dan solución, teniendo que invertir capital nuevamente en un lapso de tiempo muy corto, lo que implica mayores costos.
- Dentro del trabajo de auscultación visual realizado en la municipalidad de Belén se logró observar el empleo de sobrecarpetas no estructurales como única alternativa de mantenimiento, sin importar los requerimientos del pavimento, lo cual va en completa divergencia con las políticas y conceptos de gestión de pavimentos. En el año 2009 fue presentado el proyecto "Sistema piloto de administración de pavimentos en la municipalidad de Belén, Heredia." por la Ing. Sharline López a la municipalidad de Belén, el cual presenta una propuesta muy eficiente de manejo de los pavimentos, la que actualmente no está siendo empleada por parte de la municipalidad. Es muy importante que los esfuerzos realizados en materia de investigación sean puestos en práctica, ya que representan una herramienta fundamental en la administración del sistema de carreteras, lo cual repercutirá en el bolsillo de todos los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Amador Luis, Mrawira Donath. (January 2008) Performance Modeling for Asset Management: What to when you only have two data points; University of New Brunswick.
- Amador, L ; Mrawira, D. ; Zhong M.(2007). Aplicando un SIG en Transportes para Desarrollar un Modelo de Desempeño de Infraestructura Vial y un Sistema de Planificación a Largo Plazo para una Red de Carreteras. University of New Brunswick, New Brunswick, Canadá.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993) AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C. : AASHTO.
- American Society Test Materials (2003). ASTM D6433-03 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- Autret, P. ; Brousse, J. (1996). "VIZIR" Techniques et methodes des laboratoires des ponts chaussées: Ponts et Chaussées. Paris, Francia: ITS.
- Ávila, T. (2009). Análisis comparativo de los catálogos de deterioros existentes. Trabajo presentado en el Seminario Lanammme Universidad de Costa Rica, Noviembre, San José.
- Brenes Fernández, A. (2007).Desarrollo de indicadores para pavimentos flexibles en Costa Rica. Proyecto de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cerón Bermúdez, V. (2006). Evaluación y comparación de metodologías VIZIR PCI sobre el tramo de vía en pavimento flexible y rígido de la vía: Museo Quimbaya - CRQ Armenia Quindo (PR 00+000 – PR 02+600), Ingeniería de Pavimentos (INGEPAV), Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Extraído el día 29 de agosto, 2010, de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/747/1/vivianaceronbermudez.2006.pdf>
- Chamoun, Y. (2000). Administración Profesional de proyectos: La Guía. México: McGraw-Hill Iberoamericana.

- Costa Rica. Municipalidad del Cantón de Belén, Heredia. (s.f.) Historia del Cantón de Belén. Extraído el 6 de octubre, 2010, de http://www.belen.go.cr/index.php?optionh=com_content&view=article&id=3&Itemid=101
- Colombia. Instituto Nacional de Vías (2002). Guía Metodológica para el diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras. Bogotá: El Instituto.
- Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica (2002). M.5.1 Catalogo de deterioros de pavimentos flexibles. Vol. 11. Extraído el día 29 de agosto, 2010, de: <http://www.cedex.es/ceta/dircaibea/m51deterioropaviflexiblesweb.pdf>
- Costa Rica. Instituto Nacional de Estadística y Censos (2008). Anuario estadístico del 2008 Extraído el 11 de octubre, 2010, de: <http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx>
- Garber, N. J. ; Hoel, L. A. (2005) Ingeniería de tránsito y carreteras. 3er Edición. México: Edit. Thomson.
- Hajj, E. Y. ; Loria, L. ; Sebaaly, P. E. (2007). Review and improvement of current RTC pavement condition prediction models. University of Nevada Reno, Nevada, United States.
- Hass, R. ; Hudson, W.R. ; Zaniewski, J. (1993). Modern Pavement Management. R.E. Florida: Krieger Publishing Company.
- López Ramírez, S. (2009). Sistema piloto de administración de pavimentos en la municipalidad de Belén, Heredia. Proyecto de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- National Academy of Sciences (1993) Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project. Extraído el día 30 de agosto, 2010, de: <http://www.tfhr.gov/pavement/ltp/reports/03031/03031.pdf>

North Pavement Management Association. (s.f.). Pavement surface condition field rating manual for asphalt Pavements. Extraído el día 29 de agosto, 2010, de: <http://wadot.wa.gov/NR/rdonlyres/4FE2F96D-BFED-4484-812ED5164EB34F5/0/asphaltPavementBook.pdf>

Solminihaç, H. (1998) Gestión de Infraestructura vial. Chile : Edit. Universidad Católica de Chile.

United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration (2003) *Distress identification manual*. Extraído el día 30 de agosto, 2010, de: <http://www.tfhrç.gov/pavement/ltp/reports/03031/03031.pdf>

United States. Department of Transportation (DOT) (2002). Flexible Pavements Distress Identification Manual. Carson : DOT.

Vásquez Varela, L. R. (2002). Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Ingeniería de pavimentos (INGEPAV) Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Extraído el día 15 de agosto, 2010, de: <http://www.camineros.com/docs/cam036.pdf>

APÉNDICE A.2

DETERMINACIÓN DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS

La escogencia de tramos homogéneos dentro de una red se realiza comenzando desde la sección más grande, particionando hasta llegar a tramos con dimensiones que puedan ser manejables dentro de las capacidades de la municipalidad, por ejemplo; un tramo de 10 km de longitud puede ser excesivamente grande en función del control y el mantenimiento, y un tramo de 100m puede ser ineficiente a la hora de asignar trabajos, ya que el movimiento de la maquinaria y las cuadrillas de trabajo implica grandes gastos, además del tiempo invertido en el planeamiento y logística. Por tales motivos es indispensable que se conozcan las capacidades de la municipalidad antes de establecer los tramos homogéneos.

Como primer paso es necesario dividir la red en carreteras, diferenciarlas por la nomenclatura establecida en la municipalidad, si no se cuenta con ella, se puede emplear la siguiente metodología, primero se coloca el número de la provincia, luego el número del cantón, luego el número del distrito y finalmente el número asignado a la calle. El número del distrito puede suprimirse en caso de tener una red pequeña, o en el caso de que sean muy pocos los distritos.

Como ejemplo emplearemos la red vial municipal de Belén, esta red se encuentra ubicada en la provincia de Heredia, la cual se representa por el número 4, el cantón de Belén es el número 07 de la provincia, como la red es pequeña no se coloca el número de distrito, por lo cual seguidamente se coloca el número de la carretera, como ejemplo utilizaremos la calle nombrada arbolito la cual tiene el número 001. Como resultado tenemos la siguiente signatura para la calle arbolito 4-07-001



Figura A2.1: Calle 4-07-001

El segundo paso es clasificarlas en calles primarias, secundarias y terciaria, según el volumen de tránsito.

Continuando con el ejemplo se puede determinar la calle 4-07-001 como primaria, ya que presenta un importante flujo vehicular en relación a los volúmenes de la zona, ya que tiene un tránsito promedio diario de 14 141, excepto en la sección que va desde la intersección con la calle 4-07-092 hasta la intersección con la ruta nacional 129, ese volumen de tránsito es significativamente menor. Por lo que se considera un nuevo tramo. Para nuestro caso ahora tenemos dos secciones de la misma carretera, 4-07-001 tramo 1 y la sección 4-07-001 tramo 2.

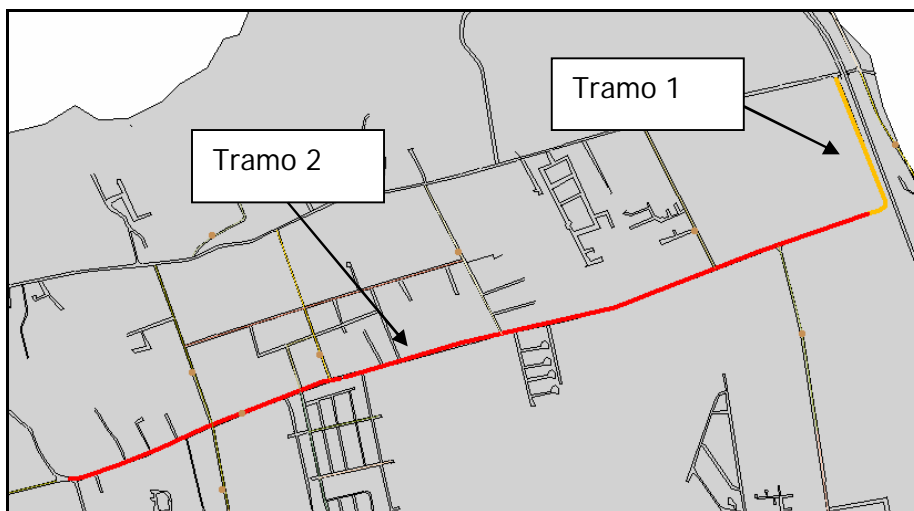


Figura A2.2: Tramos 1 y 2

Teniendo en cuenta las divisiones y volúmenes de tránsito de la carretera se revisa las características de diseño de la misma, el año de construcción y la metodología de construcción, ya que se pueden presentar variaciones importantes a lo largo de la carretera que no le permita comportarse de manera similar u homogénea, por lo que deban considerarse como nuevos tramos en control y mantenimiento.

En nuestro caso de ejemplo no se cuenta con la información correspondiente a diseño, pero se encuentran a disposición los datos de año de construcción aproximado, en dichos datos se muestra que casi todas las secciones de la carretera fueron construidas en fechas con variaciones máximas de 2 años, por lo que se decide tomar como homogéneas.

Ahora bien es necesario realizar una observación de campo preliminar, para ver las condiciones de la carretera, y determinar secciones similares, condiciones aproximadas.

Para nuestro caso la sección 1 se encuentra en condiciones muy similares, y la sección 2 que va desde la intersección con la 4-07-092 hasta intersección con la ruta nacional en el punto del centro comercial La Rivera, los últimos 300 metros del tramo poseen condiciones diferentes, por lo que se decide establecerlo en un nuevo tramo.

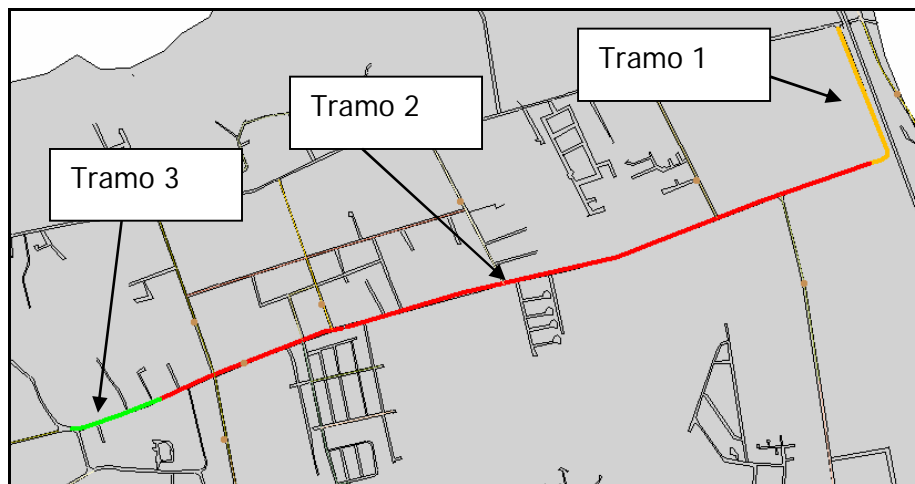


Figura A2.2: Tramos 1, 2 y 3

Ahora bien en dado caso de que estas particiones nos muestren tramos de áreas muy grandes se pueden usar el criterio del profesional para seccionarlo, ya sea mediante el tamaño máximo permitido para los tramos dentro de la red municipal o empleando el

valor medio de las evaluaciones que se realicen sobre la carretera, y observando los cambios de pendiente.

Una metodología correcta desde el punto de vista estadístico es el empleo de las diferencias acumuladas de los valores de PCI de las unidades de muestra evaluadas dentro de la sección. "El procedimiento, de tipo estadístico, se basa en el hecho matemático simple de que cuando la variable Z_x (definida como la diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta la misma distancia) se dibuja como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos ocurren en los puntos donde la pendiente de la línea que representa la variación de Z_x con la longitud, cambia de signo."(INV 2002)

Para la aplicación de esta metodología se puede hacer uso del programa computacional SPEC, con el fin de facilitar el trabajo. A continuación se explicará como realizar el procedimiento con el programa SPEC de manera simplificada.

Requisitos de la información:

- En este caso se requiere como mínimo una cantidad de 15-20 datos, para que el programa tramifique. Por lo que se necesitan tramos a los que se le hayan realizado al menos 15-20 evaluaciones de diferentes unidades de muestra. (En el caso de este proyecto no se cuenta con ninguno)

Introducción de la información:

- Los datos deben estar separados por puntos en lugar de comas. Por ejemplo 85,6 es una forma incorrecta, 85.6 es la forma correcta en que el programa lo reconoce. Para nuestro ejemplo tomaremos la siguiente secuencia de datos asociados a un punto de evaluación.

1	81.00	10	56.50	19	54.00
2	82.00	11	56.50	20	58.00
3	78.00	12	52.50		
4	84.00	13	44.50		
5	88.00	14	56.50		
6	86.00	15	54.50		
7	81.00	16	51.00		
8	82.00	17	52.00		
9	82.00	18	58.00		

- La manera más fácil de ingresar los datos es tomar cualquier otro archivo de información que contenga las bases del programa, un archivo de formato DT y abrirlo en la aplicación Bloc de notas, y modificarlo con los nuevos datos.

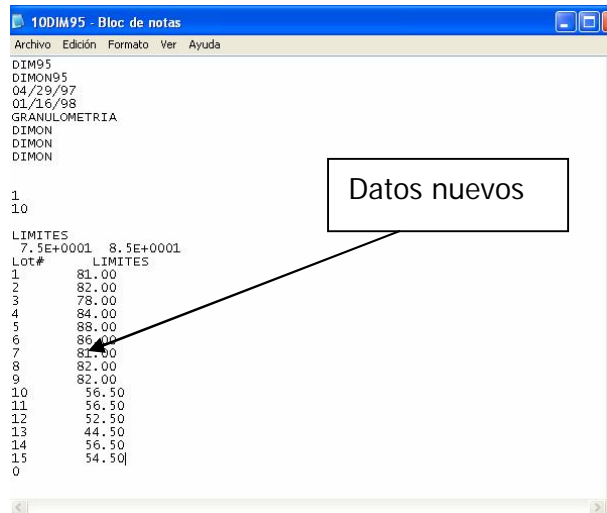


Figura A2.3: Introducción de datos

- Procesamiento de la información.

Se procede a realizar el cálculo de los tramos homogéneos, lo primero por hacer es iniciar el programa SPEC, marcar en el menú "ANALYSE", seguidamente "DIVEDE"

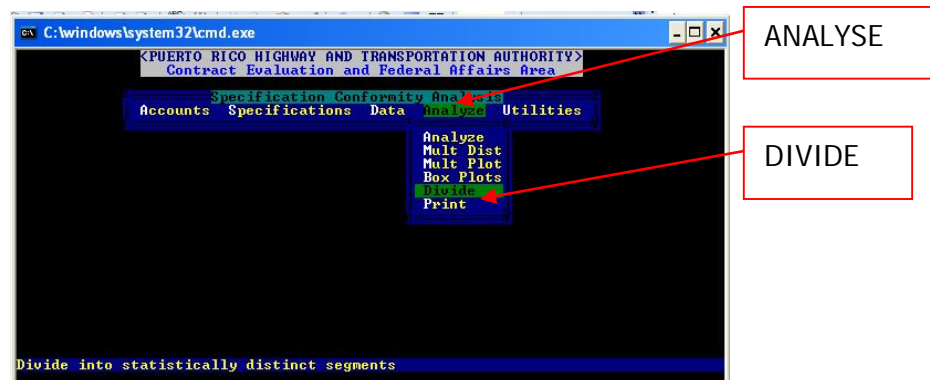


Figura A2.4: Procesamiento de información paso I

Seguidamente del directorio de archivos desplegados se marca el archivo modificado.

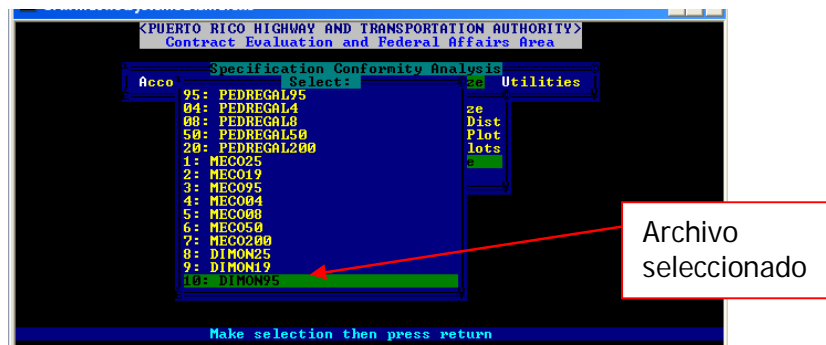


Figura A2.5: Procesamiento de información paso II

Seguidamente se procede al desplegable de información se le marca en la opción "analyse complete data set" para que nos de los resultados de tramos homogéneos.

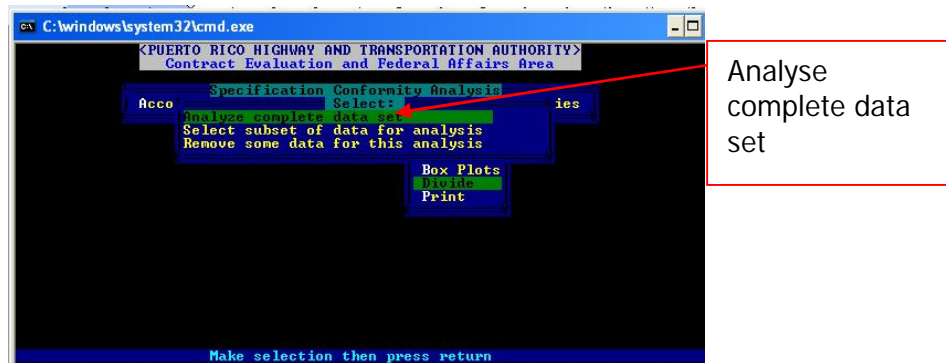


Figura A2.6: Procesamiento de información paso III

Luego se conforman los tramos homogéneos, los datos que describen el rango para el cual los valores se consideran homogéneos aparecen en la primera columna de la izquierda de la pantalla, en la segunda columna se establece el promedio de los valores contemplados, y en la tercer columna se observa la desviación promedio estándar.

APÉNDICE A.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPO PARA LA AUNSCULTACIÓN VISUAL

Dentro de las herramientas para solicitadas para la realización de la auscultación visual se tiene:

- Odómetro, con precisión mínima de 0.3m, la cual es ampliamente utilizada en el campo, ya que se emplea tanto para medir la distancia entre las unidades mínimas de muestra, como los deterioros que implican medidas de área o longitud.



Figura A3.1: Odómetro

Aparte de las herramientas indispensables para el trabajo, se empleo equipo que facilitara el proceso de recolección de datos, así como resguardar la seguridad del operador. Las cuales fueron:

- Escantillón de 3m, con marcas de graduación para la determinación de los diámetros de los huecos, con el fin de agilizar la medición de los mismos.



Figura A3.2: Escantillón graduado

- Regla de medición, con marcas para la determinación de las profundidades de los ahuellamientos, huecos, hundimientos y escalonamiento entre calzada y espaldón. Además de un extremo para verificar los anchos de grieta.



Figura A3.3: Regla graduada

- Carretilla de transporte, es indispensable para el desplazamiento del punto de una medición hacia el siguiente, ya que no siempre se cuenta con un vehículo que pueda acompañar al inspector.

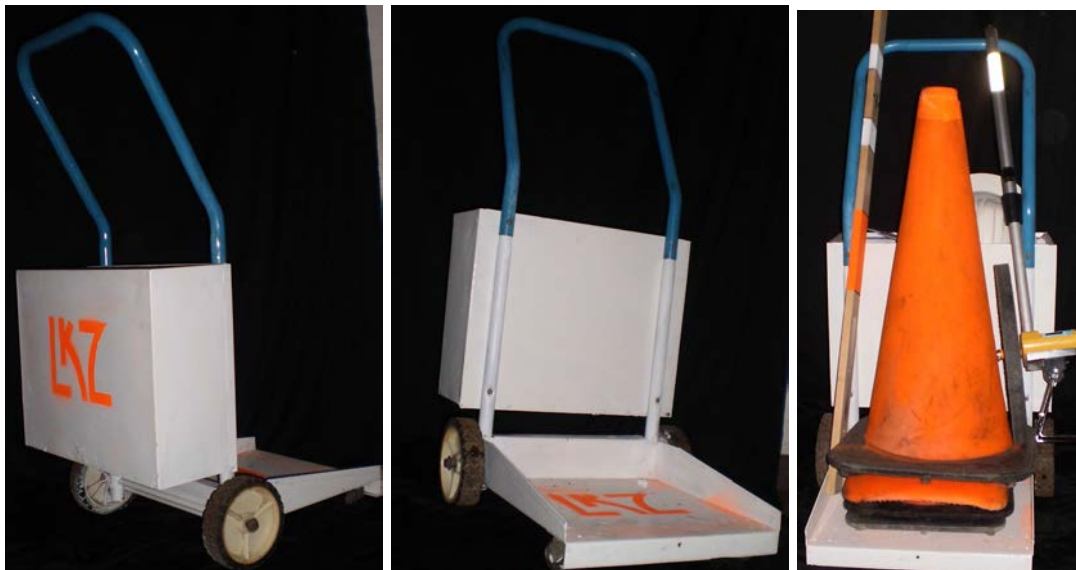


Figura A3.4: Carretilla para el transporte del equipo.

- Equipo de seguridad, como el uso de chalecos reflectivos, conos de señalización vial y casco. Es de suma importancia que se verifiquen las condiciones de seguridad antes de comenzar las labores de acultación.



Figura A3.5: implementos de seguridad

APÉNDICE B.1 CURVA DE DETERIORO DEL PAVIMENTO

Las curvas de deterioro del pavimento son ecuaciones matemáticas que tratan de predecir la calificación del pavimento del indicador PCI en función del tiempo. Las curvas van a depender directamente de los datos históricos que se encuentren a disposición y del ensayo bajo el cual se realizaron los cálculos para la determinación del valor de PCI.

Para el cálculo de los valores de PCI se han empleado dos tipos de datos, los producidos a partir de los ensayos de deflectometría (SAI) y rugosidad internacional (IRI), y los otros producidos a partir de los datos de la auscultación visual (PCI_A). Por lo que se deben de establecer dos tipos de curvas de deterioro del pavimento.

B.1.1 Curva de deterioro del pavimento a partir de datos de SAI y PRI (PCI_{SP})

Para el caso de Costa Rica se pueden emplear las curvas generadas por Luis Amador y Donath Mrawira en la Universidad de New Brunswick Canadá. Dichas curvas se basan en la información de deflectometría y medición de la rugosidad de la evaluación de la red vial nacional realizada por LanammeUCR.

Las curvas desarrolladas por Amador y Mrawira establecen dos casos, considerando el tránsito alto (mayor que 128000 ESALs), y considerando el tránsito bajo (menor que 128000 ESALs). Para nuestro caso se emplean los valores de tránsito bajo, a continuación se presenta la Figura B.1.1, donde se muestra la curva de deterioro para tránsito bajo:

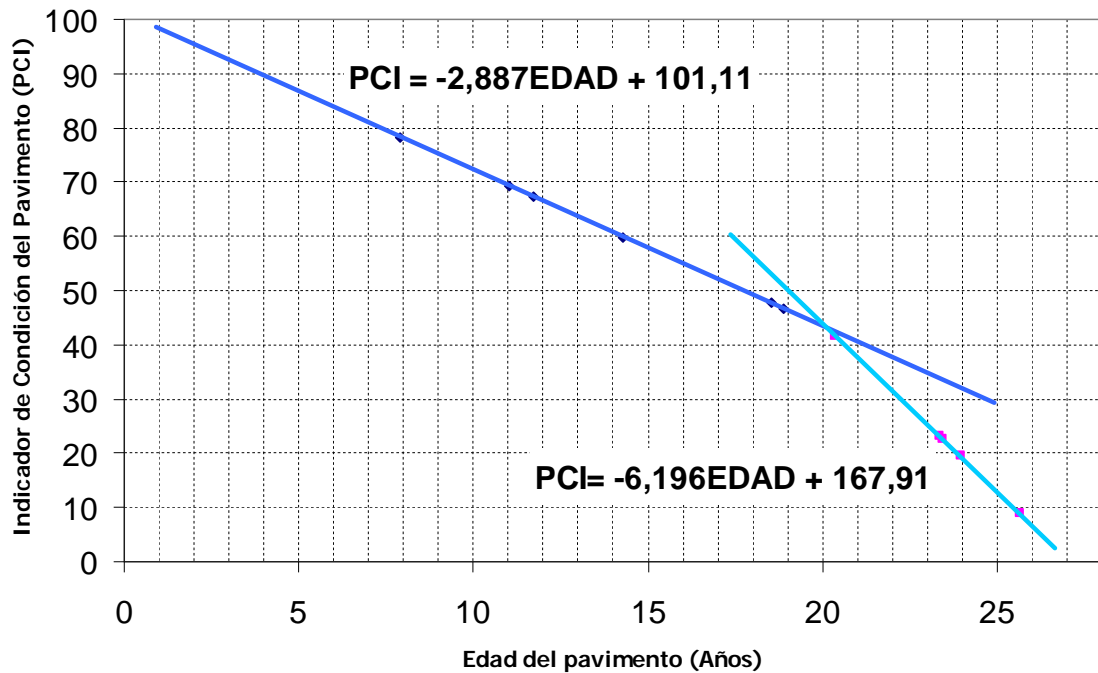


Figura B.1.1: Curva de deterioro del pavimento en función del tiempo (menor que 128000 ESALs)
Fuente: Amador y Wrawira (2008).

B.1.2 Curva de deterioro del pavimento a partir de la auscultación visual (PCI_A)

En Costa Rica se cuentan con datos históricos de condición superficial. La información con la que se cuenta son los levantamientos de la condición superficial, realizados bajo la metodología VIZIR para toda la red vial nacional en los años 2004 hasta 2009. Gran parte de esta información fue tomada de manera manual, por funcionarios del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), los cuales tomaron secciones de 500 m para realizar la evaluación.

La creación de una curva de deterioro a partir de los datos tomados mediante la metodología VIZIR contiene grandes limitantes, las cuales se describen a continuación:

- En las auscultaciones realizadas con la metodología VIZIR sólo se contemplan 6 tipos diferentes de deterioro, cuando la metodología ASTM D6433 emplea 19 tipos diferentes de deterioro.
- Todas las mediciones son dadas en metros lineales, los mismos de manera aproximada, sólo estableciendo un rango de metros con el deterioro dentro de los

500m de análisis. Por otro lado la metodología ASTM D6344, mide específicamente cada deterioro, y varía la forma de medición dependiendo del tipo de deterioro.

- Existen fluctuaciones serias en las mediciones de los datos, ya que las severidades y las cantidades de los deterioro varían de manera anómala con relación a las mediciones en el tiempo. Tomando con severidad alta un deterioro en un año, y tomando luego como severidad leve el mismo deterioro para el siguiente año, entre algunos de los casos.

Por tales motivos es que se decide emplear curvas de origen foráneo, en las cuales se tengas datos que sean confiables, y puedan predecir de una mejor manera el comportamiento del pavimento.

Los datos usados en el estudio se obtuvieron del programa de mantenimiento del Condado de Washoe, en el estado de Nevada de los Estados Unidos de Norteamérica, el cual ha dividido todo su patrimonio de carreteras en diez redes. Los datos que se emplean pertenecen a la red de Truckee Meadows el cual comprende a las ciudades de Reno y Sparks. Se clasifican en tres diferentes grupos los datos, según el tipo de carretera en arterial, conector y residencial. A continuación se presentan las curvas de deterioro del pavimento para los tres tipos de categorías:

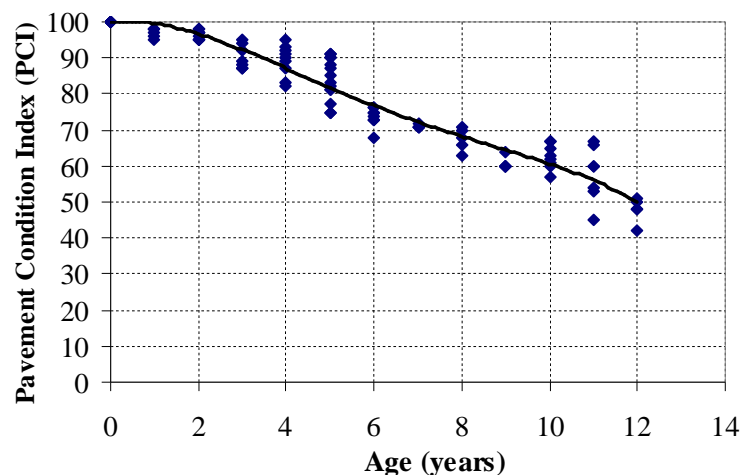


Figura B.1.2: Curva de deterioro en función del tiempo calles primarias (Arterial)
Fuente: Hajj, Sabaaly y Loria (2007)

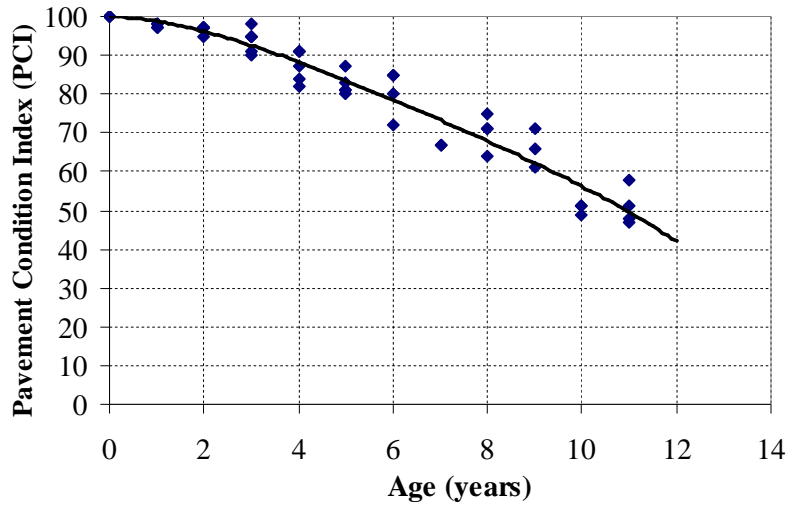


Figura B.1.3: Curva de deterioro en función del tiempo calle de travesía (Conectores)
 Fuente: Hajj, Sabaaly y Loria (2007)

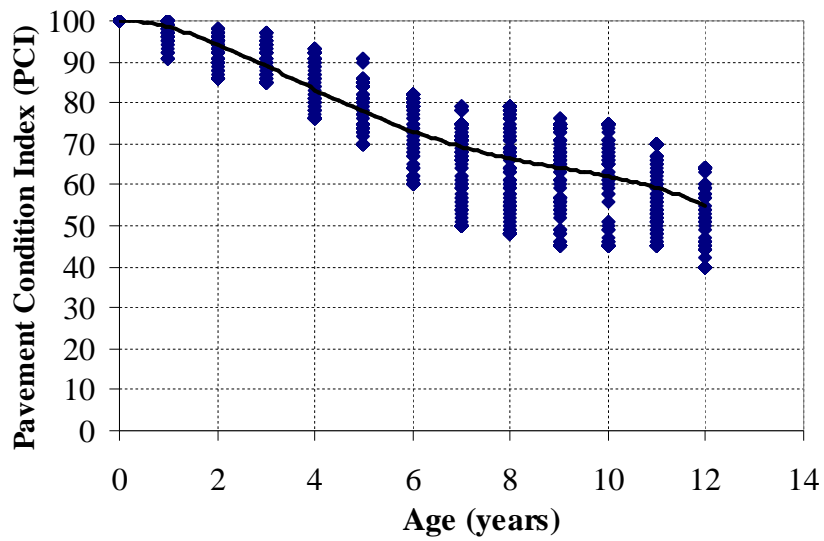


Figura B.1.4: Curva de deterioro en función del tiempo calle secundaria (Residencial)
 Fuente: Hajj, Sabaaly y Loria (2007)

Para cada una de la curvas se tienen ecuaciones de cuarto grado que las describen, esto con el fin de simplificar el uso de los gráficos. A Continuación se muestran las ecuaciones:

- Tramo Primario (Arteria):

$$PCI = 100 - 0.0083Edad^4 + 0.2163Edad^3 - 1.8488Edad^2 + 1.227Edad$$

(Ecuación B.1.1)

- Tramo de travesía (Conectores):

$$PCI = 100 - 0.0031Edad^4 + 0.0823Edad^3 - 0.912Edad^2 + 0.406Edad$$

(Ecuación B.1.2)

- Tramo de Secundaria (Secundarias):

$$PCI = 100 - 0.0101Edad^4 + 0.2572Edad^3 - 1.9537Edad^2 + 0.1584Edad$$

(Ecuación B.1.3)

APÉNDICE B.2
EDADES DEL PAVIMENTO

Cuadro B.2.1: Edades del pavimento para los tramos homogéneos a partir de datos de
SAI y PRI

ID	RUTA	PCI	EDAD DEL PAVIMENTO
1	4-07-006	47	20
2	4-07-001	60	15
3	4-07-001	67	12
4	4-07-001	78	8
5	4-07-001	69	11
6	4-07-001	48	20
7	4-07-005	21	25
8	4-07-005	65	14
9	4-07-024	11	26
10	4-07-024	6	27
11	4-07-024	11	26
12	4-07-034	34	22
13	4-07-060	23	24
14	4-07-060	62	14
15	4-07-063	66	12
16	4-07-094	33	23
17	4-07-200	51	18
18	4-07-200	57	16
19	4-07-200	58	16
20	4-07-023	51	17
21	4-07-027	48	18
22	4-07-027	9	27
23	4-07-040	23	24
24	4-07-041	20	25
25	4-07-061	42	20
26	4-07-062	23	24
27	4-07-065	75	9
28	4-07-068	26	24
29	4-07-106	44	20
30	4-07-107	20	25
31	4-07-107	30	23
32	4-07-109	56	15
33	4-07-111	24	24
34	4-07-112	63	13
35	4-07-112	60	14

Cuadro B.2.1: Edades del pavimento para los tramos homogéneos a partir de datos de SAI y PRI (Continuación)

ID	RUTA	PCI	EDAD DEL PAVIMENTO
36	4-07-112	61	14
37	4-07-112	63	13
38	4-07-119	35	21
39	4-07-030	73	10
40	4-07-002	70	12
41	4-07-059	26	24
42	4-07-064	63	14
43	4-07-064	54	17
44	4-07-092	58	16
45	4-07-092	51	18
46	4-07-127	55	17
47	4-07-127	58	16
48	4-07-127	31	23
49	4-07-119	58	15
50	4-07-111	18	25
51	4-07-062	28	24

Cuadro B.2.2: Edades del pavimento para los tramos homogéneos a partir de datos de auscultación visual

ID	RUTA	PCI condición superficial	EDAD DEL PAVIMENTO
1	4-07-006	84	6
3	4-07-001	72	7
4	4-07-001	92	3
5	4-07-001	100	0
6	4-07-001	28	15
7	4-07-005	61	11
8	4-07-005	80	7
9	4-07-024	43	14
10	4-07-024	25	15
11	4-07-024	47	14
12	4-07-034	69	9
13	4-07-060	54	12
14	4-07-060	84	6
15	4-07-063	98	2
16	4-07-094	60	11
17	4-07-200	65	9
18	4-07-200	45	13
19	4-07-200	78	6

Cuadro B.2.2: Edades del pavimento para los tramos homogéneos a partir de datos de auscultación visual (Continuación)

ID	RUTA	PCI condición superficial	EDAD DEL PAVIMENTO
20	4-07-023	92	3
21	4-07-027	63	10
22	4-07-027	87	4
23	4-07-040	61	11
24	4-07-041	93	3
25	4-07-061	85	4
26	4-07-062	61	11
27	4-07-065	100	0
28	4-07-068	65	9
29	4-07-106	88	4
31	4-07-107	93	3
32	4-07-109	95	2
33	4-07-111	43	14
34	4-07-112	93	3
35	4-07-112	100	0
36	4-07-112	98	1
37	4-07-112	96	2
38	4-07-119	99	1
39	4-07-030	98	1
40	4-07-002	52	12
42	4-07-064	31	15
43	4-07-064	55	12
44	4-07-092	91	4
45	4-07-092	75	7
46	4-07-127	95	3
47	4-07-127	70	8
48	4-07-127	71	8
49	4-07-119	96	2
50	4-07-111	30	15
51	4-07-062	51	13

APÉNDICE B.3

PLAN DE INVERSIONES MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA EXCEL

Cuadro B.3: Resumen de las inversiones sobre el cantón de Belén, escenario 1:
presupuesto de US\$ 360.00

ID	Código de carretera	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención
1	4-07-006	2	Rehabilitación menor	14	Rehabilitación mayor				
2	4-07-001	3	Reconstrucción total	8	Preservación	13	Preservación		
3	4-07-001	17	Reconstrucción total						
4	4-07-001	4	Rehabilitación menor	12	Rehabilitación menor				
5	4-07-001	7	Rehabilitación menor	12	Preservación	20	Rehabilitación menor		
6	4-07-001	6	Reconstrucción total	16	Rehabilitación mayor				
8	4-07-005	1	Rehabilitación menor	9	Rehabilitación menor				
9	4-07-024	20	Reconstrucción total						
12	4-07-034	3	Rehabilitación mayor	15	Rehabilitación mayor				
14	4-07-060	2	Rehabilitación menor	14	Rehabilitación mayor				
15	4-07-063	5	Rehabilitación menor	13	Rehabilitación menor				
16	4-07-094	16	Reconstrucción total						
17	4-07-200	2	Rehabilitación mayor	10	Rehabilitación menor	15	Preservación	20	Preservación
18	4-07-200	5	Reconstrucción total	13	Rehabilitación menor	18	Preservación		
19	4-07-200	1	Rehabilitación menor	9	Rehabilitación menor				
20	4-07-023	8	Rehabilitación mayor						
21	4-07-027	1	Rehabilitación mayor	10	Rehabilitación menor	16	Preservación		
22	4-07-027	4	Rehabilitación menor	13	Rehabilitación menor				
23	4-07-040	9	Reconstrucción total	18	Rehabilitación menor				

Cuadro B.3: Resumen de las inversiones sobre el cantón de Belén, escenario 1:
presupuesto de US\$ 360.00 (continuación)

ID	Código de carretera	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención	año	tipo de intervención
24	4-07-041	5	Rehabilitación menor						
25	4-07-061	7	Rehabilitación mayor	15	Rehabilitación menor				
26	4-07-062	13	Reconstrucción total						
28	4-07-068	2	Rehabilitación mayor	14	Rehabilitación mayor				
29	4-07-106	1	Preservación	10	Rehabilitación menor				
31	4-07-107	2	Preservación						
32	4-07-109	6	Rehabilitación menor	18	Rehabilitación mayor				
34	4-07-112	5	Rehabilitación menor	17	Rehabilitación mayor				
35	4-07-112	8	Rehabilitación menor						
36	4-07-112	6	Rehabilitación menor	14	Rehabilitación menor				
37	4-07-112	9	Rehabilitación mayor	18	Rehabilitación menor				
38	4-07-119	10	Rehabilitación mayor						
39	4-07-030	10	Rehabilitación mayor						
40	4-07-002	12	Reconstrucción total	19	Rehabilitación menor				
41	4-07-059	19	Reconstrucción total						
43	4-07-064	7	Reconstrucción total	14	Rehabilitación menor	18	Preservación		
44	4-07-092	4	Rehabilitación mayor	11	Rehabilitación menor	15	Preservación	19	Preservación
45	4-07-092	4	Rehabilitación mayor	11	Rehabilitación menor	18	Rehabilitación menor		
46	4-07-127	2	Rehabilitación menor	9	Rehabilitación menor				
47	4-07-127	11	Reconstrucción total	18	Rehabilitación menor				
48	4-07-127	8	Reconstrucción total	15	Rehabilitación menor				
49	4-07-119	6	Rehabilitación menor						

PLANTILLA DE TRABAJO PARA REALIZAR LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES A NIVEL DE RED VIAL MUNICIPAL.

C.1 Etapa de inicio de la gestión de pavimentos flexibles.

Cuadro C.1: Datos del inicio de la gestión de pavimentos flexibles

Fecha:	Nombre del Cantón:	Provincia:
Información general de la red vial: Tipo de red: Longitud de la red: Clima de la Zona: Otros:		
Necesidades de la red vial municipal:		
Objetivo de la gestión de pavimentos flexibles: <i>General:</i> <i>Específicos:</i> <i>Descripción del producto:</i>		
Identificación de los involucrados <i>Directos</i> <i>Indirectos</i>		
Limitaciones de la gestión de pavimentos		
Elaborado por:		Firma:

C.2 Etapa de planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles

Cuadro C.2: Resumen del planeamiento de la gestión de pavimentos flexibles

Código	Actividad	Condición	Recurso humano	Tiempo (días)	Costo Aproximado
IR-1	Tramos Homogéneos				
T-1	Conteos Vehiculares				
T-2	Datos históricos de tránsito				
T-3	Estimaciones de Tránsito				
CI-1	Datos históricos Estructurales				
CI-2	Clasificación de las estructuras de pavimento				
CI-3	Diseño de las intervenciones				
CI-4	Costos unitarios de intervenciones				
IC-1	Capacitación del operador norma ASTM D6433				
IC-2	Calibración de los operadores				
IC-3	Datos históricos de los deterioros				
IC-4	Auscultación Visual				
IC-5	Determinación de PCI condición superficial				
AD-1	Planes de inversiones				
AD-2	Conclusiones				
AD-3	Recomendaciones				

Los códigos de las actividades se establecieron en función de las tareas principales a las que pertenecen, a continuación se muestran los significados en el cuadro C.3

Cuadro C.3: Información de los códigos de las actividades

Código	Tarea principal
IR	Inventario físico de la Red Vial Cantonal
T	Información de Tránsito
CI	Costos de las intervenciones
IC	Indicadores de Condición de las carreteras
AD	Análisis de los datos

ANEXO D
DETERIOROS Y SEVERIDADES ASTM D6433-03

Cuadro D: Deterioros y severidades del PCI

DETERIORO	ALTO/HIGH	MEDIO/MEDIUM	BAJO/LOW	UNIDAD
1. PIEL DE COCODRLO	Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.	Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.	Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.	Metros Cuadrados
2. EXUDACIÓN	Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado esta suelto.	Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.	Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.	Metros Cuadrados
3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE	Bloques definidos por grietas de alta severidad.	Bloques definidos por grietas de severidad media	Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.	Metros Cuadrados
4. ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.	Metros lineales
5. CORRUGACIONES	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.	Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.	Metros Cuadrados
6. DEPRESIÓN	Profundidad > 51.0 mm.	Profundidad >25.0 mm a 51.0 mm.	Profundidad 13.0 a 25.0 mm.	Metros Cuadrados
7. GRIETA DE BORDE	Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde	Grietas medias con algo de desprendimiento y fragmentación	Agrietamiento bajo sin desprendimiento o fragmentación	Metros lineales

Fuente: Ávila, T. (2009)

Cuadro D: Deterioros y severidades del PCI

DETERIORO	ALTO/HIGH	MEDIO/MEDIUM	BAJO/LOW	UNIDAD
8. GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTA	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad. 2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).	Metros lineales
9. DESNIVEL CARRIL/ESPALDÓN	La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.	La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.	La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la espaldón está entre 25.0 y 51.0 mm.	Metros lineales
10. GRIETA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta. 2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas. 3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm. 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).	Metros lineales
11. PARCHES.	El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.	El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.	El parche está en buena condición y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.	Metros Cuadrados
12. PULIMENTO DE AGREGADOS	No aplican los niveles de severidad			Metros cuadrados
13. HUECOS	PROFUNDIDAD MÁXIMA DEL HUECO	DIÁMETRO MEDIO (mm)		457 a 762mm.
		102 a 203mm	203 a 457 mm	
	12,7 A 25,4mm	L	L	M
	>25,4 a 50,8mm	L	M	H
>50,8mm.	M	M	H	

Fuente: Ávila, T. (2009)

Cuadro D: Deterioros y severidades del PCI

DETERIORO	ALTO/HIGH	MEDIO/MEDIUM	BAJO/LOW	UNIDAD
14. CRUCE DE VÍA FÉRREA	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.	El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.	Metros cuadrados
15. AHUELLAMIENTO.	Profundidad > 25.0 mm.	Profundidad >13.0 mm a 25.0 mm.	Profundidad 6.0 a 13.0 mm.	Metros Cuadrados
16. DESPLAZAMIENTO	El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.	El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.	El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.	Metros cuadrados
17. GRIETAS PARABÓLICAS	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.	Existe una de las siguientes condiciones: 1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm. 2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.	Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.	Metros Cuadrados
18. HINCHAMIENTO	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.	Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.	Metros lineales
19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADO	Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.	Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.	Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.	Metros cuadrados

Fuente: Ávila, T. (2009)

ANEXO E

CURVAS DE SEVERIDADES PARA LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

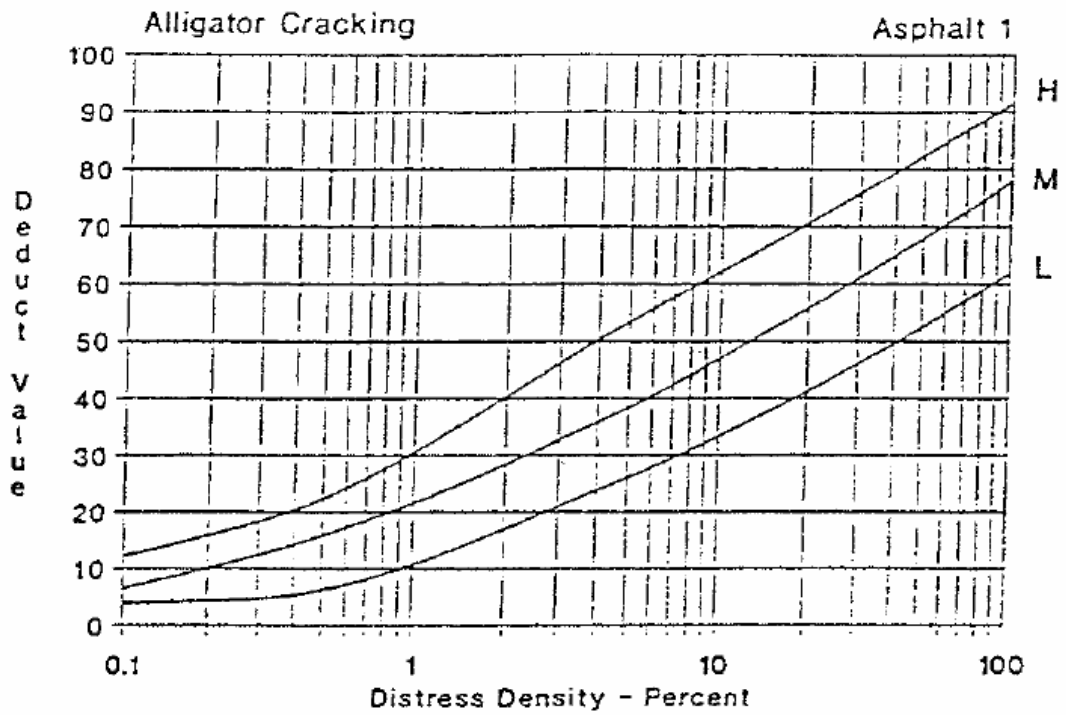


Figura E.1: Cuero de lagarto
Fuente: ASTM D6433

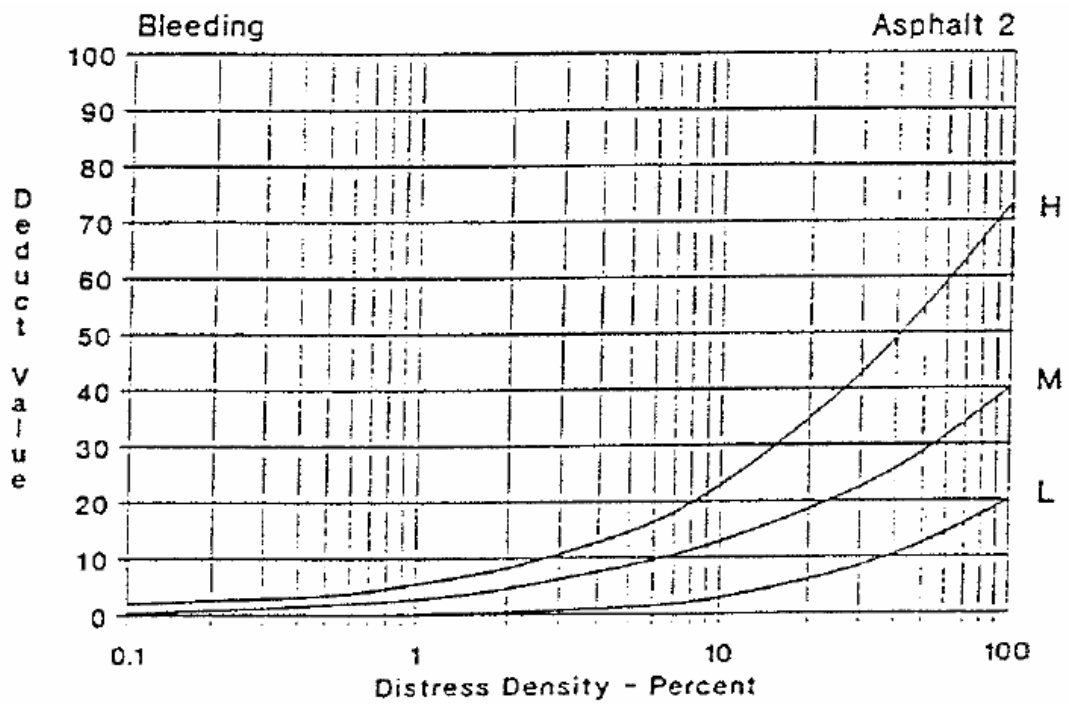


Figura E.2: Exudación
Fuente: ASTM D6433

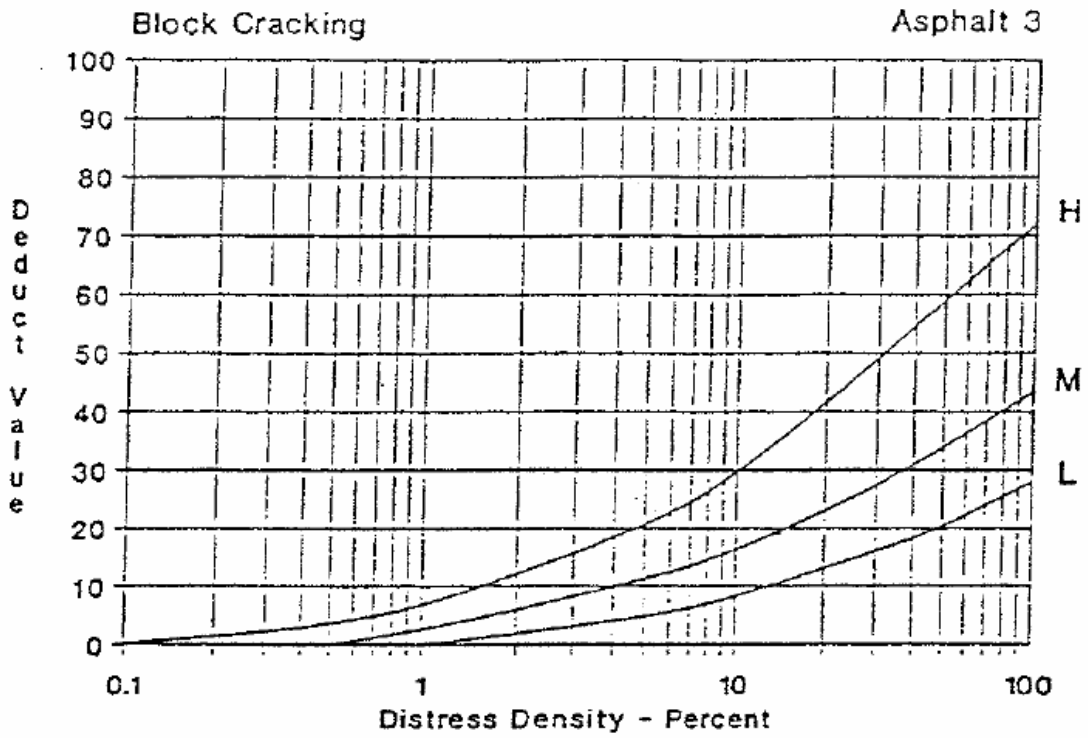


Figura E.3: Agrietamiento en bloque
Fuente: ASTM D6433

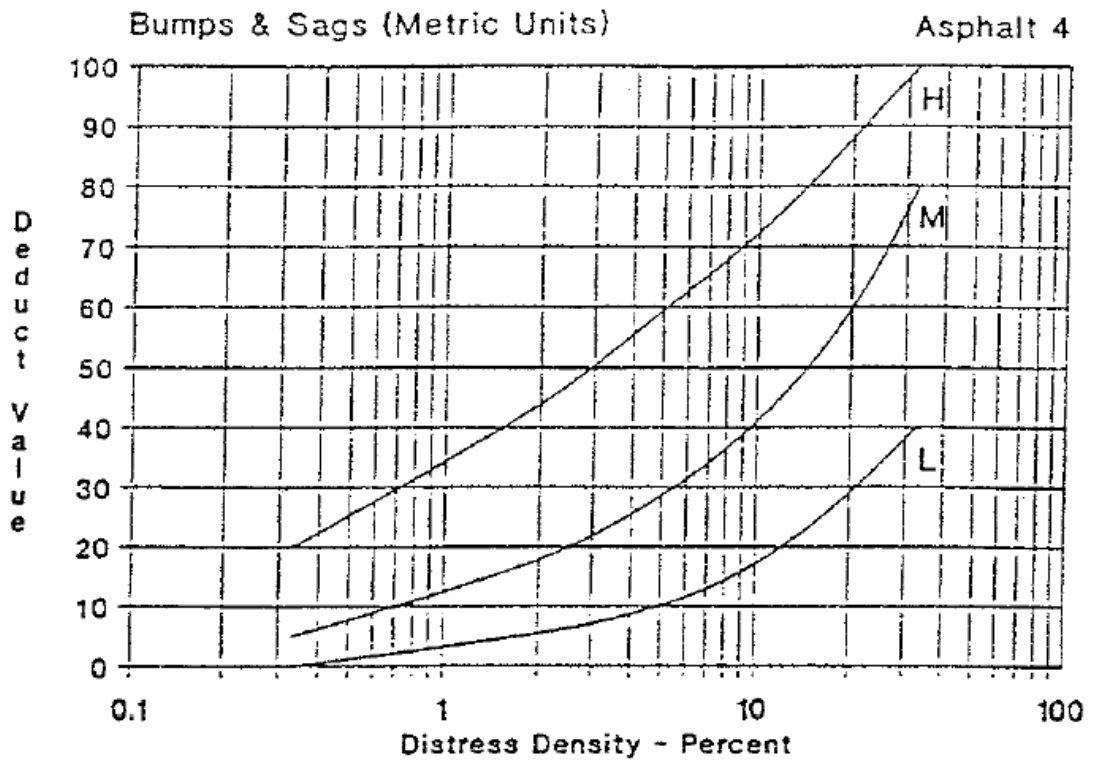


Figura E.4: Abultamiento y Hundimientos
Fuente: ASTM D6433

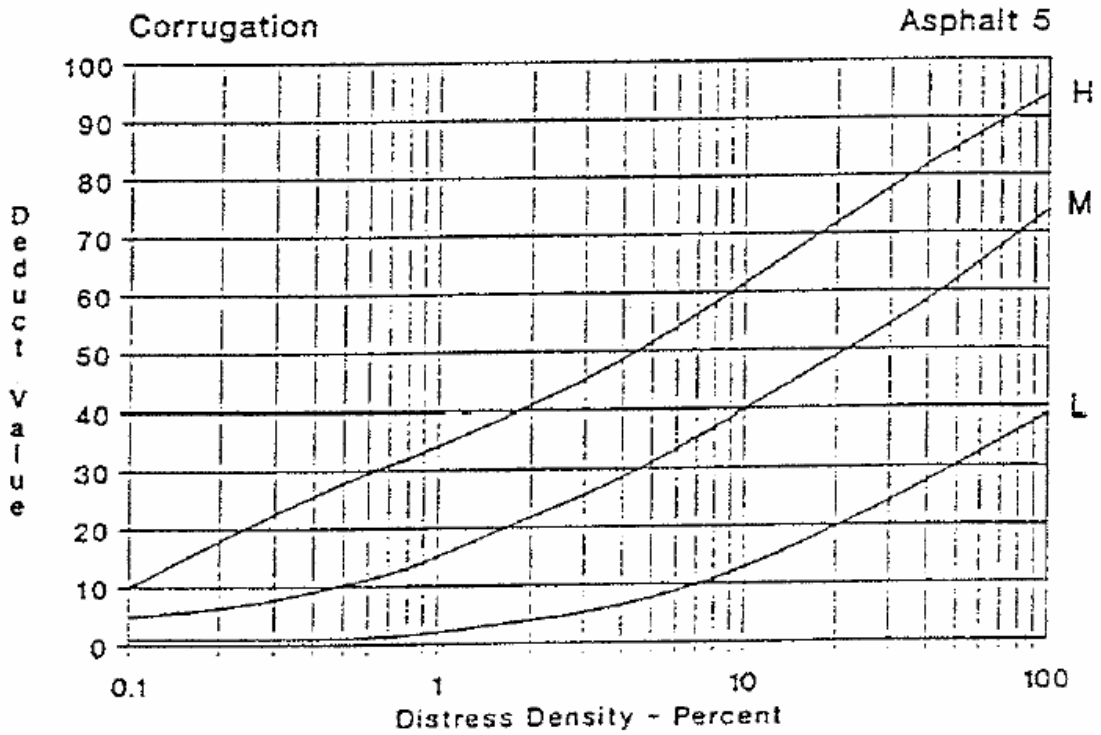


Figura E.5: Corrugación
Fuente: ASTM D6433

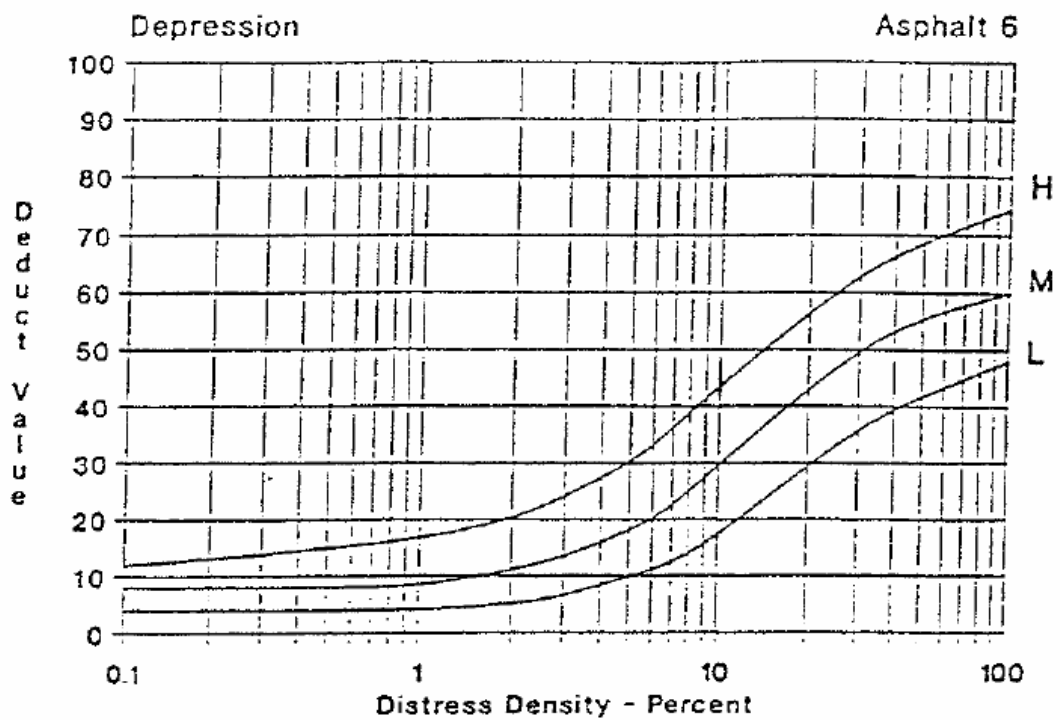


Figura E.6: Depresión
Fuente: ASTM D6433

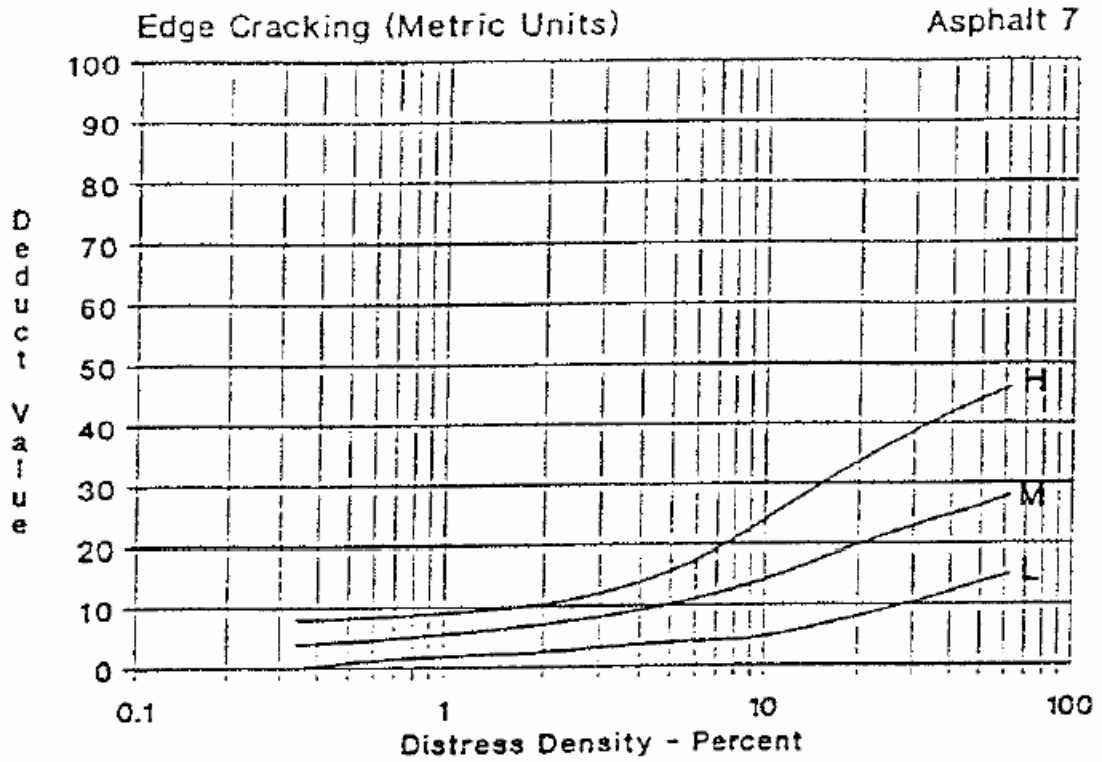


Figura E.7: Grieta de borde
Fuente: ASTM D6433

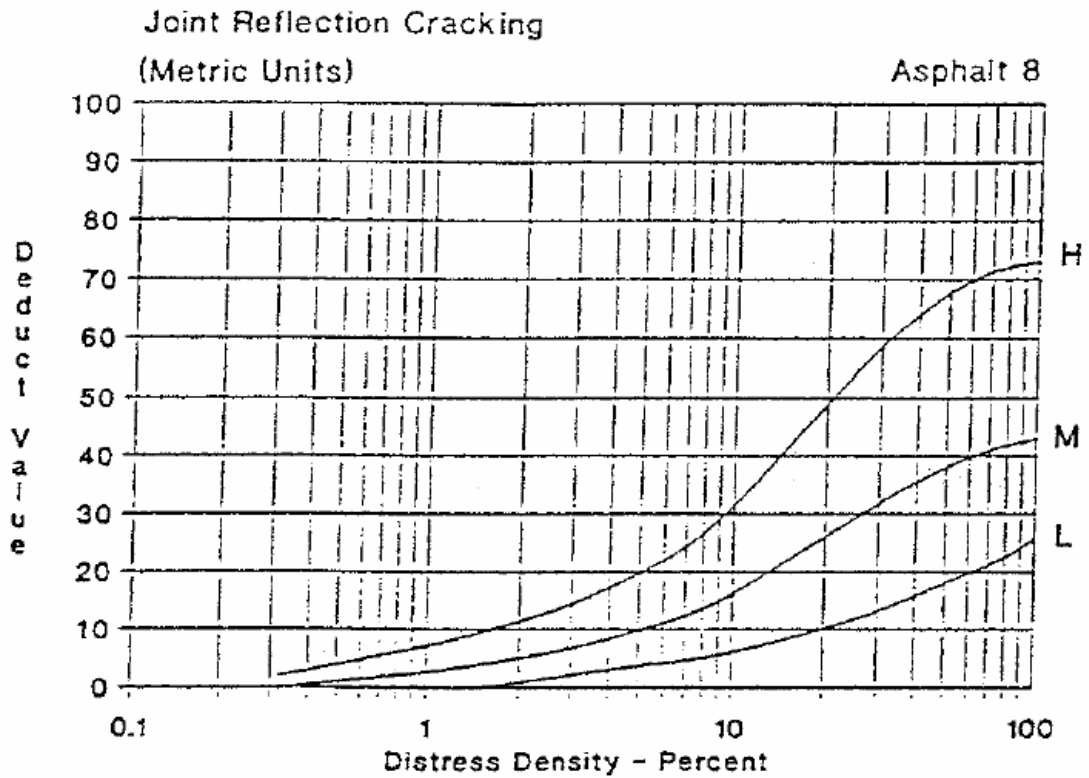


Figura E.8: Grieta de reflexión de juntas
Fuente: ASTM D6433

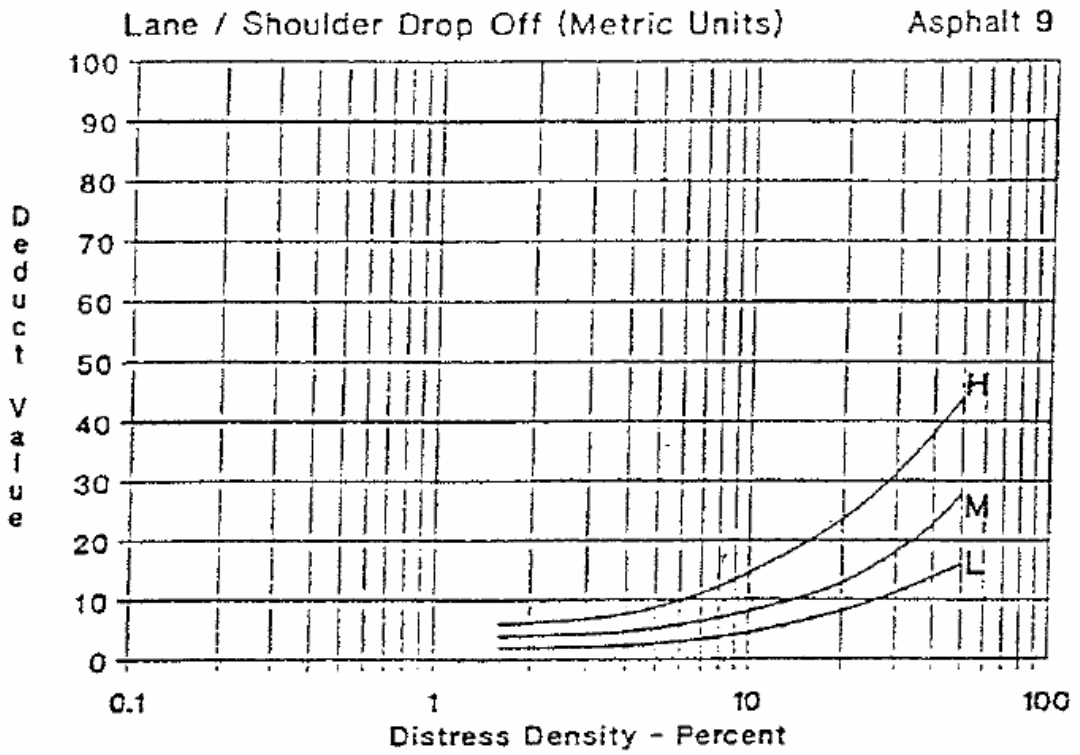


Figura E.9: Desnivel entre carril y el espaldón
Fuente: ASTM D6433

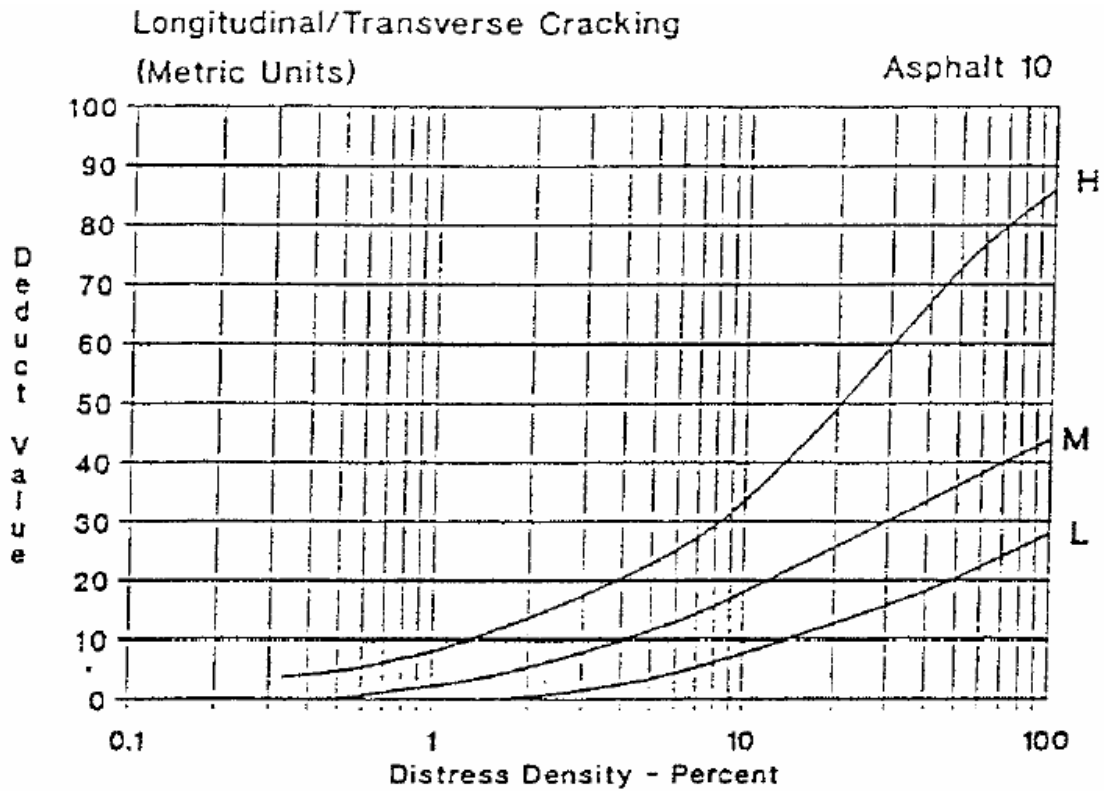


Figura E.10: Grietas longitudinal y transversal
Fuente: ASTM D6433

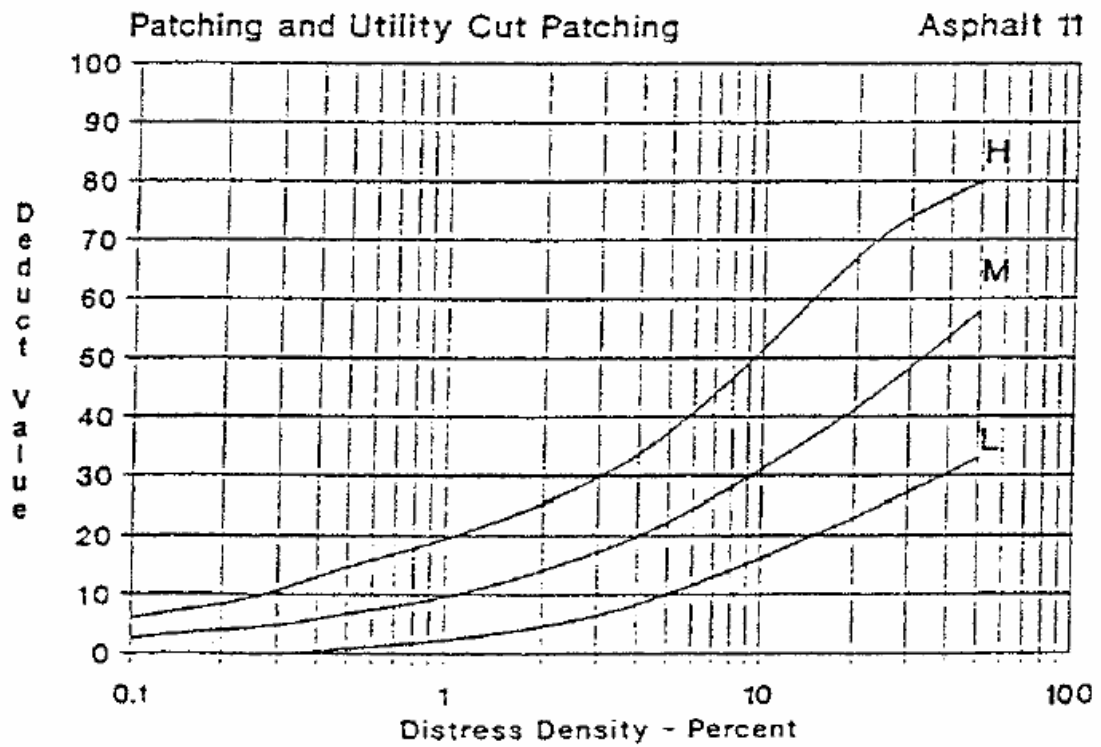


Figura E.11: Parcheo
Fuente: ASTM D6433

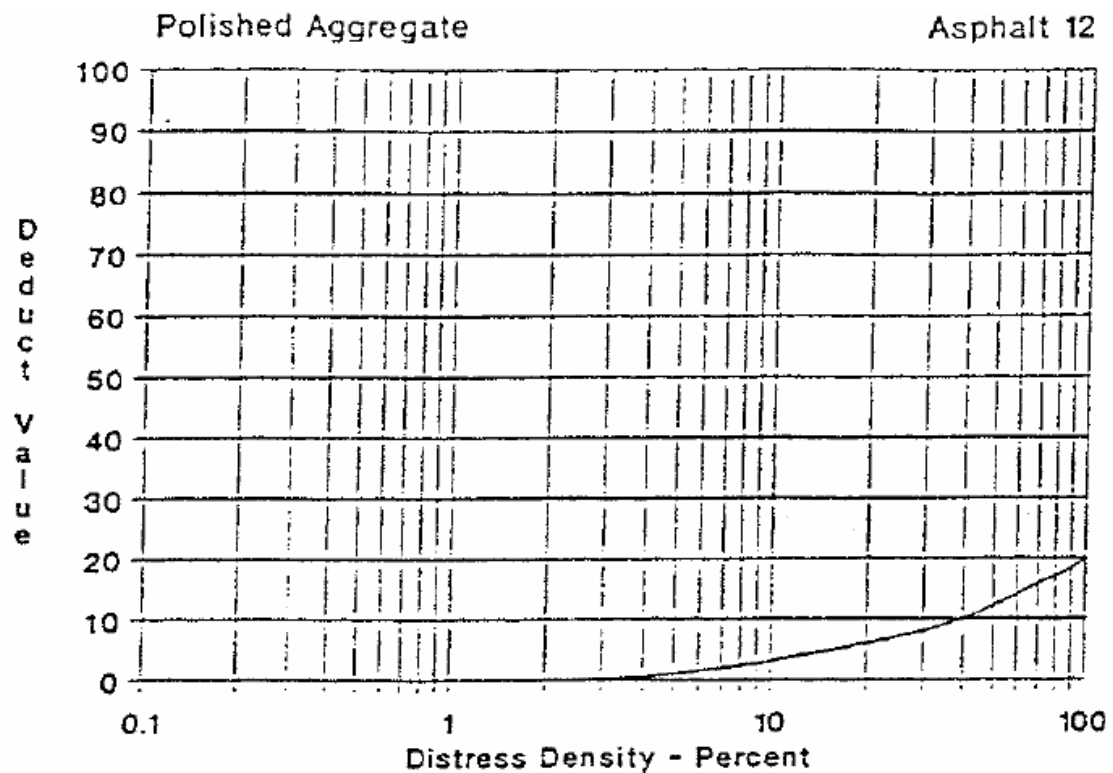


Figura E.12: Pulimento de agregados
Fuente: ASTM D6433

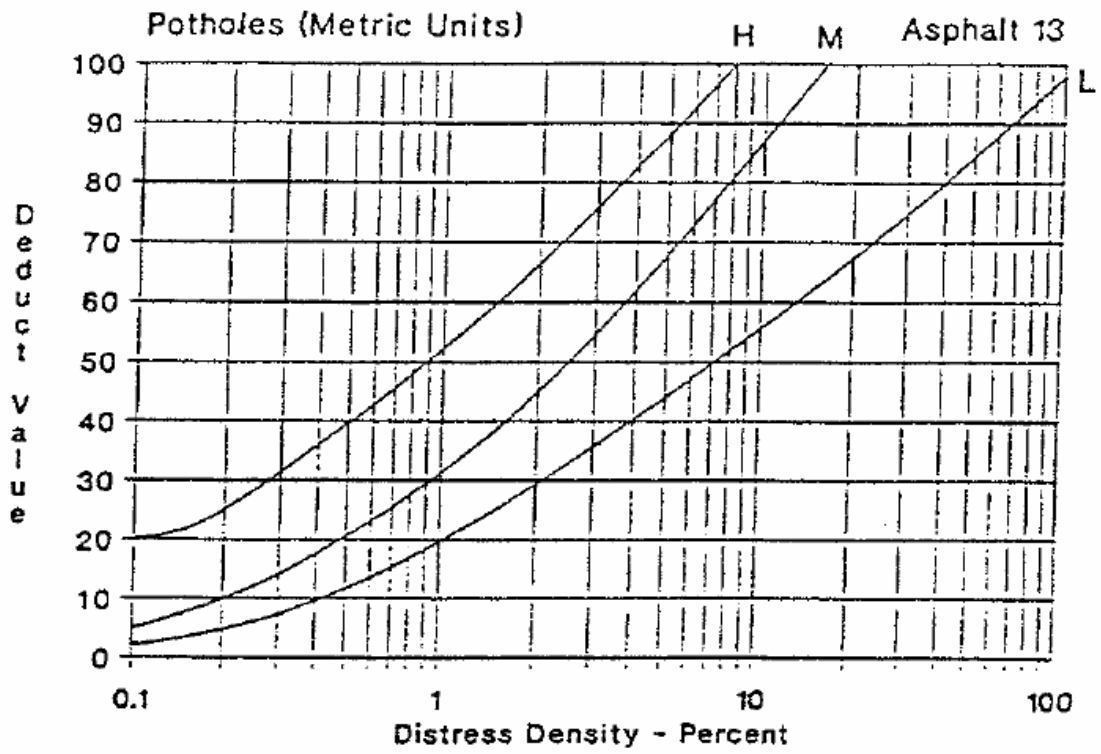


Figura E.13: Huecos
Fuente: ASTM D6433

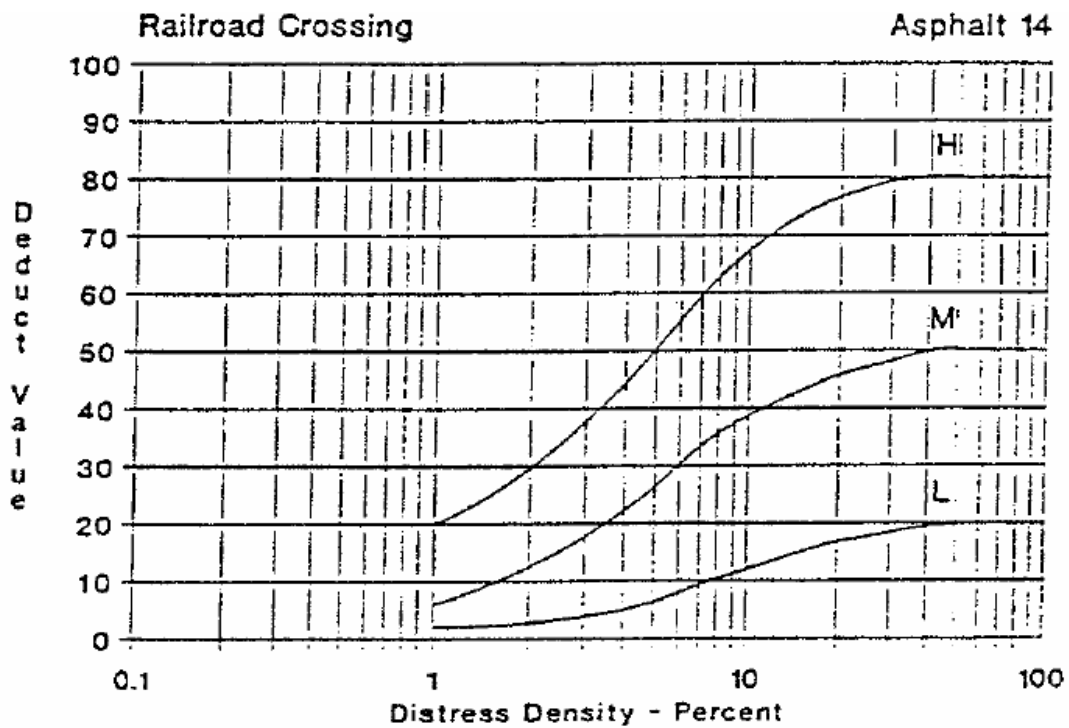


Figura E.14: Cruce de vía férrea
Fuente: ASTM D6433

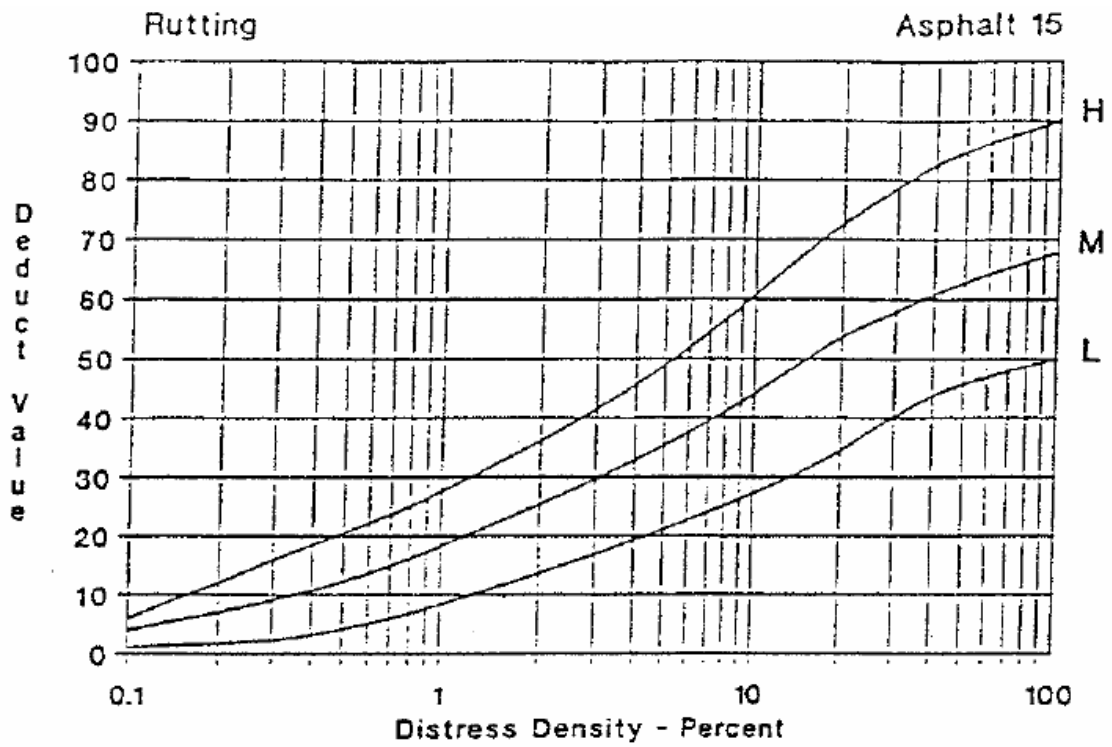


Figura E.15: Ahuellamiento
Fuente: ASTM D6433

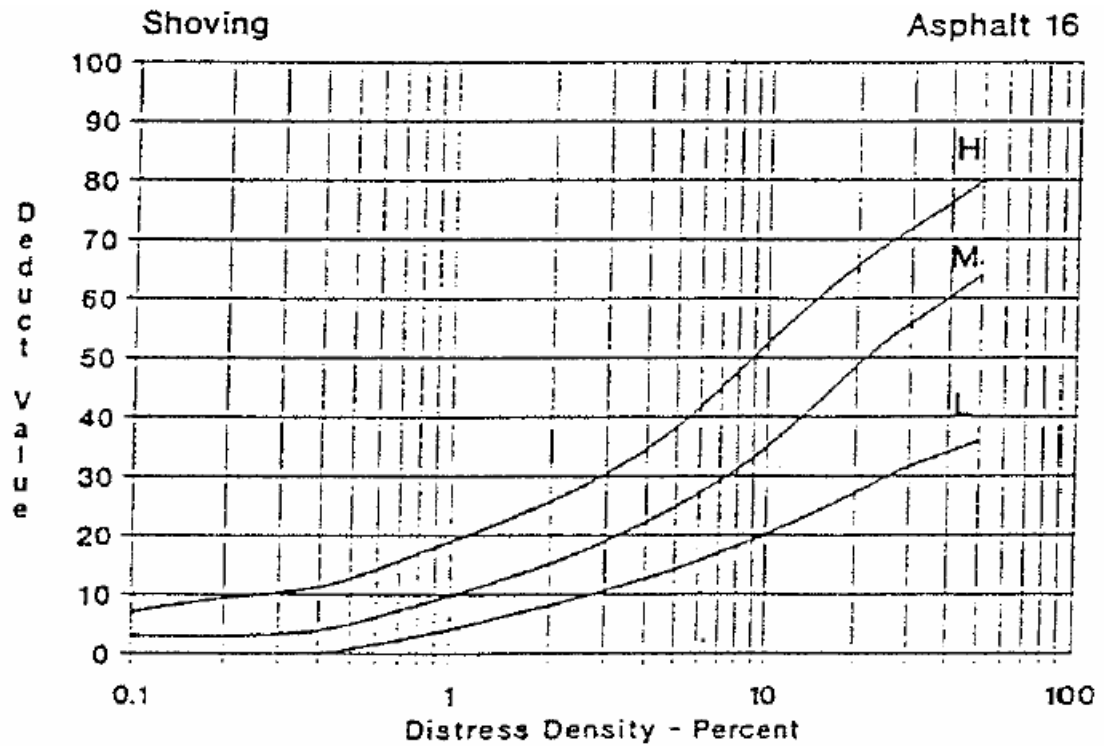


Figura E.16: Desplazamiento
Fuente: ASTM D6433

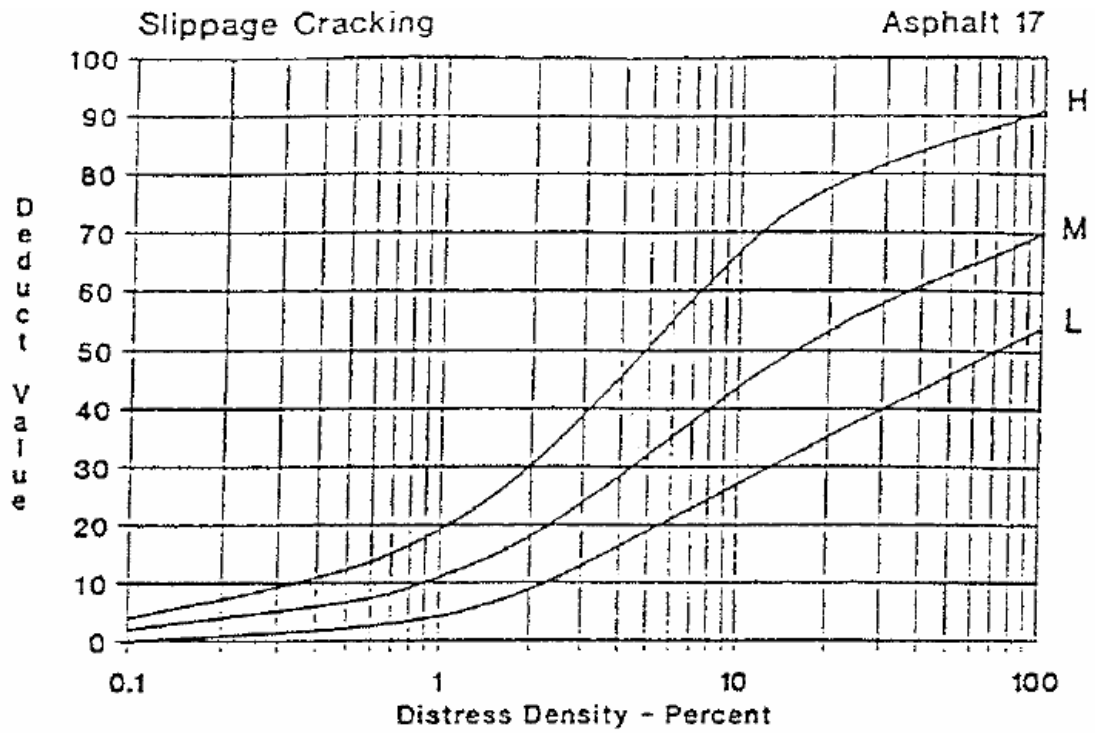


Figura E.17: Grieta parabólica
Fuente: ASTM D6433

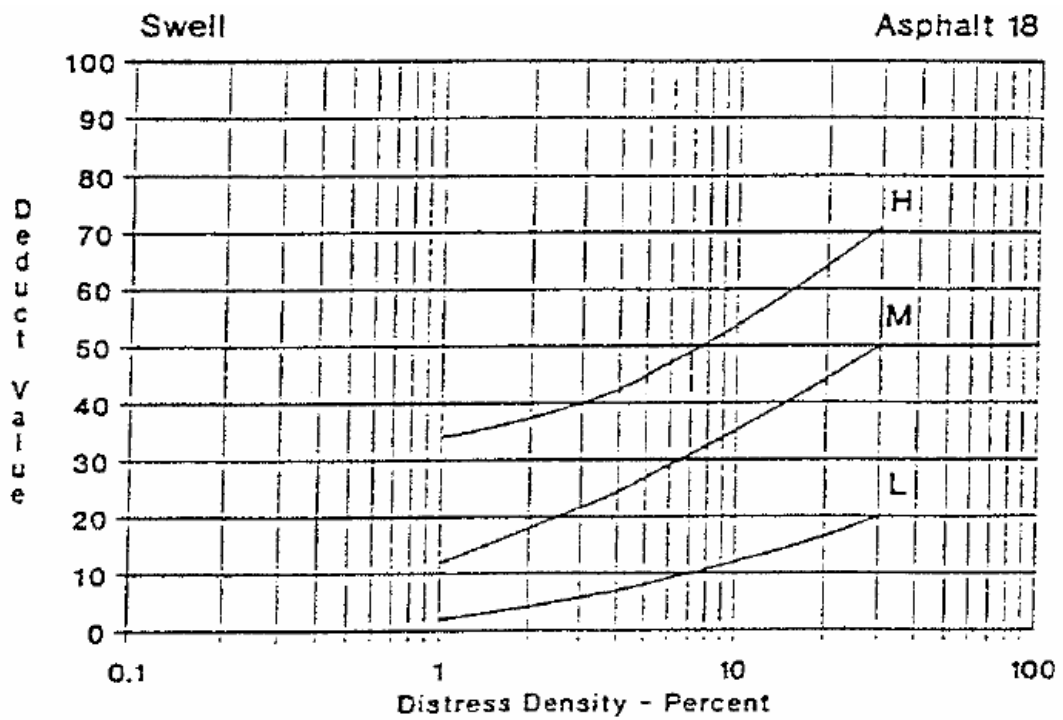


Figura E.18: Hinchamiento
Fuente: ASTM D6433

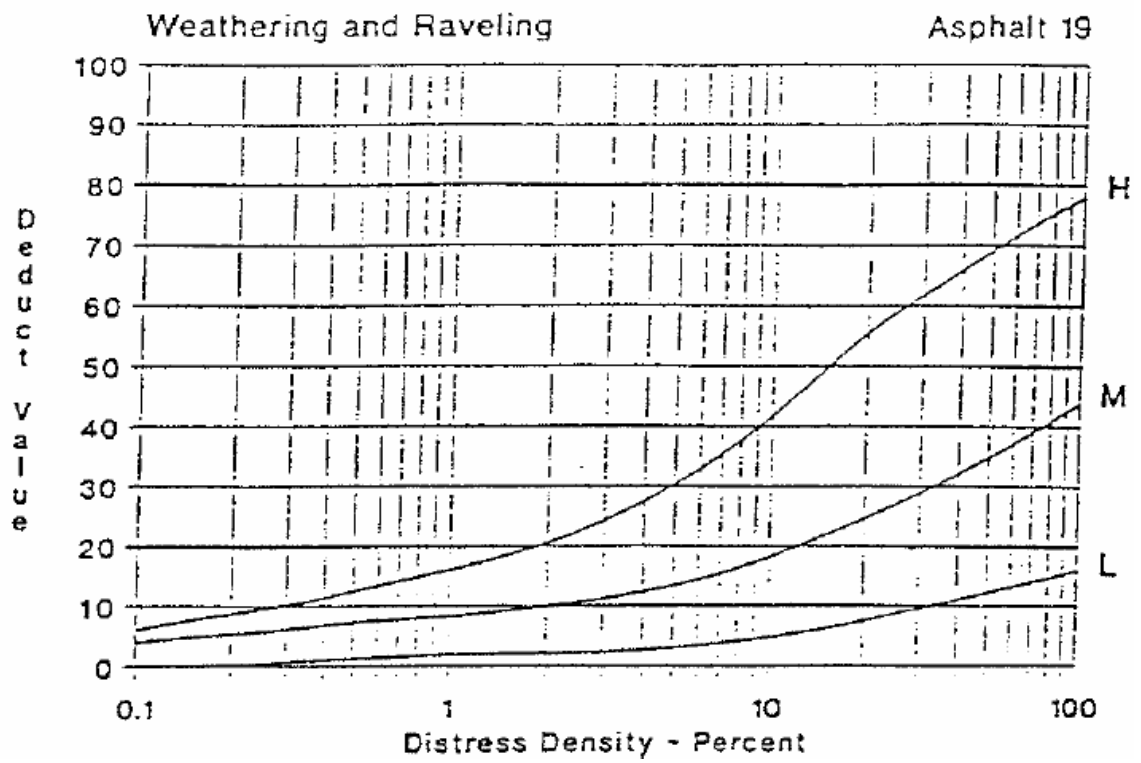


Figura E.19: Desprendimiento de agregados
Fuente: ASTM D6433

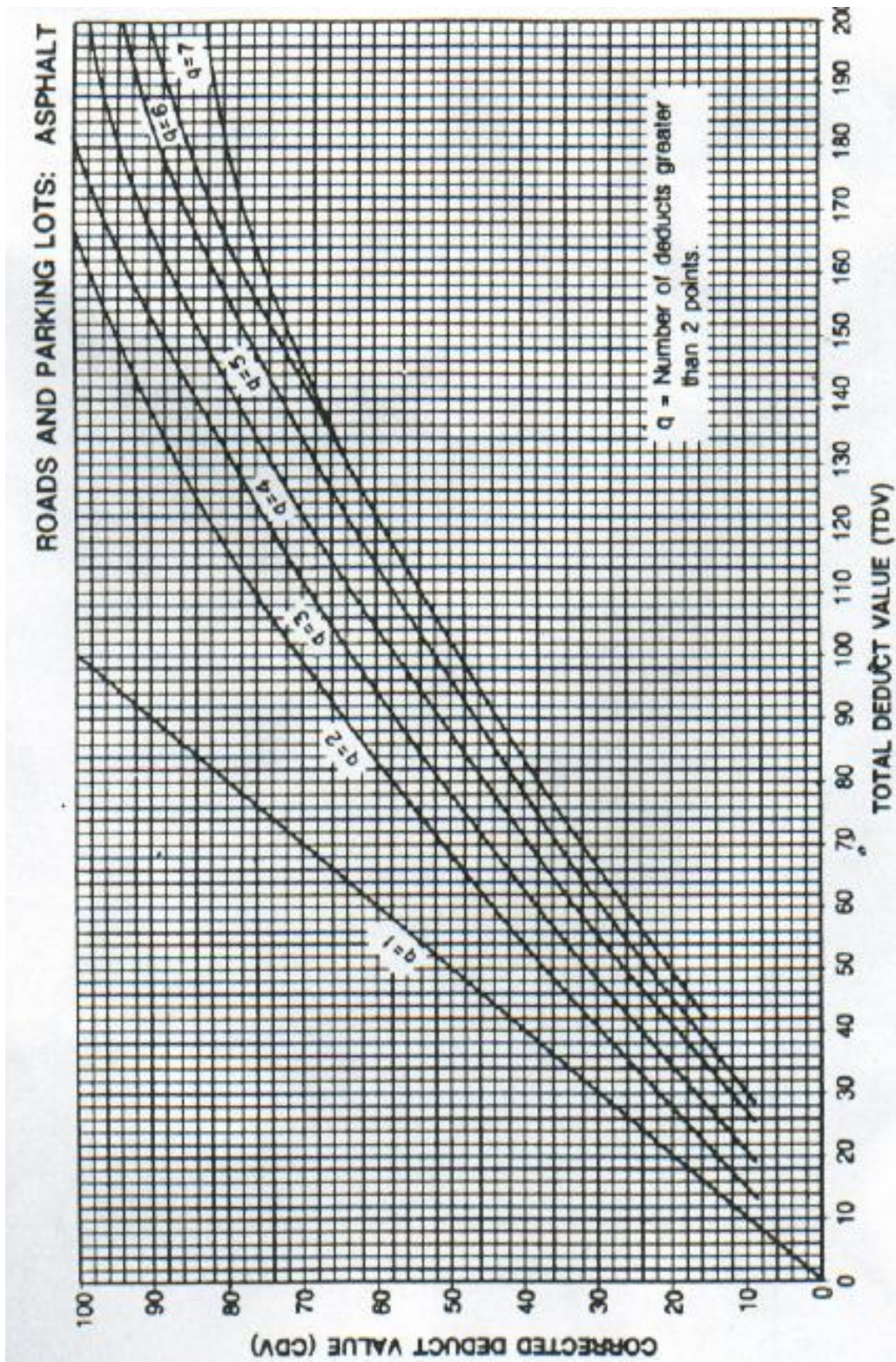


Figura E.20: Valor deducido total.
Fuente: ASTM D6433