



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Desarrollo de una herramienta computacional basada en la lógica difusa para la gestión de vías en servicio

José Luis Mercado Pérez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Área Curricular de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
Mayo de 2017

Desarrollo de una herramienta computacional basada en la lógica difusa para la gestión de vías en servicio

José Luis Mercado Pérez

Trabajo Final de Profundización presentado como requisito para optar al título de:
Magíster en Ingeniería - Geotecnia

Directora:
Ph.D., Ing. Gloria Inés Beltrán Calvo

Línea de Investigación:
Materiales y Pavimentos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Área Curricular de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
Mayo de 2017

Dedicatoria

A mi esposa Shelley

Por su amor y apoyo incondicional, que me brindaron la fuerza y motivación para alcanzar esta meta.

A mis padres

Porque a pesar de la distancia, siempre puedo contar con su apoyo, sus enseñanzas y su guía.

Agradecimientos

A la profesora Gloria Inés Beltrán Calvo por su guía, paciencia y sus conocimientos, los cuales hicieron posible la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Manuel José Meza Soto, por su apoyo y motivación constante en el desarrollo de mis estudios.

A la empresa HyF Ingeniería por su interés en el desarrollo de este proyecto y por el suministro de los datos técnicos empleados en el presente trabajo.

A todos mis compañeros de estudio, por su apoyo y ayuda que hicieron más fácil recorrer este camino.

Resumen

En este trabajo final de maestría, se propone una metodología para la gestión de pavimentos flexibles en servicio, basada en los conceptos de la lógica difusa. Considerando que las decisiones de mantenimiento y conservación para un pavimento, están directamente relacionadas con su condición o estado estructural y funcional, se proponen sistemas de inferencia difusos (SID) que permiten evaluar la rigidez, deterioro, condición estructural y funcional del pavimento; con el propósito de recomendar estrategias de mantenimiento, conservación y rehabilitación.

Los sistemas desarrollados se basaron en estructuras de pavimento convencionales con tres capas: subrasante, granulares y asfáltica. Para la evaluación de los modelos propuestos se emplearon datos de exploración no destructiva ejecutada en tres tramos de vías a concesionar en Colombia. Esta información incluyó mediciones de daños superficiales, deflectometría y mediciones del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Con el fin de que los sistemas propuestos fueran representativos de la práctica en nuestro medio, los resultados se expresaron en términos lingüísticos, los cuales son de uso común en la evaluación de pavimentos. Los sistemas desarrollados permitieron representar el conocimiento experto y variables de naturaleza subjetiva, los cuales pueden ser empleados para una caracterización más completa de la condición estructural y funcional de pavimentos en servicio.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que la Lógica Difusa puede ser empleada como una herramienta para optimizar el proceso de evaluación de condición de pavimentos, la determinación de sectores de comportamiento homogéneos y la toma de decisiones de mantenimiento y conservación, ya que permite la sistematización del conocimiento experto y de la práctica profesional.

Palabras clave: Gestión de pavimentos, Pavimentos flexibles, Lógica Difusa, Evaluación de Pavimentos, Sistemas de inferencia difusa.

Abstract

This final work proposes a methodology for management of existing flexible pavement, based on Fuzzy Logic concepts. Considering that decision making processes, related to conservation and maintenance of existing pavements, are directly related to structural and functional condition, Fuzzy Inference Systems – FIS are proposed to evaluate stiffness, deterioration, structural condition and functional condition, in order to recommend maintenance, conservation and rehabilitation strategies.

The developed system was based on conventional three layers pavement structures: subgrade, granular layers and asphalt concrete layer. To evaluate the proposed model, non-destructive test data along three sections of toll roads in Colombia was used. The information included measurements of surface damage, surface deflections and International Regularity Index (IRI). With the aim that the proposed systems were representative of the practice in our country, the results were expressed in linguistic terms of a subjective nature, which are commonly used in the pavement evaluation. The developed systems allowed representing expert knowledge and variables of subjective nature, so they can be used for further characterization of the structural and functional condition of flexible pavements.

Based on the results obtained, it can be concluded that Fuzzy Logic can be used as an optimization tool for the pavement condition evaluation, the determination of homogeneous sectors and the decision making about maintenance and conservation strategies, since it allows the systematization of expert knowledge and professional practice.

Keywords: (Pavement Management, Flexible pavements, Fuzzy Logic, Pavement evaluation, Pavement assessment, Fuzzy inference systems).

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	XI
Contenido	XIII
Lista de figuras	XV
Lista de tablas	21
Lista de anexos	23
Introducción	24
1 Aspectos teóricos	27
1.1 Gestión de pavimentos.....	27
1.1.1 Historia de la gestión de pavimentos	28
1.1.2 Metodologías de gestión de pavimentos.....	29
1.1.3 Componentes de un sistema de gestión de pavimentos	30
1.1.4 La gestión vial en Colombia	31
1.2 Fundamentos de la Lógica difusa.....	33
1.2.1 Conjuntos difusos y funciones de pertenencia	33
1.2.2 Operadores difusos e inferencia en Lógica Difusa	34
1.2.3 Sistema de inferencia difuso.....	35
1.2.4 Defusificación	36
1.2.5 Base de conocimiento del sistema difuso	36
2 Antecedentes	39
3 Metodología	45
4 Diseño del modelo basado en lógica difusa	47
4.1 Definición de parámetros.....	47
4.1.1 Parámetros estructurales.....	47
4.1.2 Parámetros funcionales	51
4.2 Rangos propuestos	54
4.2.1 Parámetros estructurales.....	54
4.2.2 Parámetros funcionales	55
4.3 Criterios de aceptación de parámetros del pavimento	57
4.4 Fusificación de parámetros de condición del pavimento.....	58
4.4.1 Fusificación de parámetros estructurales.....	59
4.4.2 Fusificación parámetros funcionales	66
4.5 Diseño de los sistemas de inferencia difusa	71
4.5.1 SID _{rigidez}	72
4.5.2 SID _{deterioro}	75

4.5.3	SID _{estructural}	79
4.5.4	SID _{funcional}	80
4.5.5	SID _{decisión}	81
4.6	Programación del modelo en MATLAB®.....	91
5	Aplicación del modelo - validación.....	95
5.1	Estudios de caso.....	95
5.2	Resultados vía Hoyo rico – Caucasia.....	97
5.2.1	Funciones trapezoidales.....	97
▪	Análisis de sectores homogéneos	100
5.2.2	Funciones triangulares	104
▪	Análisis de sectores homogéneos	107
5.2.3	Funciones combinadas.....	109
▪	Análisis de sectores homogéneos	112
5.2.4	Comparación de resultados.....	115
5.3	Resultados vía Alcalá - Pereira	122
5.3.1	Funciones trapezoidales.....	122
▪	Análisis de sectores homogéneos	125
5.3.2	Funciones triangulares	127
▪	Análisis de sectores homogéneos	129
5.3.3	Funciones combinadas.....	131
▪	Análisis de sectores homogéneos	133
5.3.4	Comparación de resultados.....	135
5.4	Resultados vía Armenia - Cartago	138
5.4.1	Funciones trapezoidales.....	138
▪	Análisis de sectores homogéneos	140
5.4.2	Funciones triangulares	142
▪	Análisis de sectores homogéneos	145
5.4.3	Funciones combinadas.....	147
▪	Análisis de sectores homogéneos	149
5.4.4	Comparación de resultados.....	151
5.5	Análisis de la sectorización obtenida.....	154
6	Conclusiones y recomendaciones	157
6.1	Conclusiones	157
6.2	Recomendaciones	159
	Bibliografía	161

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Principales actividades de un sistema de gestión de pavimentos.....	28
Figura 1-2: Representación lógica clásica y difusa [4].	34
Figura 1-3: Estructura de un sistema difuso	35
Figura 1-4: Mecanismo de inferencia y defusificación en el SID de Mandami [4]......	36
Figura 4-1: Prueba deflectometría y cuenco de deflexiones [4].	48
Figura 4-2: Cuenco de deflexiones e índices de forma.	49
Figura 4-3: Comparación valores de IRI.	57
Figura 4-4: Comparación valores de coeficiente de fricción.....	57
Figura 4-5: Comparación valores de ahuellamiento.....	58
Figura 4-6: Fusificación trapezoidal deflexión central máxima $N_{8,2} < 0,5$ millones.....	59
Figura 4-7: Fusificación trapezoidal deflexión central máxima $N_{8,2} = 0,5 - 5$ millones. ..	59
Figura 4-8: Fusificación trapezoidal deflexión central máxima $N_{8,2} > 5$ millones.	60
Figura 4-9: Fusificación trapezoidal índice BLI.	60
Figura 4-10: Fusificación trapezoidal índice MLI.....	60
Figura 4-11: Fusificación trapezoidal índice LLI.....	60
Figura 4-12: Fusificación trapezoidal número estructural, SN_{eff}/SN_{req}	61
Figura 4-13: Fusificación trapezoidal ahuellamiento.	61
Figura 4-14: Fusificación trapezoidal fisuración longitudinal.	61
Figura 4-15: Fusificación trapezoidal fisuración piel de cocodrilo.....	61
Figura 4-16: Fusificación trapezoidal módulo capa asfáltica.	62
Figura 4-17: Fusificación trapezoidal módulo capa granular.	62
Figura 4-18: Fusificación trapezoidal módulo subrasante.	62
Figura 4-19: Fusificación triangular deflexión central máxima $N_{8,2} < 0,5$ millones.....	63
Figura 4-20: Fusificación triangular deflexión central máxima $N_{8,2} = 0,5 - 5$ millones.	63
Figura 4-21: Fusificación triangular deflexión central máxima $N_{8,2} > 5$ millones.	63
Figura 4-22: Fusificación triangular índice BLI.	64
Figura 4-23: Fusificación triangular índice MLI.	64
Figura 4-24: Fusificación triangular índice LLI.	64
Figura 4-25: Fusificación triangular número estructural, SN_{eff}/SN_{req}	64
Figura 4-26: Fusificación triangular ahuellamiento.....	65
Figura 4-27: Fusificación triangular fisuración longitudinal.....	65
Figura 4-28: Fusificación triangular fisuración piel de cocodrilo.	65
Figura 4-29: Fusificación triangular módulo capa asfáltica.....	65
Figura 4-30: Fusificación triangular módulo capa granular.....	66
Figura 4-31: Fusificación triangular módulo subrasante.....	66
Figura 4-32: Fusificación trapezoidal IRI.....	66
Figura 4-33: Fusificación trapezoidal fricción.	67
Figura 4-34: Fusificación trapezoidal fisuras transversales.....	67
Figura 4-35: Fusificación trapezoidal fisuras de borde.	67
Figura 4-36: Fusificación trapezoidal ojos de pescado.	67
Figura 4-37: Fusificación trapezoidal descaramiento.	68
Figura 4-38: Fusificación trapezoidal pulimento de agregados.	68
Figura 4-39: Fusificación trapezoidal exudación.	68
Figura 4-40: Fusificación triangular IRI.	69

Figura 4-41: Fusificación triangular fricción.	69
Figura 4-42: Fusificación triangular fisuras transversales.	69
Figura 4-43: Fusificación triangular fisuras de borde.	70
Figura 4-44: Fusificación triangular ojos de pescado.	70
Figura 4-45: Fusificación triangular descaramiento.	70
Figura 4-46: Fusificación triangular pulimento de agregados.	70
Figura 4-47: Fusificación triangular exudación.	71
Figura 4-48: Esquema del modelo global.	71
Figura 4-49: SID _{rigidez} Funciones trapezoidales y combinadas.	77
Figura 4-50: SID _{rigidez} Funciones triangulares.	78
Figura 4-51: SID _{deterioro} Funciones trapezoidales.	82
Figura 4-52: SID _{deterioro} Funciones triangulares.	83
Figura 4-53: SID _{deterioro} Funciones combinadas.	84
Figura 4-54: SID _{estructural} Funciones trapezoidales.	85
Figura 4-55: SID _{estructural} Funciones triangulares.	85
Figura 4-56: SID _{estructural} Funciones combinadas.	86
Figura 4-57: SID _{funcional} Funciones trapezoidales.	86
Figura 4-58: SID _{funcional} Funciones triangulares.	87
Figura 4-59: SID _{funcional} Funciones combinadas.	87
Figura 4-60: SID _{decisión} Funciones trapezoidales.	89
Figura 4-61: SID _{decisión} Funciones triangulares y combinadas.	90
Figura 4-62: Visores de la herramienta Lógica Difusa MATLAB. Editor de funciones de membresía (arriba a la izquierda), Editor SID (centro), Editor de reglas (arriba a la derecha), Visor de reglas (abajo a la izquierda) y Visor de superficie (abajo a la derecha).	92
Figura 4-63: Ejemplo diseño SID _{funcional}	92
Figura 4-64: Ejemplo interface de reglas de inferencia.	92
Figura 4-65: Manejo de datos.	93
Figura 4-66: Evaluación y resultados en MATLAB®.	93
Figura 4-67: Ejemplo evaluación funcional en MATLAB.	94
Figura 5-1: Localización Vía Hoyo rico – Caucasia.	95
Figura 5-2: Localización Vía Alcalá – Pereira.	96
Figura 5-3: Localización Vía Armenia – Cartago.	96
Figura 5-4: Resultados evaluación rigidez vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).	97
Figura 5-5: Resultados evaluación deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).	98
Figura 5-6: Resultados evaluación estructural vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones trapezoidales).	98
Figura 5-7: Resultados evaluación funcional vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones trapezoidales).	99
Figura 5-8: Resultados decisión vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones trapezoidales). ..	100
Figura 5-9: Concepto de diferencias acumuladas para delimitar secciones homogéneas.	101
Figura 5-10: Diferencias acumuladas por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).	102
Figura 5-11: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).	102
Figura 5-12: Diferencias acumuladas por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).	103

Figura 5-13: Comparativo sectorización vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales)..... 104

Figura 5-14: Resultados evaluación rigidez vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 104

Figura 5-15: Resultados evaluación deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 105

Figura 5-16: Resultados evaluación estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 105

Figura 5-17: Resultados evaluación funcional vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones triangulares)..... 105

Figura 5-18: Resultados decisión vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones triangulares)..... 106

Figura 5-19: Diferencias acumuladas por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 107

Figura 5-20: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 108

Figura 5-21: Diferencias acumuladas por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 108

Figura 5-22: Comparativo sectorización vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares)..... 109

Figura 5-23: Resultados evaluación rigidez vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 110

Figura 5-24: Resultados evaluación deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 110

Figura 5-25: Resultados evaluación estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 111

Figura 5-26: Resultados evaluación funcional vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones combinadas)..... 111

Figura 5-27: Resultados decisión vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones combinadas)..... 112

Figura 5-28: Diferencias acumuladas por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 113

Figura 5-29: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 113

Figura 5-30: Diferencias acumuladas por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 114

Figura 5-31: Comparativo sectorización vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas)..... 115

Figura 5-32: Comparación resultados rigidez vía Hoyo rico – Caucasia..... 115

Figura 5-33: Comparación resultados deterioro vía Hoyo rico – Caucasia..... 116

Figura 5-34: Comparación resultados evaluación estructural vía Hoyo rico – Caucasia..... 118

Figura 5-35: Comparación resultados evaluación funcional vía Hoyo rico – Caucasia..... 119

Figura 5-36: Comparación resultados decisión vía Hoyo rico – Caucasia..... 121

Figura 5-37: Resultados evaluación rigidez vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales)..... 123

Figura 5-38: Resultados evaluación deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales)..... 123

Figura 5-39: Resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales)..... 123

Figura 5-40: Resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales)..... 124

Figura 5-41: Resultados decisión vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales)..... 124

Figura 5-42: Diferencias acumuladas por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).	125
Figura 5-43: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).	126
Figura 5-44: Comparativo sectorización vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).	126
Figura 5-45: Resultados evaluación rigidez vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	127
Figura 5-46: Resultados evaluación deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	127
Figura 5-47: Resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	128
Figura 5-48: Resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	128
Figura 5-49: Resultados decisión vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	129
Figura 5-50: Diferencias acumuladas por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	130
Figura 5-51: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	130
Figura 5-52: Comparativo sectorización vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	131
Figura 5-53: Resultados evaluación rigidez vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	131
Figura 5-54: Resultados evaluación deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	132
Figura 5-55: Resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	132
Figura 5-56: Resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	132
Figura 5-57: Resultados decisión vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	133
Figura 5-58: Diferencias acumuladas por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	134
Figura 5-59: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	134
Figura 5-60: Comparativo sectorización vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	135
Figura 5-61: Comparación resultados rigidez vía Alcalá - Pereira.	135
Figura 5-62: Comparación resultados deterioro vía Alcalá - Pereira.	136
Figura 5-63: Comparación resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira.	136
Figura 5-64: Comparación resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira.	137
Figura 5-65: Comparación resultados decisión vía Alcalá - Pereira.	137
Figura 5-66: Resultados evaluación rigidez vía Armenia - Cartago (Funciones trapezoidales).	138
Figura 5-67: Resultados evaluación deterioro vía Armenia - Cartago (Funciones trapezoidales).	139
Figura 5-68: Resultados evaluación estructural vía Armenia - Cartago (Funciones trapezoidales).	139
Figura 5-69: Resultados evaluación funcional vía Armenia - Cartago (Funciones trapezoidales).	139
Figura 5-70: Resultados decisión vía Armenia - Cartago (Funciones trapezoidales). ..	140
Figura 5-71: Diferencias acumuladas por deterioro vía Armenia - Cartago (Funciones trapezoidales).	141

Figura 5-72: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales). 141

Figura 5-73: Comparativo sectorización vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales)..... 142

Figura 5-74: Resultados evaluación rigidez vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 143

Figura 5-75: Resultados evaluación deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 143

Figura 5-76: Resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 143

Figura 5-77: Resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 144

Figura 5-78: Resultados decisión vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 144

Figura 5-79: Diferencias acumuladas por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 145

Figura 5-80: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 146

Figura 5-81: Comparativo sectorización vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares). 146

Figura 5-82: Resultados evaluación rigidez vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas)..... 147

Figura 5-83: Resultados evaluación deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas)..... 147

Figura 5-84: Resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas)..... 148

Figura 5-85: Resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas)..... 148

Figura 5-86: Resultados decisión vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas). 149

Figura 5-87: Diferencias acumuladas por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas)..... 149

Figura 5-88: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas). 150

Figura 5-89: Comparativo sectorización vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas). 151

Figura 5-90: Comparación resultados rigidez vía Armenia – Cartago. 151

Figura 5-91: Comparación resultados deterioro vía Armenia – Cartago..... 152

Figura 5-92: Comparación resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago. ... 153

Figura 5-93: Comparación resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago. 153

Figura 5-94: Comparación resultados decisión vía Armenia – Cartago..... 154

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Metodología desarrollada.....	45
Tabla 4-1: Deflexión central máxima, D_0 (mm) [3].	54
Tabla 4-2: Parámetros HORAK [11].	55
Tabla 4-3: Número estructural, SN [13].	55
Tabla 4-4: Ahuellamiento.....	55
Tabla 4-5: Fisuras longitudinales.....	55
Tabla 4-6: Piel de cocodrilo.	55
Tabla 4-7: Índice de regularidad internacional (IRI).	55
Tabla 4-8: Fricción.	56
Tabla 4-9: Fisuras transversales.	56
Tabla 4-10: Fisuras de borde.	56
Tabla 4-11: Ojos de pescado.....	56
Tabla 4-12: Descascaramiento.....	56
Tabla 4-13: Pulimento agregados. (Propuesta propia).	56
Tabla 4-14: Exudación.	56
Tabla 4-15: Reglas de inferencia SID <small>rigidez</small>	72
Tabla 4-16: Reglas de inferencia SID <small>deterioro</small>	76
Tabla 4-17: Reglas de inferencia SID <small>estructural</small>	79
Tabla 4-18: Reglas de inferencia SID <small>funcional</small>	80
Tabla 4-19: Reglas de inferencia SID <small>decisión</small>	88
Tabla 5-1: Solución Tabulada, Aproximaciones Sucesivas.....	100
Tabla 5-2: Sectores homogéneos por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).	102
Tabla 5-3: Sectores homogéneos por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).....	103
Tabla 5-4: Sectores homogéneos por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).....	103
Tabla 5-5: Sectores homogéneos por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).....	107
Tabla 5-6: Sectores homogéneos por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).	108
Tabla 5-7: Sectores homogéneos por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).	109
Tabla 5-8: Sectores homogéneos por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).	113
Tabla 5-9: Sectores homogéneos por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).....	114
Tabla 5-10: Sectores homogéneos por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).....	114
Tabla 5-11: Sectores homogéneos por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).	125

Tabla 5-12: Sectores homogéneos por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).	126
Tabla 5-13: Sectores homogéneos por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	130
Tabla 5-14: Sectores homogéneos por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).	130
Tabla 5-15: Sectores homogéneos por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	134
Tabla 5-16: Sectores homogéneos por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).	134
Tabla 5-17: Sectores homogéneos por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).	141
Tabla 5-18: Sectores homogéneos por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).	142
Tabla 5-19: Sectores homogéneos por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).	145
Tabla 5-20: Sectores homogéneos por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).	146
Tabla 5-21: Sectores homogéneos por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).	150
Tabla 5-22: Sectores homogéneos por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).	150
Tabla 5-23: Comparación sectorización Hoyo rico - Caucasia	155
Tabla 5-24: Comparación sectorización Alcalá - Pereira	155
Tabla 5-25: Comparación sectorización Armenia - Cartago	155

Lista de anexos

- A. Anexo: Algoritmos desarrollados**
- B. Anexo: Resultados tramo Hoyo rico – Caucasia**
- C. Anexo: Resultados tramo Alcalá – Pereira**
- D. Anexo: Resultados tramo Armenia - Cartago**

Introducción

Con el incremento en la construcción de la red vial nacional en Colombia, el advenimiento del modelo de vías concesionadas y la aparición reciente del modelo de asociación público privada (APP), la gestión vial, entendida como la evaluación del estado de una vía con miras a definir necesidades de conservación, mantenimiento y rehabilitación/reconstrucción, ha tomado gran importancia, como una herramienta que permite optimizar los recursos disponibles, garantizando la calidad y comodidad para los usuarios que emplean las vías.

Por este motivo, las entidades encargadas de la administración del activo vial en nuestro país, han encaminado sus esfuerzos en el desarrollo de directrices, metodologías y recomendaciones que permitan a los profesionales en el área de vías, tomar decisiones eficientes, con base en la mayor cantidad de información disponible. Es este sentido, cabe destacar que ya se dispone en el país de equipos de medición para los diferentes parámetros estructurales y funcionales del pavimento, lo que ha permitido grandes avances en el tema de gestión.

Los sistemas de evaluación propuestos por las entidades locales, específicamente lo que concierne a la toma de decisiones, están basados en modelos desarrollados a nivel internacional, por ejemplo HDM-4, y en la experiencia en proyectos viales en nuestro país. Estos modelos suelen considerar un número limitado de parámetros o variables asociadas con la condición o estado funcional y estructural pavimento, restringiendo el manejo de gran cantidad de información que ya se puede obtener en el país, respecto a la evaluación del pavimento. Adicionalmente, existen variables cualitativas que aportan información valiosa pero que difícilmente pueden integrarse en las evaluaciones, por su carácter lingüístico.

Teniendo en cuenta estas limitantes, se desarrolla en el presente trabajo un sistema de gestión de pavimentos, basado en las técnicas de inteligencia artificial, específicamente la Lógica Difusa. El empleo de esta técnica permitió la sistematización del conocimiento y la experiencia en el área de pavimentos, y el manejo de grandes bases de datos, realizando evaluaciones de condición de pavimentos y toma de decisiones de intervención de manera rápida y confiable, integrando variables cualitativas y cuantitativas para aportar una descripción más completa del pavimento.

El trabajo final se enmarca en la línea de Materiales y Pavimentos de la Maestría en Ingeniería – Geotecnia y se presenta para optar por el título de Magister en Ingeniería – Geotecnia.

En principio y a modo de introducción, se presentan los elementos contextuales del trabajo, tales como el planteamiento del problema, los objetivos, alcances, limitaciones y aportes esperados. En el capítulo 1 se presenta la fundamentación teórica necesaria para aportar comprensión al trabajo desarrollado, mientras en los capítulos 2 y 3 se presentan los antecedentes consultados y la metodología empleada. En el capítulo 4 se presenta el diseño del modelo propuesto, en tanto que en el capítulo 5 se muestra la aplicación y resultados

obtenidos. Por último, se incluyen las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo en el capítulo 6.

▪ **Planteamiento del problema**

Los métodos tradicionales para la evaluación de la condición de pavimentos flexibles empleados en el país, utilizan principalmente indicadores cualitativos, basados en la experiencia existente en este tipo de proyectos. A partir de esta experiencia, se establecen unos rangos de calificación para la condición del pavimento, los cuales se expresan en términos lingüísticos (por ejemplo: alto, medio y bajo) y por lo general, con alto nivel de subjetividad e incertidumbre. Con base en esta evaluación se definen convencionalmente las intervenciones de conservación y mejoramiento necesarias para garantizar el buen funcionamiento de la vía. La utilización de este sistema maximiza la subjetividad en el análisis, a la vez que limita el número de parámetros que se pueden emplear. De igual forma, se desaprovecha una cantidad valiosa de información de mediciones de parámetros estructurales y funcionales del pavimento, ya que es un sistema que no permite fácilmente la sistematización y el procesamiento de grandes bases de datos.

Con el propósito de ejecutar análisis más completos, involucrando un número mayor de parámetros, se emplean las herramientas de inteligencia artificial, especialmente la Lógica Difusa. Esta herramienta permite el análisis de problemas multivariado, teniendo en cuenta las imprecisiones e incertidumbres que implica el razonamiento convencional; igualmente, es de especial utilidad en el abordaje de problemas en los cuales el análisis se realiza a través de variables y clasificaciones expresadas de forma lingüística, lo cual es común en la evaluación de pavimentos en nuestro medio, como ya se mencionó.

Con este trabajo se explora la posibilidad de mejorar el sistema actual implementado en Colombia para la evaluación de la condición y definición de alternativas de intervención de pavimentos flexibles, basado en mediciones de condición (funcional y estructural) y la aplicación de técnicas de la Lógica Difusa. Aunque el modelo propuesto puede utilizarse para cualquier sistema de pavimento en Colombia, ya que se basa en los criterios empleados en la práctica de nuestro medio, se validará con tres casos específicos de los corredores Hoyo rico – Cauca, Alcalá – Pereira y Armenia – Cartago, en el centro del país, de los cuales se dispone de una robusta base de datos de mediciones de parámetros estructurales y funcionales, realizada en el año 2015.

▪ **Objetivos**

El objetivo general del presente trabajo final consiste en desarrollar una aplicación basada en la Lógica Difusa, con el fin de caracterizar la condición de pavimentos y definir estrategias de intervención y toma de decisiones sobre rehabilitación y conservación de pavimentos flexibles en servicio, aplicable en nuestro medio.

Los objetivos específicos con los que se pretende alcanzar el objetivo general son los siguientes:

- Identificar las variables significativas de comportamiento y desempeño de los corredores viales en estudio, susceptibles de ser manejadas mediante la técnica de la lógica difusa.

- Validar los criterios fundamentales empleados en la práctica para la evaluación del estado de pavimentos en servicio y la priorización de intervenciones, a través de la revisión de la literatura disponible a nivel internacional y de las metodologías propuestas por las entidades públicas de nuestro país.
- Definir la categorización y clasificación de la condición del pavimento, junto con sus respectivas intervenciones, con base en las principales variables identificadas y en los conceptos cualitativos obtenidos con base en la experiencia.
- Implementar una herramienta de cómputo basada en las técnicas de Lógica Difusa, que permita el procesamiento de datos de condición del pavimento y la definición de alternativas de intervención.

▪ **Alcances y limitaciones**

El sistema de gestión propuesto contempló una serie de parámetros identificados como los más representativos de la condición del pavimento, basado en la revisión de literatura y la experiencia en nuestro medio. Para casos específicos donde se requiera incluir algún parámetro adicional que se considere relevante, deben realizarse los ajustes pertinentes.

El sistema emplea mediciones de deflectometría, la cual mide la respuesta elástica de las capas del pavimento en servicio. Por lo tanto, evaluaciones en pavimentos cuyo nivel de daño ya sobrepasó la respuesta elástica, no ofrecerán resultados confiables.

▪ **Aportes**

El sistema de gestión propuesto, basado en la Lógica Difusa, es el primero desarrollado para las condiciones del medio colombiano, como complemento a los sistemas de evaluación tradicionales. Entre los aportes más importantes se tienen los siguientes:

- Permite el manejo de variables cualitativas de carácter lingüístico, las cuales son las más empleadas en la evaluación de pavimentos en nuestro país.
- Permite el manejo de bases de datos amplias de forma rápida, a través de herramientas computacionales de fácil manejo.
- Reduce la incertidumbre en los resultados, ya que utiliza los rangos intermedios de las variables de condición del pavimento.
- Automatiza el conocimiento experto y de la práctica, que en los métodos tradicionales de evaluación queda desaprovechado en buena medida.
- Las calificaciones obtenidas sirvieron como base para la sectorización de tramos viales, obteniendo resultados confiables.
- Se realiza una evaluación de la incidencia de la forma de las dos funciones de pertenencia más utilizadas en la Lógica Difusa, lo cual hasta el momento no se ha discutido en ninguno de los estudios previos disponibles y consultados.

1 Aspectos teóricos

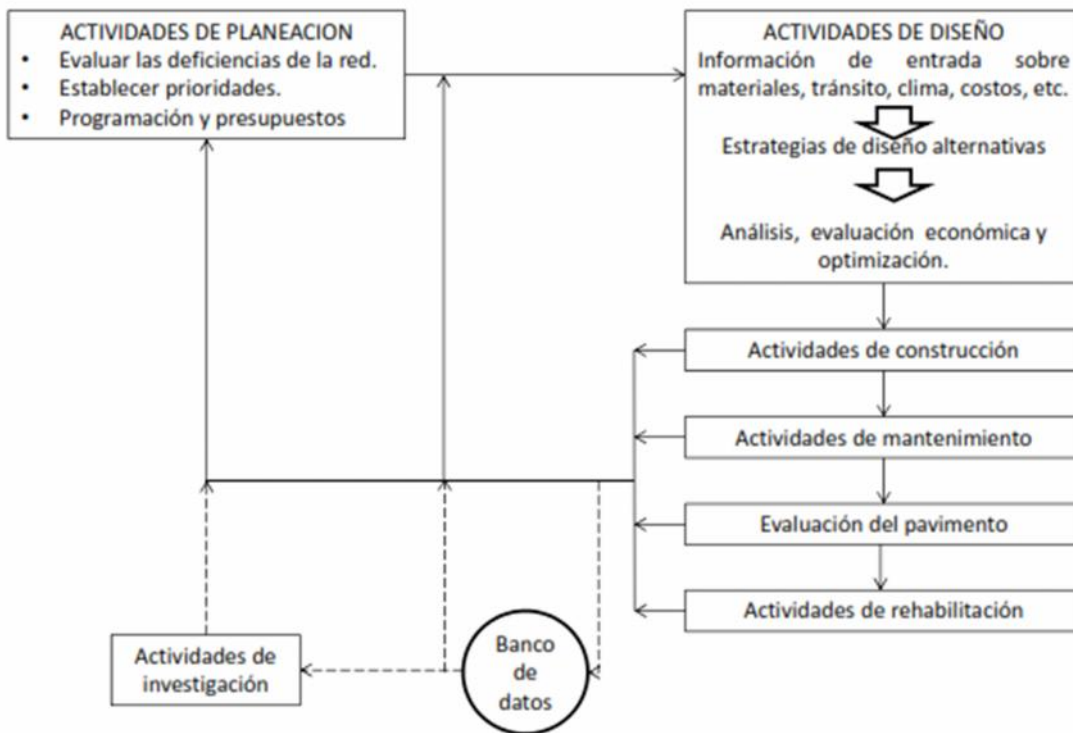
El presente capítulo contiene los conceptos teóricos más relevantes que se relacionan con el tema abordado en el trabajo final de maestría. Inicialmente se desarrollarán los conceptos relacionados con la gestión de pavimentos y los sistemas y programas que involucran estas actividades. Posteriormente se describen aspectos relacionados con la Lógica Difusa.

1.1 Gestión de pavimentos

De acuerdo a la definición dada por la (AASHTO, 1993), la gestión de pavimentos abarca todas las actividades de planeación, diseño, construcción, mantenimiento, evaluación y rehabilitación de un segmento de pavimento, perteneciente a una red de carreteras. Por su parte, un sistema de gestión de pavimentos (Project Management System, PMS por sus siglas en inglés) se define como un conjunto de herramientas o métodos que permiten a las personas encargadas de la toma de decisiones encontrar estrategias óptimas para evaluar y mantener un pavimento en condiciones de servicio, durante un periodo de tiempo dado. El objetivo de un sistema de gestión de pavimentos, es mejorar el proceso de toma de decisiones con respecto a las intervenciones de mantenimiento periódico y rutinario que se deben acometer en un pavimento, a partir de mediciones de la condición y estado del mismo.

La gestión de pavimentos se trabaja a dos niveles generalizados: 1) nivel de red o también llamado nivel de programa y 2) nivel de proyecto. En el primer grupo se trabaja a nivel de red o conjunto de vías administradas por una entidad, o con relación geográfica u operacional entre ellas; mientras que en el segundo se trabaja con proyectos específicos. Los inicios de la gestión vial se caracterizaron por el trabajo a nivel de proyectos, sin embargo, el advenimiento de la tecnología y las facilidades en el almacenamiento y manejo de datos, han permitido que se implementen sistemas de gestión más detallados, involucrando múltiples parámetros para el análisis de redes viales.

En la Figura 1-1, se muestran las principales actividades que forman un sistema de gestión de pavimentos, de acuerdo a AASHTO (1993).

Figura 1-1: Principales actividades de un sistema de gestión de pavimentos

Fuente: Guía de diseño (AASHTO, 1993)

1.1.1 Historia de la gestión de pavimentos

Desde la existencia de vías para la comunicación de los diferentes centros urbanos, ha existido la gestión de pavimentos. Se tienen registros de antecedentes de la gestión vial mencionados por Haas (2001), donde hace dos mil años los romanos construyeron y administraron un sistema de carreteras a través de toda Europa. A finales del siglo XVIII, Tresaguet administró las carreteras francesas para el rey Luis XVI, mientras que McAdam construyó y realizó la gestión de vías en Inglaterra. Sir Thomas Telford, escribió un tratado en 1820, acerca de la gestión en las autopistas del reino. En los Estados Unidos, la construcción de vías pavimentadas comenzó en el siglo XIX y continuó su crecimiento en el siglo XX, con la aparición del automóvil. Luego de la segunda guerra mundial hubo un gran auge en la construcción de vías, lo que llevó al desarrollo de investigaciones sobre el pavimento, siendo el ensayo vial AASHO (AASHO Road Test desarrollado entre 1958 y 1961) la base fundamental de los conceptos del diseño, y por consiguiente, de la gestión de pavimentos.

Los inicios de la gestión de pavimentos comenzaron en la década de los sesentas, con el enfoque inicial hacia el análisis económico. En los años setentas aparecieron las primeras publicaciones acerca del tema y los reportes sobre los primeros sistemas de gestión de pavimentos (PMS). La combinación de los avances tecnológicos y de la ampliación de la base de conocimientos de la ingeniería de pavimentos, ha permitido que

el uso de los sistemas de gestión se haya extendido a diferentes países en todo el mundo.

Haas (2001) identifica una serie de hitos que a su juicio han marcado el desarrollo de la gestión de pavimentos, los cuales agrupa en cuatro categorías:

- **Expansión de las redes viales:** esta se dio en los países desarrollados, principalmente después de la guerra y en tiempos más recientes, en los países en vías de desarrollo. El aumento en las inversiones y la importancia estratégica de las vías en la dinámica económica de los países, han contribuido a la concentración de esfuerzos en la administración de este activo.
- **Tecnología:** los avances en la ingeniería de pavimentos están ligados al desarrollo de la gestión. Entre estos se cuentan el enfoque sistémico, el análisis del costo de ciclo de vida del pavimento, las mejoras en la precisión y rendimiento de los equipos de medición, y el uso de tecnologías como las plataformas de sistemas de información geográfica (GIS). A lo anterior se suman las múltiples investigaciones en los diferentes países, tendientes a establecer y refinar los modelos de predicción del desempeño del pavimento, así como las investigaciones encaminadas a mejorar el comportamiento de los materiales que conforman las estructuras de pavimentos. Por último, a nivel constructivo se han presentado avances importantes en los métodos de conservación y mantenimiento, especialmente desde la década de los ochenta.
- **Evaluación:** la metodología de análisis del costo del ciclo de vida del pavimento se ha convertido en una base fundamental de los sistemas de gestión. Se basa en la comparación de los costos de inversión de un proyecto (construcción y mantenimientos) contra los beneficios que percibe el usuario o los costos que ahorra en la circulación.
- **Alcance e importancia de la gestión:** este aspecto es más notable en los países en vías de desarrollo, donde la expansión de las redes viales ha decrecido, por las limitantes presupuestales. Por lo tanto, la conservación, mantenimiento y rehabilitación de las vías reviste mayor importancia.

No se puede olvidar que la tendencia a nivel mundial y en nuestro país, es la delegación de la administración de las vías, a través de contratos de concesión. Es posible que esto genere un cambio de enfoque y prioridades, considerando que la gestión se ha concebido inicialmente desde el punto de vista de la administración de un bien público.

1.1.2 Metodologías de gestión de pavimentos

Existen diferentes enfoques para realizar la gestión de pavimentos, los cuales dependen del nivel de sofisticación de los datos disponibles, así como de las necesidades y el alcance que se requiera para el análisis. Se tienen las siguientes tres metodologías:

- **Análisis de la condición del pavimento:** este enfoque es el más simple y se basa en tomar los datos de mediciones de condición del pavimento (daños, IRI, etc.) con el fin de establecer un índice de condición del pavimento. Cada uno de los factores que conforman el índice, puede tener un peso dado dentro de la calificación global, de acuerdo con su importancia o influencia en el estado de la vía. Con base en este índice calculado se selecciona una estrategia de mantenimiento y/o rehabilitación del pavimento. Usualmente este tipo de análisis se basa únicamente en una evaluación de la condición actual del pavimento, sin tener en consideración un análisis multianual.

- Modelos de evaluación de prioridades: este enfoque emplea modelos de predicción del pavimento con base en diferentes variables, como el tránsito, clima, historia de desempeño, entre otros. A partir de estas predicciones, se realizan diferentes propuestas de intervención del pavimento, las cuales se priorizan de acuerdo a diferentes criterios. Entre los más usados están los de tipo económico, como la relación costo/beneficio y el análisis del costo de vida del pavimento. Este método ofrece la ventaja de que el análisis no se basa exclusivamente en los costos actuales, sino que considera los costos en todo el periodo de vida útil, lo cual es fundamental a la hora de tomar decisiones.
- Modelo de optimización de red: este enfoque se basa en determinar las estrategias que maximizan el beneficio o minimizan los costos en una red vial en operación. La estrategia óptima para la red se determina primero y luego se definen las intervenciones específicas para cada proyecto. Por ejemplo, este modelo puede definir si dado un cierto presupuesto, es más conveniente realizar proyectos de mayor costo en una porción pequeña de la red; o en su defecto, realizar proyectos de menor costo, en una porción más grande de la red.

1.1.3 Componentes de un sistema de gestión de pavimentos

De acuerdo con Peterson (1987), la mayoría de las definiciones de un sistema de gestión de pavimentos, coinciden en mencionar cinco elementos fundamentales que lo componen:

- Inspecciones de la condición del pavimento: es una de las herramientas más usadas desde el inicio de este tipo de sistemas. Consisten en realizar un levantamiento de información relativa al estado del pavimento en un momento dado. Este procedimiento se puede efectuar de manera manual o a través de equipos, a partir de campañas de mediciones.
- Bases de datos con información relativa al pavimento: constituyen una herramienta poderosa, la cual se ha vuelto más útil ya que los avances tecnológicos han permitido mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos históricos.
- Esquema de análisis: los desarrollos computacionales han permitido el uso de algoritmos cada vez más complejos para el procesamiento de datos, para realizar el análisis de ciclo de vida y la optimización y predicción del comportamiento del pavimento.
- Criterios de decisión: son las reglas que soportan la toma de decisiones. El desarrollo de los sistemas de gestión ha derivado en criterios más complejos, los cuales cada vez involucran mayor número de variables y de modelos de comportamiento de las mismas.
- Procedimientos de implementación: involucra criterios políticos, presupuestales y técnicos, para aplicar el resultado de la gestión de pavimentos a secciones viales.

Independiente del enfoque que se le dé al sistema de gestión, es fundamental contar con una base de datos robusta, que permita conocer el estado del pavimento, a través de diferentes variables. En la publicación 335 del National cooperative highway research program (2004) se menciona la información que debe contener una base de datos adecuada:

- Inventario: incluyendo la estructura de pavimentos, geometría, medio ambiente, entre otros.

- Uso de la vía: incluyendo volumen de tráfico y cargas, usualmente medido en ejes equivalentes (ESALS).
- Condición del pavimento: calidad de la rodadura, daños en la superficie, fricción y capacidad estructural.
- Historia de la construcción del pavimento, mantenimiento y rehabilitación.

A lo anterior, se suma la posibilidad de contar con el uso de sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), que permiten integrar el uso de esta herramienta para realizar análisis espaciales que generan mapas que representan la condición del pavimento. Esto es bastante útil para el análisis de redes grandes, manejadas por agencias o entidades estatales.

1.1.4 La gestión vial en Colombia

La construcción de carreteras en Colombia, inició en el siglo XX con la llegada del automóvil y la creación del Ministerio de Obras Públicas (MOP) en 1905, en la presidencia de Rafael Reyes. El crecimiento de la red vial fue especialmente notorio en la década de los cincuenta, en la cual el transporte automotor se convirtió en el principal medio en el país, llegando a desplazar a otros establecidos como el tren y el tranvía. Teniendo en cuenta esta coyuntura, se creó en 1942 la Dirección de Transporte y Tarifas, con el fin de controlar el transporte terrestre.

Ante el auge de la construcción vial y el deterioro de las primeras vías construidas, se hace necesaria la implementación de planes para realizar seguimiento y monitoreo de la nueva red por parte del MOPT, en aras de implementar políticas de mantenimiento vial. Es así como a principios de los años 80 se realizan los primeros estudios sobre gestión vial, así como los primeros conteos de tránsito, análisis de capacidad y niveles de servicio. En el año de 1980, el MOPT celebró un contrato de asesoría con la firma francesa SOCIÉTÉ NOUVELLE INGEROUTE, que incluyó los siguientes campos de acción (Florez Muñoz, 2001):

- Costos de mantenimiento vial.
- Organización de los almacenes de repuestos.
- Sistematización de equipos, almacenes y costos
- Equipos y talleres.
- Mantenimiento vial.
- Formación continua.

En la década de los noventa, como consecuencia de la reestructuración del estado colombiano, se liquida el Ministerio y se crea el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), entidad que se encargó de la administración de la red vial nacional y de la implementación de políticas de conservación y mantenimiento. Con el transcurrir del tiempo estas labores se fueron asignando al sector privado, a través de una serie modalidades de contratación, que son citadas y descritas de manera muy precisa por Sánchez Sabogal (2001):

- Administración del mantenimiento vial: consiste en administrar en forma permanente, durante un lapso determinado, un sector de carretera, adelantando gestiones y acciones para la correcta conservación del mismo (no incluye la ejecución de obras), a cambio de una remuneración fija mensual.

- Mantenimiento rutinario mediante microempresas: suministro de mano de obra y herramienta menor para ejecutar actividades de mantenimiento rutinario en un sector de carretera, durante un período fijo, a cambio de una determinada remuneración por kilómetro atendido.
- Mantenimiento periódico por precios unitarios: ejecución de trabajos de mantenimiento periódico en un sector de carretera a precios unitarios, en la cantidad y plazo definidos en el contrato.
- Mantenimiento integral: ejecución de obras de mantenimiento periódico y atención de emergencias, pagadas por precio unitario. También se maneja a través de actividades de administración y de mantenimiento rutinario que se pagan por cuotas mensuales fijas durante el desarrollo del contrato.
- Mantenimiento por indicadores de estado: atención completa de la conservación de un sector de carretera para que siempre permanezca dentro de rangos de estado preestablecidos para cada uno de los elementos que componen el sector, a cambio de un determinado precio mensual.
- Concesión: contrato a largo término entre el Estado y un Concesionario que asume la responsabilidad del financiamiento, construcción y mantenimiento de una carretera y su operación por peaje, a través del cual recupera parcial o totalmente la deuda y el capital de riesgo invertido en el proyecto.

En el año de 1995 se pone en marcha el programa PROVIAL, iniciativa gubernamental a cargo del INVIAS, que buscaba enfrentar el problema de avanzado deterioro de la red vial nacional, el desarrollo de la red existente y el establecimiento de políticas claras de mantenimiento y gestión vial, con base en criterios técnicos y económicos. El plan contó con apoyo, si bien no todo el deseado, del gobierno de turno, pero las prioridades del nuevo gobierno y el desbarajuste fiscal que ha tenido que enfrentar, han impedido que durante los últimos años el Plan reciba el impulso con el cual se proyectó (Sánchez Sabogal, 2001).

En los manuales de diseño que han sido generados por el INVIAS para pavimentos flexibles (INVIAS, 1998; Ministerio de Transporte & INVIAS, 2007, 2008) se ha involucrado la evaluación económica de proyectos, así como el análisis del costo del ciclo de vida del pavimento, como herramienta para la toma de decisiones entre diferentes alternativas de intervención. Estos métodos consideran los costos de inversión (construcción y mantenimiento de un proyecto) y los compara con los beneficios para los usuarios, a través de diferentes indicadores económicos, con el fin de establecer cuál es la alternativa más conveniente.

En los últimos años, la tendencia en Colombia ha sido la implementación de los modelos de concesión para proyectos viales (que inició en la década del 90 y se encuentra actualmente en la cuarta generación de concesiones o 4G). En la actualidad, también existen las Asociaciones Público Privadas (APP), en las cuales empresas privadas estructuran proyectos de inversión para ser construidos y operados en un periodo definido. Esto ha llevado a que el INVIAS y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) definan parámetros para la evaluación y priorización de corredores, a través del Programa de Mantenimiento Sostenible (PMS) Red Vial Primaria Nacional no Concesionada.

Este documento constituye la base para la definición de intervenciones, con base en la condición estructural, funcional y de drenaje de una vía, lo cual se determina a partir de

datos de mediciones de diferentes parámetros. La condición estructural se basa en las mediciones de la deflexión central (D_0) y en el número estructural del método AASHTO-93 (SN). Por su parte, la condición funcional se basa en la medición del índice de regularidad superficial (IRI) y el índice de deterioro superficial del método VIZIR (Is).

La metodología propuesta utiliza el enfoque de un sistema de gestión basado en el análisis de la condición del pavimento, definiendo un índice que representa el estado del pavimento (integrando los componentes estructural y funcional), el cual está asociado a unas intervenciones recomendadas. Estas intervenciones serían las necesarias para llevar el corredor a lo que se denomina “puesta a punto”, entendiéndose esta como un nivel aceptable de servicio y disponibilidad de la infraestructura. Luego se definen intervenciones para la etapa de mantenimiento y movilidad. Todas las etapas involucran un programa de mediciones con el fin de garantizar el cumplimiento de indicadores de calidad y servicio en la vía.

1.2 Fundamentos de la Lógica difusa

Los principios de la lógica difusa (Fuzzy Logic) fueron desarrollados por Zadeh, quien en 1965 introdujo el concepto de conjuntos difusos (Fuzzy Sets). La lógica difusa puede ser concebida como una herramienta de generalización de la lógica clásica, en la cual las reglas de inferencia o de pertenencia están formuladas de una manera general o rígida, asignándole a una variable una condición absoluta (generalmente falsa o verdadera) con respecto a un conjunto. La lógica difusa introduce el concepto de grado de pertenencia o de membresía, a través de la cual una determinada variable puede pertenecer a diferentes grupos de clasificación (o conjuntos difusos), con un cierto grado de membresía para cada uno. Por ejemplo, en la lógica clásica una variable A puede pertenecer al conjunto B, o en su defecto, al conjunto C. En la lógica difusa, una variable A puede tener un grado de pertenencia de 0,5 con el conjunto B y un grado de 0,5 con el conjunto C, en una escala de 0 a 1.

1.2.1 Conjuntos difusos y funciones de pertenencia

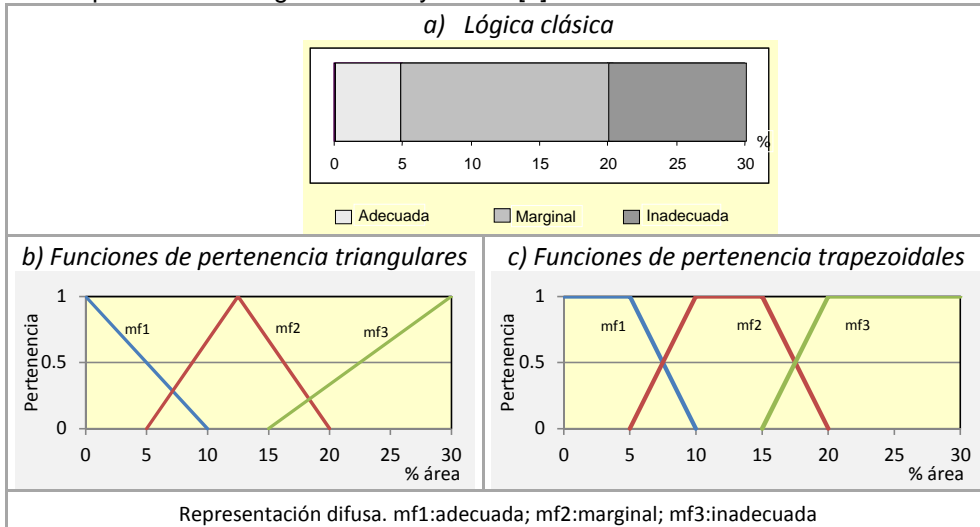
Zadeh (1965) estableció la definición básica de conjuntos difusos (Fuzzy Sets). Para cada conjunto, denotado por X, se tiene un subconjunto A caracterizado por una función de membresía, que toma valores entre 0 y 1, donde 0 indica la ausencia de pertenencia a ese conjunto y 1 la pertenencia total. En un pavimento, por ejemplo, para el conjunto daño por fisuración se pueden tener subconjuntos denominados Alto, Medio y Bajo. Es precisamente este tipo de denominación o clasificación “difusa” lo que se trata de precisar con la aplicación de esta herramienta.

A diferencia de la lógica clásica, donde la pertenencia es 0 o 1 (pertenece o no pertenece), en la lógica difusa se presenta una transición entre la no pertenencia (0) y la pertenencia total (1). Esta transición se da por la función de membresía, cuya forma es seleccionada de manera arbitraria, con base en la experiencia o por estudios estadísticos relacionados. Las más empleadas, son las de tipo triangular y trapezoidal, pero en la literatura se encuentran funciones sigmoideas, hiperbólicas, tangentes, exponenciales, Gaussianas, entre otras (Dernoncourt, Franck, 2013).

Una variable lingüística puede ser definida a partir de tres elementos que permiten su articulación con la lógica difusa. Estos elementos son: la variable, el rango de valores que puede tomar dicha variable y los atributos, representados por los conjuntos difusos que

se van a utilizar. En el siguiente ejemplo tomado de Beltrán (2012), se ilustra de manera clara la diferencia entre la lógica clásica y la lógica difusa, para una variable relacionada con pavimentos, en este caso, el porcentaje de área del pavimento fisurada por fatiga. El rango de valores que toma la variable oscila entre 0 y 30%, mientras que los conjuntos difusos seleccionados son: adecuada (mf1), marginal (mf2) e inadecuada (mf3). Se aclara que mf significa “membership function” o función de membresía.

Figura 1-2: Representación lógica clásica y difusa [4].



Fuente: Beltrán (2012)

En la parte a) de la Figura 1-2 se aprecia cómo en la lógica clásica se utilizan conjuntos o clasificaciones rígidas; por ejemplo, todos los valores entre 5 y 20% pertenecen al conjunto marginal. En la lógica difusa, representada por funciones de pertenencia (o membresía) triangulares y trapezoidales en las figuras b) y c), para los mismos valores se tiene pertenencia a los conjuntos difusos adecuada y marginal. Esto permite manejar estos rangos intermedios donde existe imprecisión o poca claridad en cuanto a la calificación que se debe asignar a la variable. El manejo y representación de variables mediante estas funciones de pertenencia, se denomina “fusificación”.

1.2.2 Operadores difusos e inferencia en Lógica Difusa

Las reglas de inferencia en la lógica difusa son de la forma SI – ENTONCES, similar a la lógica clásica. Implican el cumplimiento de ciertas premisas, las cuales conducen a realizar o no una acción relacionada. Este enfoque es muy útil en la toma de decisiones y es ampliamente utilizado por los estudiosos de sistemas expertos. Estas reglas deben estar previamente definidas dentro del modelo y generalmente se basan en la experiencia previa y en el concepto de expertos en el área. La estructura convencional de las reglas de inferencia es la siguiente:

SI se cumple A; ENTONCES hacer B

Este tipo de reglas es común en la práctica de la gestión vial, donde con base en una condición del pavimento, se define una alternativa de intervención acorde con dicha condición. La lógica difusa utiliza los operadores clásicos de la teoría de conjuntos. Estos operadores permiten complementar las reglas de inferencia y amplían el espectro de

análisis y de interacción entre las diferentes variables. Los más empleados son los operadores \cap y \cup ; los cuales representan la intersección y unión de conjuntos difusos, respectivamente. En la lógica difusa, los operadores \cap y \cup están identificados con las funciones mínimo y máximo. Estos operadores permiten hacer combinaciones de diferentes variables, las cuales al cumplir con ciertos conjuntos difusos, pueden ser enlazadas a unas reglas de inferencia. Se maneja una estructura de la siguiente forma:

Regla 1: SI se cumple $A \cap B$; ENTONCES hacer C (implicación mínima)

Regla 2: SI se cumple $A \cup B$; ENTONCES hacer D (implicación máxima)

Es evidente que entre mayor sea el número de reglas propuestas (lo que implica mayor cantidad de relaciones entre las variables), mayor será el número de acciones de salida a realizar o consecuencias. La lógica difusa permite el manejo de tantas variables como se deseen y de cualquier número de reglas de inferencia relacionada con dichas variables; todo depende del nivel de complejidad y refinamiento que se busque para el modelo.

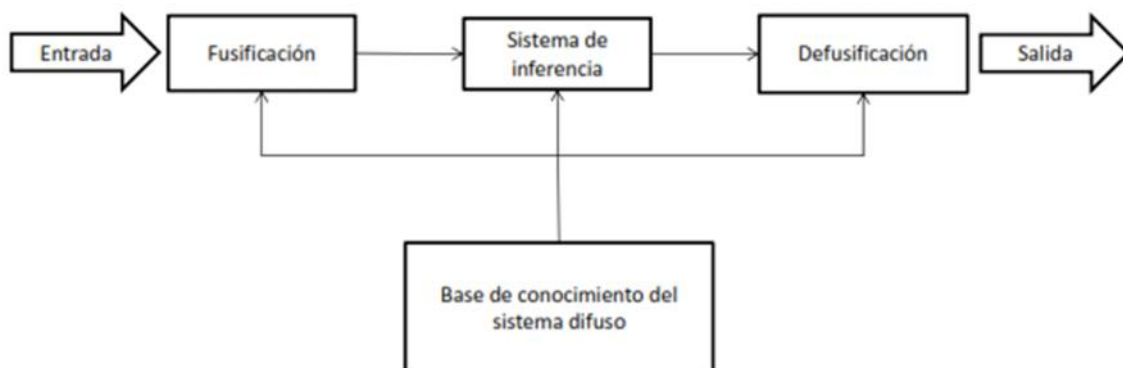
1.2.3 Sistema de inferencia difuso

El funcionamiento del sistema de inferencia difuso (SID) se da por lo general en tres pasos, definidos a continuación:

- Una o varias variables son asignadas a uno o más conjuntos difusos, a través de las funciones de membresía (fusificación).
- Se evalúan las reglas de inferencia relacionadas con las variables, lo que da como resultado una inferencia difusa, que puede contener diferentes variables.
- En el último paso, el valor o valores de la inferencia difusa son transformados en un valor escalar, que representa la salida del modelo y que está asociado a una decisión o acción. Esta “agregación” de resultados para obtener una única decisión, se llama defusificación.

Este sistema se conoce como sistema de Mamdani y fue desarrollado por Mamdani y Assilian (1975). En la **Figura 1-3** se presenta el esquema general.

Figura 1-3: Estructura de un sistema difuso



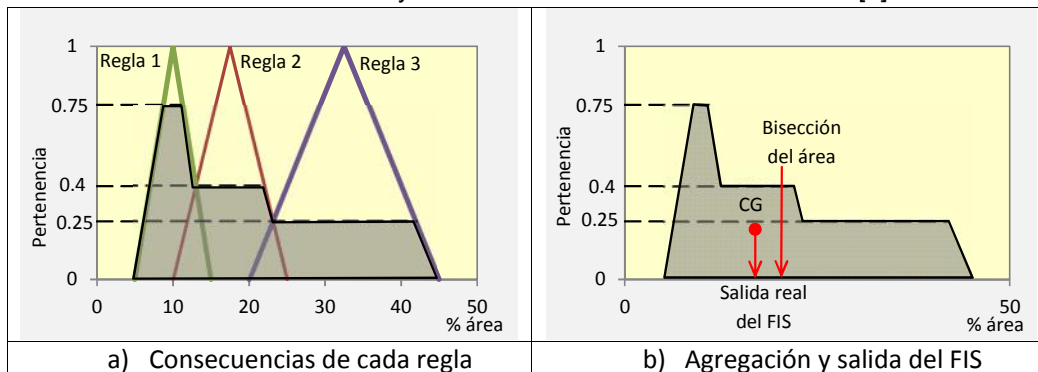
1.2.4 Defusificación

Existen diferentes formas de realizar este proceso de defusificación, el cual debe ser escogido por el diseñador del sistema, de acuerdo a las condiciones que mejor se ajusten. Leekwijck & Kerre (1999) clasifican estos métodos en las siguientes categorías:

- Métodos de valor máximo y sus derivados.
- Métodos de distribución y sus derivados.
- Métodos de área.
- Métodos misceláneos.

Entre los métodos más usados están el centro de gravedad (método de distribución), la bisectriz del área (método de área), la media del valor máximo, entre otros. El siguiente ejemplo desarrollado por Beltrán (2012), presenta de manera clara los conceptos expuestos anteriormente. Para un sistema dado, compuesto por tres reglas, se obtiene como resultado la inferencia difusa representada por el área sombreada en la Figura 1-4 a). Luego, para dicha inferencia se realiza la defusificación, entendida como el proceso de convertir esta salida (en este caso el área) en un valor único. Se realiza por los métodos del centro de gravedad (CG) y de la bisección del área.

Figura 1-4: Mecanismo de inferencia y defusificación en el SID de Mandami [4].



Fuente: Beltrán (2012)

La aplicación de la lógica difusa permite el manejo de grandes cantidades de datos, utilizando herramientas computacionales de bajo costo. Para el caso de los sistemas de gestión de pavimentos en servicio, constituye una herramienta útil de decisión para mantenimiento preventivo o correctivo, a partir de la combinación de variables relacionadas con el comportamiento estructural y funcional del pavimento.

1.2.5 Base de conocimiento del sistema difuso

Hacen parte de esta base: las variables de entrada, los rangos de dichas variables, las funciones de pertenencia adoptadas, las reglas de inferencia y las salidas o acciones del sistema. Dado que la lógica difusa es una técnica de inteligencia artificial que trata de automatizar el conocimiento experto, la principal fuente de la base de conocimiento la constituye precisamente la experiencia práctica y los resultados de estudios o análisis similares.

Para el caso del presente estudio, la base de conocimiento está fundamentada en la revisión de la literatura nacional, principalmente en las recomendaciones de las entidades encargadas de la gestión vial en Colombia, con el fin de que los resultados sean representativos de las condiciones actuales con las que se trabaja este tema en nuestro país. Para ello, se tienen en cuenta las experiencias a nivel de evaluación de concesiones viales, y las directrices seguidas por las entidades estatales como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

A nivel internacional, se revisan los lineamientos de gestión vial de varios países, y se establece la pertinencia de aplicación en nuestro medio, a la vez que se realiza un comparativo con las recomendaciones colombianas.

2 Antecedentes

El uso de las herramientas de la Lógica Difusa ha tenido varias aplicaciones en el área de pavimentos, específicamente en lo que concierne a la evaluación de condición de pavimentos, a la gestión vial enfocada a establecer alternativas de mantenimiento y rehabilitación; y a la determinación de parámetros estructurales.

Con relación a la evaluación de pavimentos, múltiples autores han aplicado las herramientas de la lógica difusa en los sistemas de clasificación basados en los daños superficiales, tales como el PCI (Pavement Condition Index) y otros métodos similares. Estos métodos de clasificación establecen un índice que indican la condición que presenta el pavimento. Mahmood et al (2013) utilizaron los sistemas de inferencia difusos para generar un sistema de calificación PCI de pavimento flexible fusificado, a partir del sistema de clasificación PCI convencional. Trabajaron con seis de las fallas de pavimento flexible más comunes, como lo son la fisura piel cocodrilo, fisuración en bloque, fisuración transversal y longitudinal, parcheo y huecos, exudación y desprendimiento de agregados. Para cada uno de estos daños se generaron funciones de membresía del tipo triangular. Se desarrolló un sistema de inferencia con 22 reglas, que combinaron todos los tipos de daños para dar una calificación final de la condición del pavimento.

Comparando los resultados de tramos de prueba seleccionados por el método PCI convencional y el fusificado, se obtuvieron correlaciones de 56%. Cabe destacar que los tramos tenían mala condición de conservación.

Otro sistema de clasificación similar es el PCR (Pavement Condition Ratio), empleado por el Departamento de Transporte de Alabama – Estados Unidos. Este indicador oscila entre 0 y 100 (de peor a mejor condición) y es evaluado de manera cualitativa en cinco categorías (muy pobre, pobre, regular, bueno y muy bueno). Bianchini (2012) propuso un sistema de inferencia difusa, con el fin de evaluar la razón de condición del pavimento. El modelo fue aplicado a varias mediciones de condición realizadas y buscaba un sistema en que los resultados estuvieran dentro de un rango aceptable de variabilidad. Los daños analizados incluyeron fisuración transversal, fisuración fuera de la huella de la rueda, fisuración en la línea de la rueda y ahuellamiento. Las funciones de membresía fueron determinadas por el personal del departamento y fueron del tipo trapezoidal. Se trabajó con cuatro grupos de reglas que relacionan todas las variables y que dan como resultado el índice PCR.

El modelo fue aplicado en 360 secciones viales y fue capaz de disminuir o “suavizar” los coeficientes de variación entre los resultados de tres mediciones efectuadas en el campo y con base en imágenes.

Un estudio similar fue realizado con la metodología de evaluación del SCDOT (Departamento de Transportes de Carolina del Sur – Estados Unidos), que a su vez se basa en el índice de condición del pavimento (PCI). Koduru, Xiao, Amirkhanian, & Juang (2010) utilizaron la lógica difusa y los sistemas expertos para desarrollar una herramienta de evaluación de pavimentos flexibles con base en los daños existentes. Dado que se

contaba con información de mediciones automatizadas que dan como resultado distribuciones y sus respectivos valores estadísticos (tendencia central y desviación estándar), las funciones de membresía se obtuvieron a partir de regresiones que involucraron tres valores: valor real medido, moda y desviación estándar. Estas funciones se complementaron con el juicio de tres expertos del SCDOT. Los daños considerados incluyen fisuras de reflexión, transversales y longitudinales, y ahuellamiento.

Los investigadores concluyen que a partir de este sistema, se puede minimizar la subjetividad implícita en la evaluación de daños, con una mayor consistencia del modelo. La implementación de la lógica difusa ha ayudado a procesar información de daños de carácter cualitativo y a manejar la información obtenida de las evaluaciones de pavimentos. Los resultados de la herramienta de lógica difusa (llamada Fuzzycat) estuvieron dentro de límites aceptables con relación al método tradicional.

En el medio japonés se empleó un aproximación similar por parte de Arliansyah, Maruyama, & Takahashi (2003), quienes desarrollaron un sistema de evaluación de la condición del pavimento, basándose en herramientas de la lógica difusa. Las funciones de membresía fueron determinadas a partir del juicio de expertos, basados en los términos lingüísticos de uso regular en el medio japonés. El trabajo incluyó un análisis de sensibilidad de las variaciones de la ponderación o pesos de los parámetros de evaluación del pavimento, y la omisión o inclusión de alguno de ellos.

Los resultados indicaron que los cambios en los parámetros o en su ponderación pueden tener influencia importante en los resultados globales de la evaluación. Se recomendó la unificación de los parámetros por parte de las agencias encargadas, con el fin de lograr una aplicación universal de los resultados. El nuevo sistema de evaluación obtenido fue comparado con el sistema tradicional (denominado MCI), encontrando concordancia entre los dos sistemas; inclusive el sistema basado en la lógica difusa ofreció mejores resultados en algunas secciones viales.

Otro campo de aplicación de la lógica difusa en la ingeniería de pavimentos, es el de la gestión vial, enfocado al desarrollo de herramientas que permitan mejorar y optimizar la toma de decisiones de mantenimiento y conservación. Beltrán (2012) en su trabajo de Evaluación estructural de pavimentos flexibles con métodos de inteligencia artificial y auscultación no destructiva, utilizó las técnicas de lógica difusa para diseñar tres sistemas para inferir la condición de rigidez, de deterioro y las recomendaciones de conservación en una red de estudio, específicamente el tramo Acayucan-Límite entre Estados de Veracruz y Oaxaca de la carretera Coatzacoalcos-Salina Cruz, con una longitud de 28 km. Como información base se utilizaron mediciones deflectométricas del pavimento y de deterioro estructural (roderas, grietas y ondulaciones, y baches abiertos y reparados), así como información de materiales y capas, obtenidas de sondeos.

Los parámetros de rigidez (obtenidos a partir de las mediciones de deflectometría) y los módulos de las capas, constituyeron la base para establecer la calificación del pavimento y la sectorización con base en este criterio de comportamiento. Con un sistema de interferencia difuso (SID) se obtuvieron una serie de intervenciones en los tramos, con base en la condición de deterioro del pavimento y rigidez de las capas.

La implementación de estos SID permitió realizar un análisis y evaluación de toda la información disponible, de una manera rápida y efectiva; aportando una herramienta de evaluación y toma de decisiones de mantenimiento y conservación.

En vías de carácter urbano se tienen la experiencia de Moazami, Behbahani, & Muniandy (2011), quienes aplicaron la lógica difusa para determinar la priorización de intervenciones de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Como criterios de evaluación se consideraron diversos factores, tales como el índice de condición del pavimento, el volumen de tráfico, el ancho de la sección transversal y los costos de rehabilitación y mantenimiento de las vías. Se empleó un análisis jerárquico complementado con los modelos de la lógica difusa, con el fin de generar un proceso de toma de decisiones.

Se utilizaron funciones de membresía del tipo distribución normal (Gaussiana) para cada una de las variables analizadas. Se desarrolló un algoritmo de apoyo, mediante la herramienta MATLAB. El motor de inferencia del sistema se basó en el producto, seleccionado por los autores como la opción más lógica para buscar la priorización. El método de defusificación empleado fue el centro de gravedad. El modelo propuesto fue validado con un caso de estudio en la ciudad de Teherán, en 131 secciones viales.

La herramienta de lógica difusa también ha permitido el desarrollo de herramientas para evaluar materiales empleados en la construcción de pavimentos a partir de parámetros específicos. Demir (2005) utilizó la teoría de conjuntos difusos (Fuzzy Sets) y de modelación difusa para predecir módulos elásticos de concretos convencionales y de alta resistencia, a partir de datos de resistencia a la compresión. Con base en funciones de membresía triangulares para los valores de compresión y módulo elástico del concreto, el autor desarrolló un algoritmo para predecir el valor más probable del módulo elástico.

Los resultados obtenidos fueron comparados con datos de módulos obtenidos en ensayos de laboratorio, así como con correlaciones entre la resistencia a la compresión y el módulo elástico, usadas por diferentes códigos internacionales. Los valores de varianza y error cuadrático medio del modelo obtenido por la lógica difusa fueron los menores, lo que refleja un buen comportamiento, en cuanto a predicción.

Otros autores han realizado evaluaciones del desempeño de los materiales, mediante la combinación de diversos factores o indicadores relacionados con el pavimento. Kucukvar, Gumus, Egilmez, & Tatari (2014) emplearon los conjuntos difusos intuicionistas (fuzzy intuitionistic) desarrollados por Atanasov, para construir una matriz multicriterio que permitiera clasificar el desempeño sostenible durante el ciclo de vida de diferentes alternativas de pavimento construidas con mezclas en caliente y mezclas tibias. Se evaluaron dos grupos de indicadores, ambientales y socioeconómicos; en total se consideraron 16 indicadores.

Estos indicadores fueron evaluados en las diferentes etapas del ciclo de vida útil del pavimento. Posteriormente, los valores obtenidos fueron transformados en el sistema de conjuntos difusos intuicionistas, en el cual se ponderaron de acuerdo a su importancia en el modelo propuesto.

Mia, Henning, Costello, & Foster (2015) aplicaron la lógica difusa para realizar un análisis de riesgo para identificar el potencial de daño de la humedad en pavimentos flexibles en la red vial de Nueva Zelanda. El objetivo del trabajo es implementar un sistema que

permita identificar los tramos viales con mayor riesgo de falla por problemas de humedad. Con base en la revisión de la literatura, se establecieron los principales factores que generan daño por humedad, incluyendo aspectos topográficos, climáticos, hidráulicos y de drenaje, tráfico, estado del pavimento y materiales de las capas. A estos daños se les asoció unos parámetros de evaluación para ser utilizados en el modelo. Se utilizaron funciones de membresía trapezoidales, con el fin de describir la calificación lingüística del riesgo (alto, medio, bajo).

Se trabajó con un total de 81 reglas de inferencia, definidas con base en las opiniones de un grupo de expertos y en la experiencia previa en la red vial estudiada. Se empleó el modelo de inferencia clásico (SI – ENTONCES) para la evaluación de riesgo. El resultado es una escala de riesgo o posibilidad que oscila entre 1 y 10, donde el riesgo es mayor conforme aumenta la calificación. El modelo se comprobó en 100 tramos de vía.

En pavimentos de concreto se tienen experiencias como las de Golroo & Tighe (2009), quienes realizaron evaluaciones para pavimentos en concreto permeable en Canadá, utilizando técnicas de lógica difusa, con el fin de complementar el sistema de evaluación existente. El propósito del trabajo consistió en la búsqueda de una herramienta que permitiera trabajar con datos de evaluación cualitativos y que por lo general son limitados para este tipo de pavimentos en el medio local. Se utilizaron 24 sitios con este tipo de pavimentos, como caso de estudio.

En el desarrollo del trabajo se utilizaron funciones de membresía del tipo triangular. Se utilizó un sistema para clasificar los 24 sitios de prueba con base en un valor único, a partir de los resultados obtenidos de la aplicación de los conjuntos difusos, para lo cual se utilizaron diferentes técnicas: medición del índice, media ponderada difusa, área bajo la función de membresía, índice de diferencia e índice de clasificación. La medida de área bajo la función de membresía ofrece la mayor confiabilidad, mientras que el índice de clasificación presenta mejores resultados que la medición del índice.

La evaluación de la condición del pavimento se basó en el tipo de daño encontrado: fisuración, desprendimiento de agregados, pulimento de agregados y taponamiento de los poros. Estas variables son manejadas de manera lingüística y la ponderación de cada uno de estos daños en la calificación final se adoptó de la metodología existente.

De acuerdo a la revisión anterior, se observa que las herramientas de la Lógica Difusa se han empleado en diferentes ámbitos de la Ingeniería de Pavimentos, para propósitos de evaluación de la condición y definición de alternativas; sin embargo; se aprecia que los alcances son limitados. La mayoría de los trabajos se enfocan principalmente en los métodos de evaluación de la condición de pavimento, mientras que otros lo hacen en la determinación de soluciones a las problemáticas presentes en el pavimento, por lo que las aplicaciones que utilizan la Lógica Difusa suelen realizar análisis separados. Por otra parte, los trabajos realizados se enfocan en el empleo de parámetros que describen la condición estructural y de deterioro superficial del pavimento, sin considerar la influencia del comportamiento de los parámetros funcionales del pavimento.

En cuanto al medio colombiano, si bien se tienen directrices para la gestión vial de pavimentos flexibles, esta se realiza a través de rangos y matrices de decisión recomendadas por las entidades (INVIAS y ANI) que emplean pocas variables y que

además están basadas en modelos internacionales y no representan la experiencia y el conocimiento existente en nuestro medio.

Por lo anterior, se propone el desarrollo de un sistema que emplee métodos de evaluación no convencionales, como lo es la Lógica Difusa, y que a su vez involucre una cantidad suficiente de parámetros estructurales y funcionales, en aras de aprovechar al máximo la información disponible para evaluar la condición integral de los pavimentos, con el fin de tomar decisiones de mantenimiento y conservación.

3 Metodología

Con el fin de establecer una metodología adecuada para el trabajo final, se identificaron diferentes aspectos relacionados con los objetivos propuestos y los procesos necesarios para alcanzarlos.

En la primera parte del trabajo se desarrolló la fundamentación y teoría, consistente en un trabajo de revisión, replanteamiento o validación de indicadores tradicionalmente utilizados para juzgar la condición estructural y funcional de un pavimento en servicio. Se identificaron aquellas variables cualitativas que usualmente utilizan los expertos y las agencias de administración vial para describir atributos de un pavimento, pero que por su carácter lingüístico (por ejemplo; alto, medio y bajo), tienen un efecto marginal en la toma de decisiones. Con base en lo anterior, se definieron aquellas variables consideradas de alta incidencia en la herramienta de toma de decisiones, junto con sus rangos de evaluación. De igual forma, se identificaron las estrategias de rehabilitación, mantenimiento y conservación más convenientes, según la condición estructural y funcional del pavimento. Esta labor se apoyó en una revisión de la literatura nacional e internacional sobre gestión de pavimentos, utilizando como base principal las directrices de las entidades colombianas.

En la segunda etapa se realiza una validación de los parámetros, rangos e intervenciones para el sistema de gestión del pavimento propuesto, mediante la comparación de los rangos definidos con las metodologías empleadas por las entidades encargadas de la gestión vial en el país.

Con la definición de los elementos del modelo de gestión de pavimentos, se realizó la estructuración del modelo basado en la Lógica Difusa, con la selección de las funciones de pertenencia de las entradas y salidas del modelo, y las reglas de inferencia asociadas. Una vez definida la estructura del modelo de Lógica Difusa, el proyecto se centró en el desarrollo de una herramienta computacional para lo cual se utilizó el programa MATLAB®, disponible en la sala de cómputo del área de Ingeniería Civil y Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. El algoritmo programado permitió la evaluación y definición de intervenciones para el pavimento, con base en los parámetros de condición funcional y estructural. Para este efecto, se seleccionaron como casos específicos de estudio la información de los corredores Ansermanuevo –Armenia y Hoyorico – Cauca, en el centro del país.

Tabla 3-1: Metodología desarrollada.

ETAPA	OBJETIVO	ACTIVIDADES
Fundamentos y teoría	Identificación de variables asociadas a la gestión de pavimentos: <ul style="list-style-type: none">•Parámetros de condición.•Rangos de evaluación.•Intervenciones asociadas (Mantenimiento, rehabilitación, etc.)	Revisión bibliográfica nacional e internacional.

ETAPA	OBJETIVO	ACTIVIDADES
Validación de parámetros	Definición de parámetros, rangos e intervenciones ajustadas a la práctica de pavimentos en nuestro medio.	Revisión de metodologías propuestas para Colombia.
Diseño del modelo	Estructuración del modelo basado en LD.	Definición de: <ul style="list-style-type: none"> •Entradas del modelo •Reglas de inferencia •Salidas
Aplicación	Desarrollo del algoritmo y evaluación de un estudio de caso.	Programación de la herramienta en MATLAB® y evaluación de resultados para tramos de estudio.

4 Diseño del modelo basado en lógica difusa

4.1 Definición de parámetros

En el presente aparte se presenta el análisis inicial realizado, con el fin de identificar y definir las variables de carácter estructural y funcional, que se utilizaron en el desarrollo del sistema de gestión de pavimentos. La definición de estas variables constituyó la base del sistema, por lo que es fundamental que estas reflejaran de la manera más precisa, la práctica de la evaluación y gestión de pavimentos en el país.

Para este propósito y en aras de simplificar el proceso de definición, se realizó una recopilación de información de referencia de diferentes países, con el fin de establecer los rangos más usuales de los parámetros y su comparación con nuestro medio. Las fuentes principales para la definición de los parámetros fueron las recomendaciones de las entidades encargadas en Colombia de la gestión vial: el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en sus manuales de diseño y guía de rehabilitación; y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) en su programa de mantenimiento sostenible (PMS).

Con base en la práctica usual de pavimentos en nuestro medio, y teniendo en cuenta las variables que resultan más familiares para los encargados de la gestión vial, se seleccionaron los siguientes parámetros como base para el sistema que se implementó. Con el fin de generar un sistema más robusto, se realizó la desagregación de los daños y la implementación de índices adicionales a partir de las mediciones de FWD; esto permite obtener mayor información acerca del estado estructural y funcional del pavimento. No obstante no se tienen mediciones de fricción, se propone su uso dentro del sistema, ya que se trata de un parámetro de importancia y que suele ser objeto de evaluación de las vías concesionadas de nuestro país.

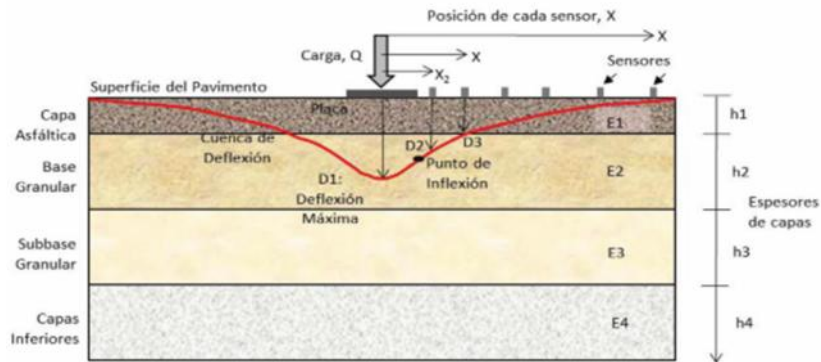
4.1.1 Parámetros estructurales

Como resultado de la revisión efectuada, se seleccionaron los siguientes parámetros asociados al comportamiento estructural del pavimento:

- Deflexión central máxima (D_0): la información de deflexiones es fundamental para la estimación de los parámetros estructurales. Las mediciones de deflectometría intentan simular el paso de un vehículo, midiendo la respuesta en desplazamientos verticales. Se ha encontrado que la magnitud y la forma de estas mediciones, conocida como cuenco de deflexiones, está relacionada con la rigidez de las capas y el comportamiento estructural del pavimento. Esta medición se realiza con equipos como el Falling Weight Deflectometer (FWD) o el Heavy Weight Deflectometer (HWD). Estos equipos aplican un impulso de carga controlada en la superficie, cuya magnitud varía entre 0,7 y 16 ton en el FWD y entre 2,7 y 24,5 ton en el HWD; la idea es reproducir la carga representativa de los vehículos pesados que circulan por una vía. La carga se aplica en caída libre sobre una placa circular, la cual puede ser rígida o segmentada, dependiendo del equipo empleado. En la Figura 4-1 se ilustra el arreglo empleado para el registro de deflexiones en el caso de estudio. Mediante 7 sensores localizados a

diferentes distancias del eje de aplicación de carga, se midieron las deflexiones (D_0, D_2, \dots, D_6), las cuales definen el perfil de desplazamientos o cuenca de deflexión. La deflexión máxima ($D_{\text{máx}}$ o D_0), registrada en el sensor ubicado en el sitio de aplicación de la carga, está relacionada con la capacidad estructural de todo el conjunto de capas que forman el pavimento. La medición depende el equipo empleado, pero se suele expresar en milímetros (mm).

Figura 4-1: Prueba deflectometría y cuenco de deflexiones [4].



Fuente: Beltrán (2012)

- Índices de forma cuenco de deflexiones: los índices de forma propuestos por Horak & Emery (2006), se determinan mediante las siguientes expresiones, donde $D_{0,3}$, $D_{0,6}$ y $D_{0,9}$ son las deflexiones medidas a 0,3, 0,6 y 0,9 m respectivamente del eje de carga:

$$BLI = D_0 - D_{0,3} \quad (4-1)$$

$$MLI = D_{0,3} - D_{0,6} \quad (4-2)$$

$$LLI = D_{0,6} - D_{0,9} \quad (4-3)$$

Estos indicadores se encuentran relacionados con el comportamiento estructural de las capas del pavimento de la siguiente forma:

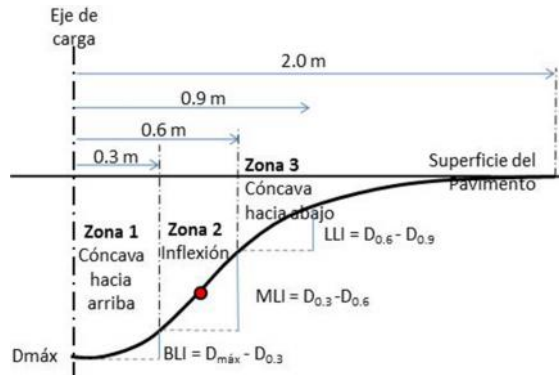
BLI: asociado con la rigidez de las capas de rodadura y base

MLI: relacionado con la rigidez de la capa de sub-base

LLI = indicador de rigidez de las capas inferiores

En la Figura 4-2 se presenta la representación esquemática del cuenco de deflexión y los índices propuestos. Los indicadores se expresan en la unidad de medida de las deflexiones, en este caso se trabajó en milímetros (mm).

Figura 4-2: Cuenco de deflexiones e índices de forma.



Fuente: Beltrán (2012)

- SN efectivo: El número estructural efectivo (SN_{eff}) recomendado por el método AASHTO, es un valor que representa la capacidad estructural del pavimento en servicio, con base en el espesor y estado de las capas. Se determina a partir de las expresiones recomendadas por la guía AASHTO-93, las cuales emplean los resultados de las mediciones deflectométricas como base de la estimación.

$$SN_{eff} = 0.0045D \sqrt[3]{E_p} \tag{4-4}$$

Dónde:

E_p : Módulo equivalente del pavimento

D: Espesor total de la estructura, pulgadas

El módulo equivalente se determina empleando la metodología de la AASHTO alimentada con la medición deflectométrica, mediante la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5P.a \left(\frac{1}{MR \sqrt{1 + \left(\frac{D^3 E_p}{a \sqrt{MR}}\right)^2}} + \frac{1 - \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a}\right)^2}}{E_p} \right) \tag{4-5}$$

Dónde:

d_0 : Deflexión central

P: Presión del plato de carga, psi. En este caso 82,3 psi=5,76 Kg/cm²

a: Radio del plato de carga, pulgadas (5,9 in=15 cm)

D: Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante, pulgadas

MR: Módulo resiliente de la subrasante, psi

E_p : Módulo efectivo de las capas que conforman el pavimento, psi

El cálculo del módulo resiliente de la subrasante puede determinarse a partir de las deflexiones obtenidas con el Deflectómetro de impacto (FWD), por medio de la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{0.24P}{D_{r,r}} \tag{4-6}$$

Dónde:

MR: Módulo Resiliente de la subrasante, psi

P: Carga aplicada, libras

Dr: Deflexión medida a una distancia r del centro del plato de carga, pulgadas

r: Distancia desde el centro del plato de carga, pulgadas

- Ahuellamiento: consiste en una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. El ahuellamiento se origina por la deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito, especialmente ante la acción de tránsito pesado. Un ahuellamiento significativo puede llevar a una falla estructural del pavimento. Se suele medir en milímetros (mm).

Foto 4-1: Ahuellamiento en pavimento flexible [27].



Fuente: Manual para la inspección de pavimentos flexibles (Universidad Nacional de Colombia & INVIAS, 2006)

- Fisuras longitudinales por fatiga: son agrietamientos relacionados con fatiga de la capa asfáltica, por la acción del tránsito que circula. Tienen un patrón irregular, pueden ser longitudinales o transversales al eje del pavimento. La medición se realiza por área afectada y se expresa como un porcentaje del área total.

Foto 4-2: Fisura longitudinal en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

- **Piel de cocodrilo:** consiste en una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. Se inicia en la parte inferior de la carpeta asfáltica, donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como grietas longitudinales paralelas, formándose posteriormente una serie de polígonos con un patrón similar a la piel de cocodrilo, cuando aumenta la repetición de las cargas del tránsito. La medición se realiza por área afectada y se expresa como un porcentaje del área total.

Foto 4-3: Piel de cocodrilo en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

- **Módulos de la capa de rodadura, granulares y subrasante:** el módulo elástico es una medida de la relación entre el esfuerzo y deformación de un material ante la aplicación de esfuerzos de tracción o compresión. En el diseño de pavimentos es empleado en modelos elásticos multicapa, lo que permite predecir el comportamiento de diferentes parámetros, como el ahuellamiento, fisuración, rugosidad, entre otros. Para los propósitos de este trabajo, se tomaron los módulos de las capas como valores representativos de la rigidez de las mismas, relacionados con el comportamiento estructural.

4.1.2 Parámetros funcionales

- **Índice de regularidad (IRI):** es una medida de la calidad de la rodadura en términos de uniformidad. Representa la vibración que experimenta un vehículo de pasajeros durante el paso por la vía, como resultado de las irregularidades en la superficie. Se expresa a través de un modelo matemático denominado “cuarto de carro” que circula a una velocidad de 80 km/h. El IRI se expresa como la relación entre el movimiento acumulado de dos masas (una amortiguada y otra no amortiguada) y al distancia recorrida. Se expresa en m/km. Un valor teórico de cero (0) significa que la superficie del pavimento es totalmente lisa. Existen diversas formas de medir este indicador, desde la topografía convencional con mira y nivel hasta equipos de tipo respuesta (perfilómetros laser).
- **Fricción:** se define como la fuerza desarrollada en la interfaz pavimento – neumático, que es capaz de resistir el deslizamiento de la llanta cuando ocurre el frenado. Es un criterio importante para establecer las condiciones de seguridad

del pavimento. En condiciones secas no suele existir problemas con la fricción; la condición crítica se da en condiciones húmedas, cuando la película de agua puede ocasionar que se pierda el contacto entre el neumático y el pavimento, ocasionado el fenómeno conocido como hidroplaneo. Se expresa como un coeficiente de resistencia al deslizamiento.

- Daños funcionales: son aquellos daños cuyo origen o causa no está relacionado con deficiencias estructurales del pavimento y no afectan su capacidad para resistir las cargas impuestas por el tránsito, pero si pueden influir en la comodidad que experimenta el usuario cuando circula por la vía. Se consideraron para el presente estudio los siguientes daños, basados en el método VIZIR, recomendado por INVIAS: fisuras transversales, fisuras de borde, ojos de pescado, descascaramiento, pulimento de agregados y exudación. La medición se realiza por área afectada y se expresa como un porcentaje del área total. Los daños funcionales se describen de la siguiente forma:
 - Fisuras transversales: corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, que se desarrollan en sentido transversal a la dirección de circulación del tránsito.
 - Fisuras de borde: se trata de fisuras que aparecen en el borde de la calzada, con tendencia longitudinal o patrón semicircular, vinculadas a la ausencia de berma.
 - Ojos de pescado: consiste en un bache superficial, ocasionado por un desprendimiento de los materiales de base y carpeta asfáltica.
 - Descascaramiento: consiste en un desprendimiento de la capa superficial asfáltica, sin afectar las capas granulares o tratadas inferiores.
 - Pulimento de agregados: este daño se evidencia por la presencia de agregados en la superficie con caras planas o ausencia de agregados angulares, situación que puede incidir en la resistencia al deslizamiento.
 - Exudación: se detecta a través de la formación de una película de ligante asfáltico en la superficie, por el exceso de asfalto en la mezcla asfáltica. Al igual que el daño anterior, puede afectar la resistencia al deslizamiento.

En las siguientes fotografías se presentan los daños funcionales propuestos:

Foto 4-4: Fisuras transversales en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

Foto 4-5: Fisuras de borde en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

Foto 4-6: Ojos de pescado en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

Foto 4-7: Descaramiento en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

Foto 4-8: Pulimento de agregados en pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia

Foto 4-9: Exudación en pavimento flexible [27].



Fuente: Manual para la inspección de pavimentos flexibles (Universidad Nacional de Colombia & INVIAS, 2006).

4.2 Rangos propuestos

A continuación se presentan los rangos propuestos de los parámetros estructurales y funcionales, determinados con base en la información de fuentes consultadas a nivel nacional e internacional. Estos rangos se validaron por expertos para su definición final.

4.2.1 Parámetros estructurales

Tabla 4-1: Deflexión central máxima, D_0 (mm) [3].

$N_{8,2}$ (millones)	<0,5	0,5 - 5,0	>5,0
Categorías deflexión	Propuesta	Propuesta	Propuesta
Bajas	<0,76	<0,71	<0,59
Moderadas	0,76 - 0,88	0,71 - 0,83	0,59 - 0,69
Altas	0,88 - 1,16	0,83 - 1,13	0,69 - 0,95
Muy Altas	>1,16	>1,13	>0,95

Fuente: (Barrantes R., Loría L., 2008) LANAMME – Costa Rica

Tabla 4-2: Parámetros HORAK [11].

Base	Condición	BLI (mm)	MLI (mm)	LLI (mm)
Granular	Adecuada	< 0,2	< 0,1	< 0,05
	En riesgo	0,2 – 0,4	0,1 – 0,2	0,05 – 0,1
	Grave	> 0,4	> 0,2	> 0,1
Con cemento	Adecuada	< 0,1	< 0,05	< 0,04
	En riesgo	0,1 – 0,3	0,05 – 0,1	0,04 – 0,08
	Grave	> 0,3	> 0,1	> 0,08

Fuente: (Horak & Emery, 2006)

Tabla 4-3: Número estructural, SN [13].

SN efectivo	Condición
> 100% SN requerido	Muy Buena
100 a 90% SN requerido	Buena
90% a 80% SN requerido	Regular
<80% SN requerido	Mala

Fuente: Criterio ANI PMS (INVIAS, 2014)

Tabla 4-4: Ahuellamiento.

Ahuellamiento (mm)	Condición
0 - 10	Muy Buena
10 - 20	Buena
20 - 35	Regular
>35	Mala

Fuente: ANI Índice de estado 3G

Tabla 4-5: Fisuras longitudinales.

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 5 %
Medio	5 - 20 %
Alto	> 20 %

Fuente: Propuesta propia

Tabla 4-6: Piel de cocodrilo.

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 5 %
Medio	5 - 20 %
Alto	> 20 %

Fuente: Propuesta propia

4.2.2 Parámetros funcionales

Tabla 4-7: Índice de regularidad internacional (IRI).

IRI (m/Km)	Condición
1 - 2,5	Muy Buena
2,5 - 3,5	Buena
3,5 - 5,5	Regular
>5,5	Mala

Fuente: ANI Índice de estado 3G

Tabla 4-8: Fricción.

Coefficiente de resistencia al deslizamiento	Condición
100 - 55	Muy Buena
55 - 45	Buena
45 - 35	Regular
<35	Mala

Fuente: ANI Índice de estado 3G

Tabla 4-9: Fisuras transversales.

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 15 %
Medio	15 - 50 %
Alto	> 50 %

Fuente: Propuesta propia

Tabla 4-10: Fisuras de borde.

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 15 %
Medio	15 - 50 %
Alto	> 50 %

Fuente: Propuesta propia

Tabla 4-11: Ojos de pescado.

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 15 %
Medio	15 - 50 %
Alto	> 50 %

Fuente: Propuesta propia

Tabla 4-12: Descascaramiento.

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 15 %
Medio	15 - 50 %
Alto	> 50 %

Fuente: Propuesta propia

Tabla 4-13: Pulimento agregados. (Propuesta propia).

Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 15 %
Medio	15 - 50 %
Alto	> 50 %

Fuente: Propuesta propia

Tabla 4-14: Exudación.

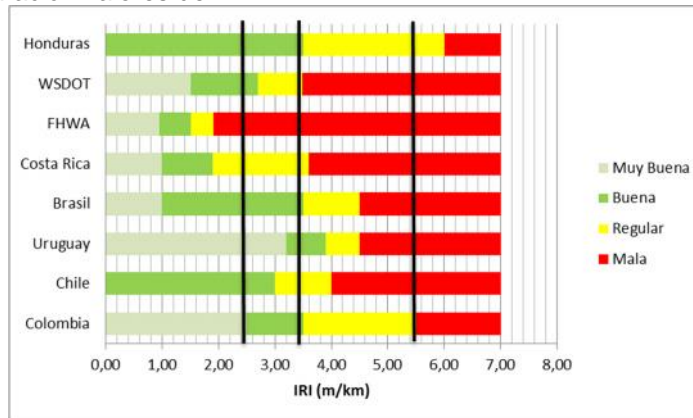
Gravedad	Extensión
Bajo	0 - 15 %
Medio	15 - 50 %
Alto	> 50 %

Fuente: Propuesta propia

4.3 Criterios de aceptación de parámetros del pavimento

A continuación se muestra el comparativo de los niveles de exigencia para algunos de los parámetros de evaluación de pavimentos empleados en diferentes países, con respecto a los criterios definidos para el caso colombiano. Esto con el ánimo de llamar la atención sobre la conveniencia de revisar los valores por parte de las entidades encargadas del sector vial en Colombia.

Figura 4-3: Comparación valores de IRI.



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior se aprecia que los valores de IRI para otros países son más exigentes que los requeridos en Colombia (Concesiones de tercera y cuarta generación). Lo anterior se explica en buena parte por los estándares de construcción y mantenimiento empleados en el país, y las particularidades de los materiales y suelos presentes en el territorio colombiano, con criterios que apenas superan los de Honduras.

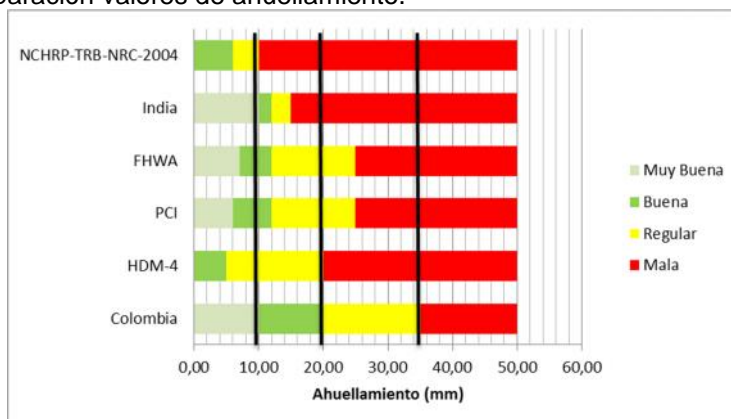
Figura 4-4: Comparación valores de coeficiente de fricción.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el comparativo de los valores de fricción se observa que también se presentan ciertas limitaciones con relación a otros países y agencias, con mayor exigencia de este parámetro en países latinoamericanos como México y Costa Rica.

Figura 4-5: Comparación valores de ahuellamiento.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al ahuellamiento, es claro que la exigencia de nuestro país es inferior, donde valores que se categorizan como buenos en Colombia, son considerados regulares y malos en otros países. Sin embargo, los rangos de ahuellamiento que se emplean en nuestro medio son considerados aceptables por las entidades del sector, dadas las condiciones de gran variabilidad de los suelos y de las condiciones climáticas del país.

En términos generales, la exigencia normativa colombiana consiste principalmente en las evaluaciones de índice de estado de las vías concesionadas, en las cuales se realizan mediciones periódicas de los daños superficiales, IRI, ahuellamiento y fricción. Con base en estas evaluaciones se determina el estado de condición de la vía, como mecanismo para garantizar unos estándares mínimos de seguridad y confort de los usuarios que transitan por la vía. La comparación con los rangos empleados por las agencias de diferentes países, muestra que la exigencia en Colombia es menor, permitiendo menores valores de fricción y mayores valores de IRI y ahuellamiento. Esta situación se fundamenta en el hecho de que las condiciones topográficas y geotécnicas en Colombia son más complejas que en los otros países analizados. Así mismo, la tecnología y calidad en la construcción juega un papel importante, especialmente si se realiza la comparación con países más desarrollados.

Conscientes de estas limitaciones, en este trabajo se usaron rangos definidos dentro de los criterios de aceptación definidos por las agencias y entidades nacionales. En la medida que se ajusten tales rangos, será necesario modificar el modelo aquí propuesto.

4.4 Fusificación de parámetros de condición del pavimento

Una vez realizada la definición de los parámetros de condición del pavimento que hacen parte del sistema de gestión y sus respectivos rangos de variación, se procedió a convertirlos en entradas del sistema de inferencia difuso, mediante la representación como conjuntos difusos o fusificación.

Como ya se ilustró en la sección de fundamentación teórica, existen diferentes funciones de pertenencia que pueden ser utilizadas en la fusificación de los parámetros. Para este estudio en particular, se determinó el empleo de funciones trapezoidales y triangulares. Estas funciones son las más empleadas y se han obtenido buenos resultados con

experiencias anteriores (Beltrán, 2012). Al considerar las dos opciones se pretende evaluar la incidencia, en los resultados, de la forma de las funciones de pertenencia que se asumen.

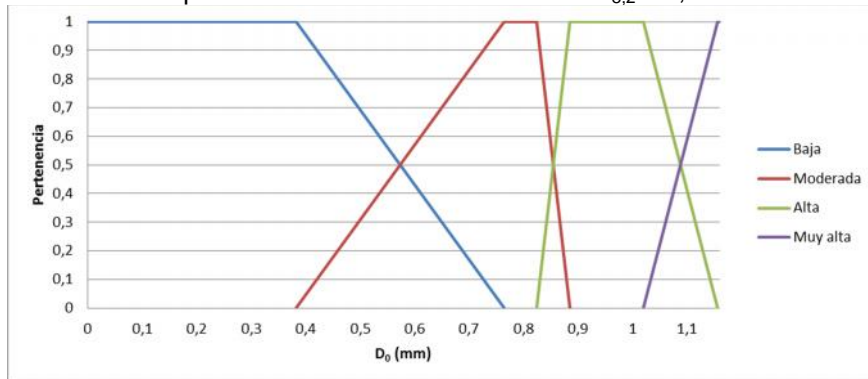
4.4.1 Fusificación de parámetros estructurales

A continuación se presenta la representación gráfica de la fusificación de los parámetros estructurales definidos para el modelo de gestión vial.

- Funciones de pertenencia trapezoidales

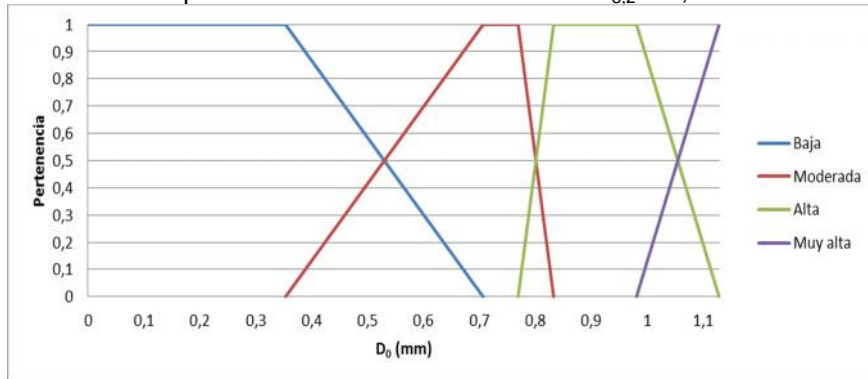
Para el caso del parámetro deflexión máxima (D_0), teniendo en cuenta que se evalúa para tres niveles de tránsito, se genera la fusificación para cada uno de estos casos.

Figura 4-6: Fusificación trapezoidal deflexión central máxima $N_{8,2} < 0,5$ millones.



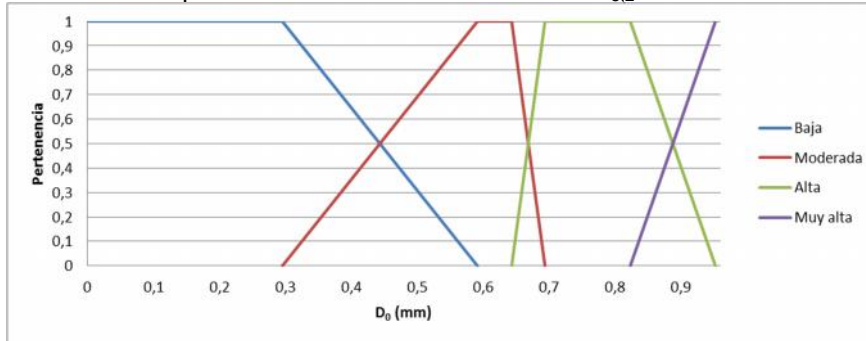
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-7: Fusificación trapezoidal deflexión central máxima $N_{8,2} = 0,5 - 5$ millones.



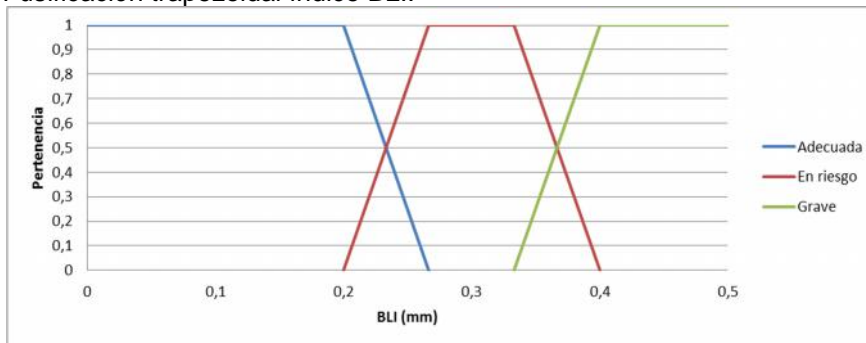
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-8: Fusificación trapezoidal deflexión central máxima $N_{8,2} > 5$ millones.



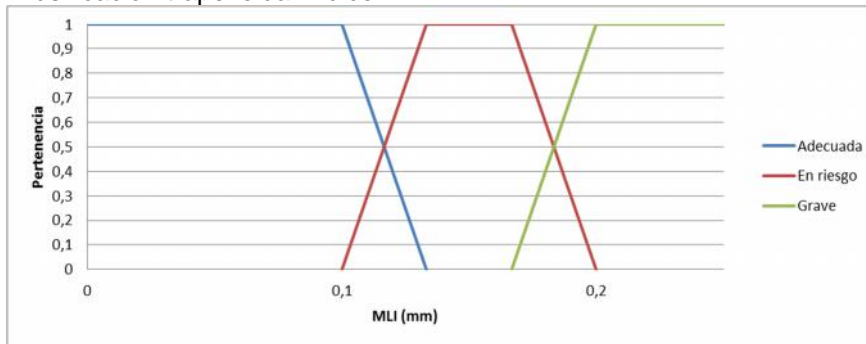
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-9: Fusificación trapezoidal índice BLI.



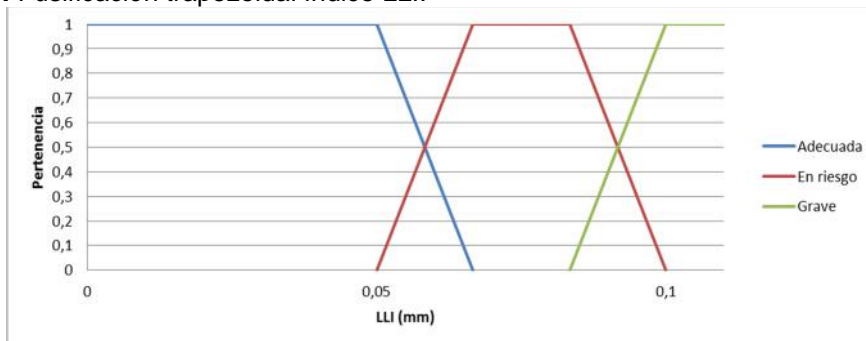
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-10: Fusificación trapezoidal índice MLI.



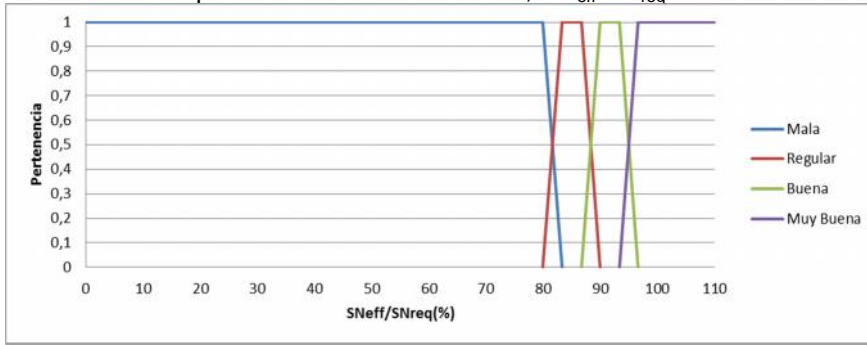
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-11: Fusificación trapezoidal índice LLI.



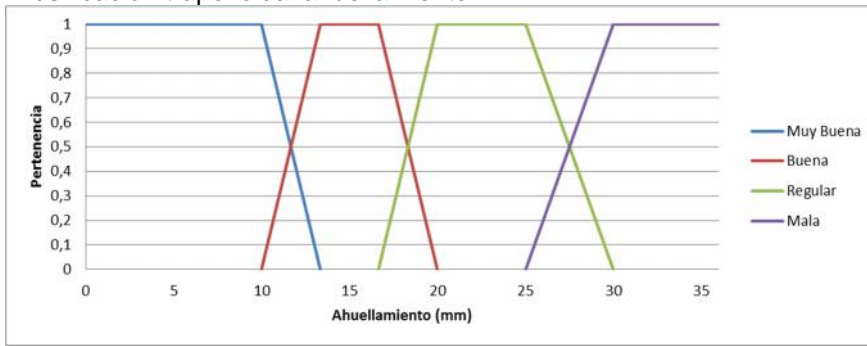
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-12: Fusificación trapezoidal número estructural, SN_{eff}/SN_{req} .



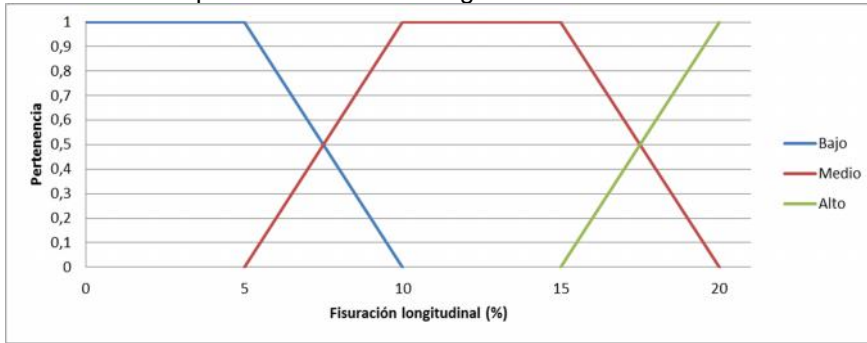
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-13: Fusificación trapezoidal ahuellamiento.



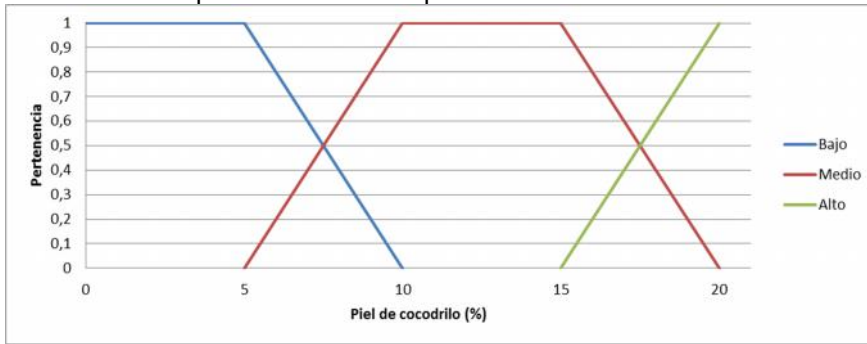
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Fusificación trapezoidal fisuración longitudinal.



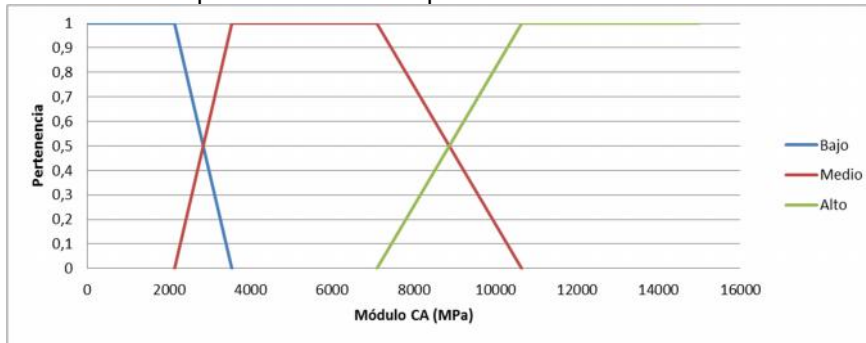
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-15: Fusificación trapezoidal fisuración piel de cocodrilo.



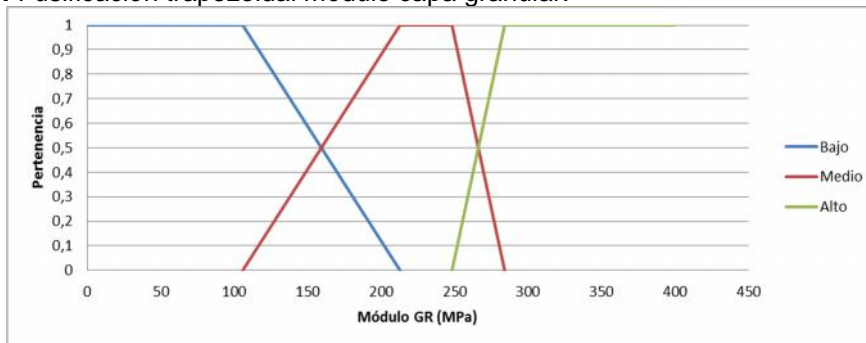
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-16: Fusificación trapezoidal módulo capa asfáltica.



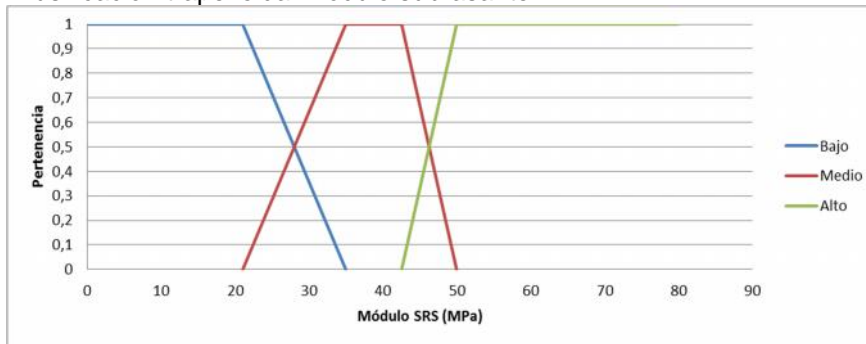
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-17: Fusificación trapezoidal módulo capa granular.



Fuente: Elaboración propia.

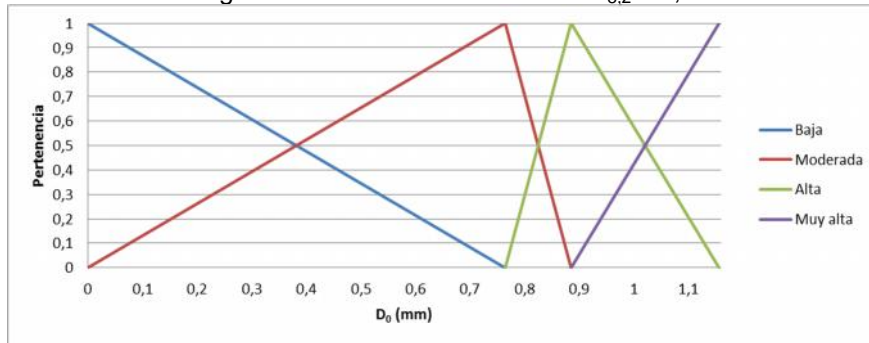
Figura 4-18: Fusificación trapezoidal módulo subrasante.



Fuente: Elaboración propia.

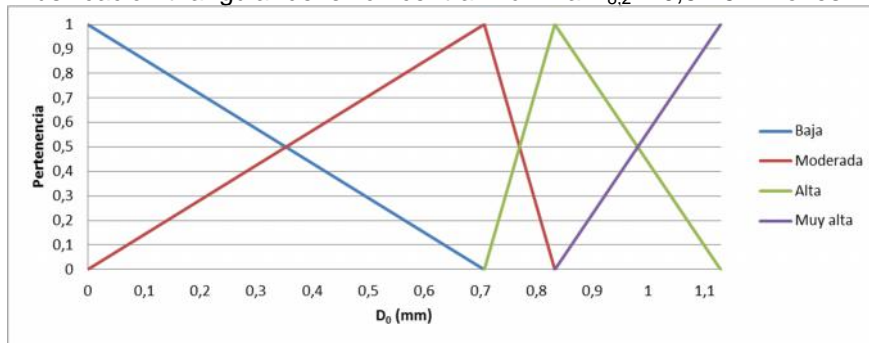
- Funciones de pertenencia triangulares

Figura 4-19: Fusificación triangular deflexión central máxima $N_{8,2} < 0,5$ millones.



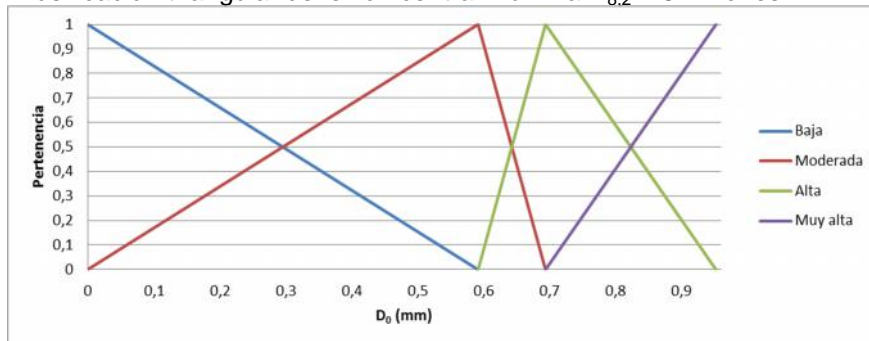
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-20: Fusificación triangular deflexión central máxima $N_{8,2} = 0,5 - 5$ millones.



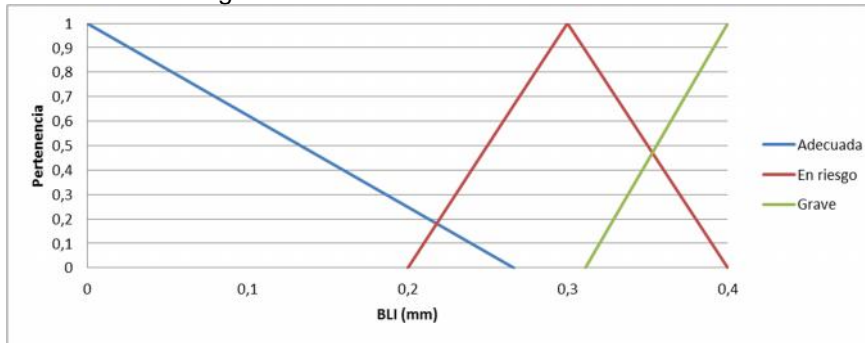
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-21: Fusificación triangular deflexión central máxima $N_{8,2} > 5$ millones.



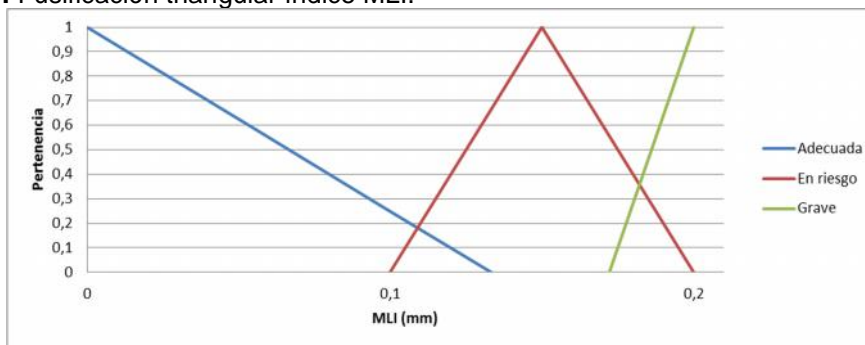
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-22: Fusificación triangular índice BLI.



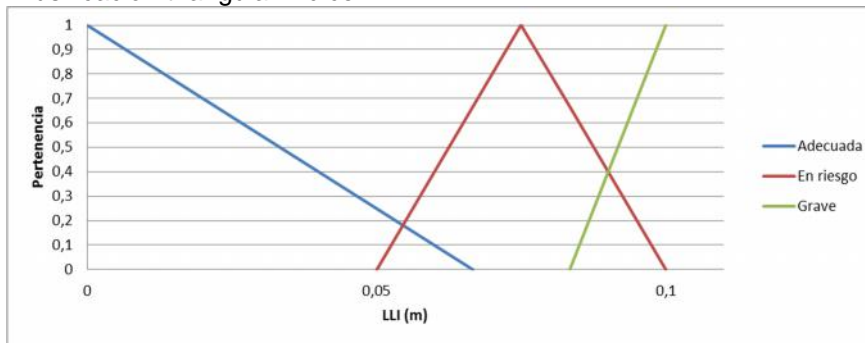
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-23: Fusificación triangular índice MLI.



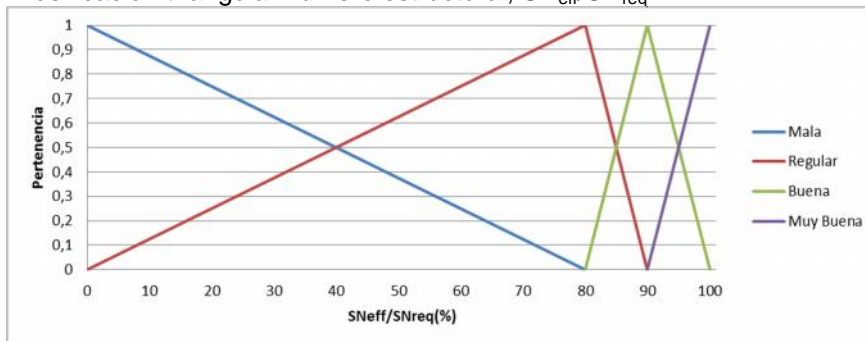
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-24: Fusificación triangular índice LLI.



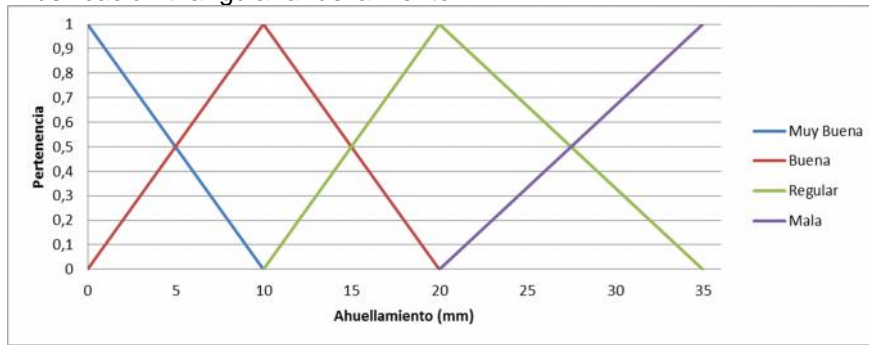
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-25: Fusificación triangular número estructural, SN_{eff}/SN_{req} .



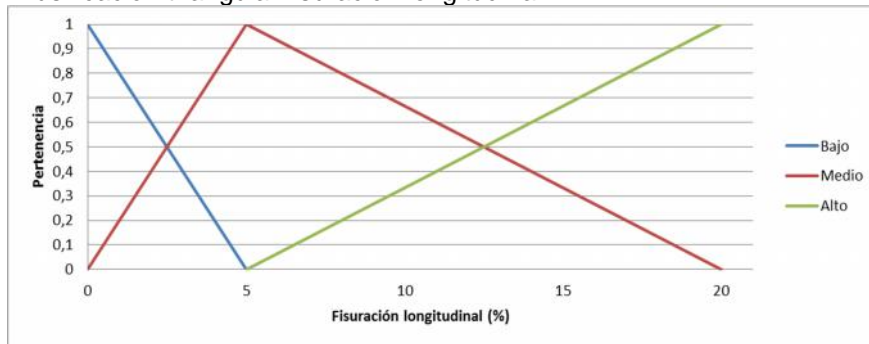
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-26: Fusificación triangular ahuellamiento.



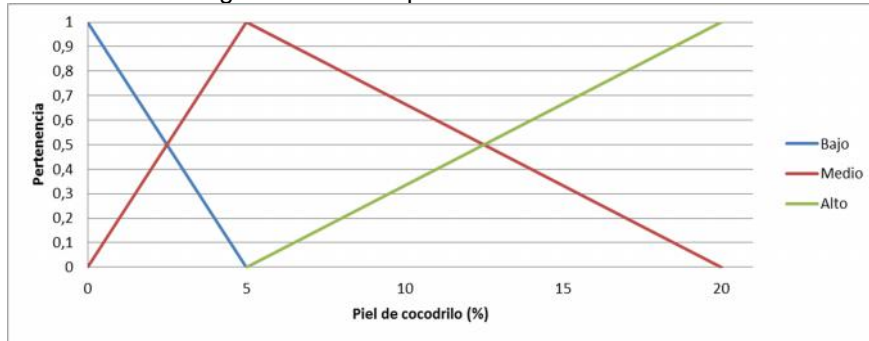
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-27: Fusificación triangular fisuración longitudinal.



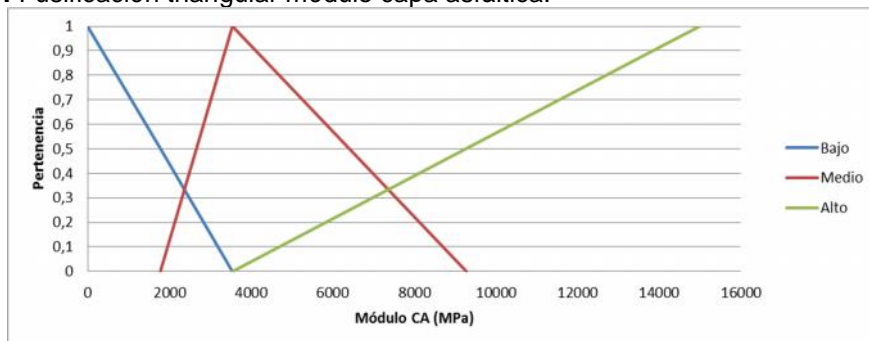
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-28: Fusificación triangular fisuración piel de cocodrilo.



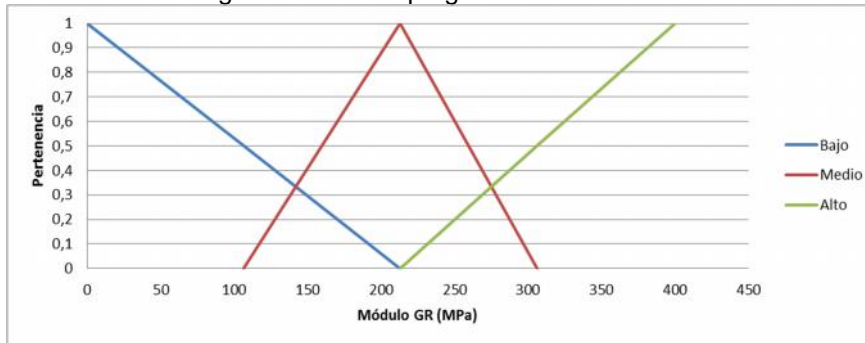
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-29: Fusificación triangular módulo capa asfáltica.



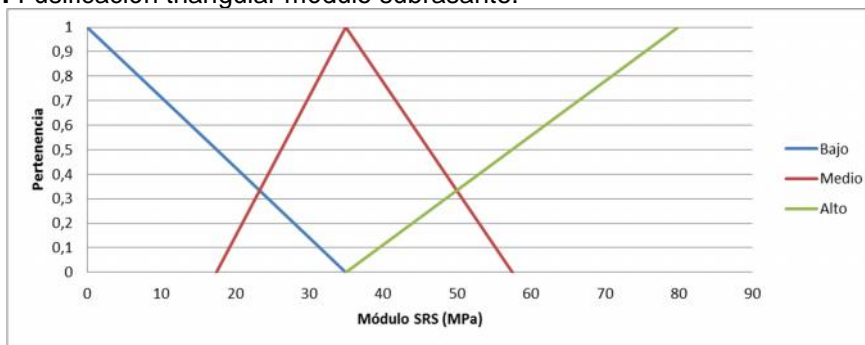
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-30: Fusificación triangular módulo capa granular.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-31: Fusificación triangular módulo subrasante.



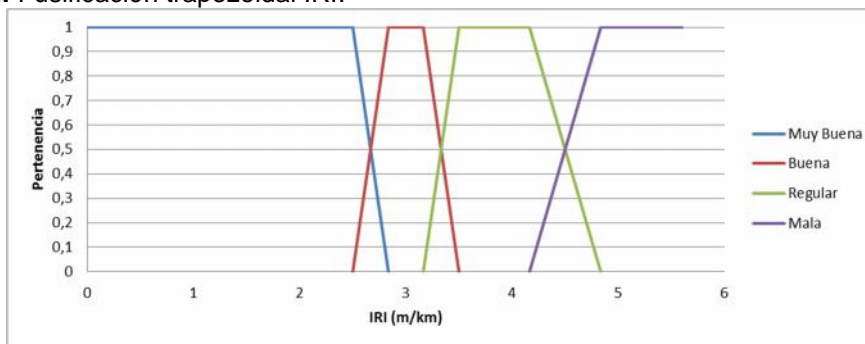
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Fusificación parámetros funcionales

A continuación se presenta la representación gráfica de la fusificación de los parámetros funcionales definidos para el modelo de gestión vial.

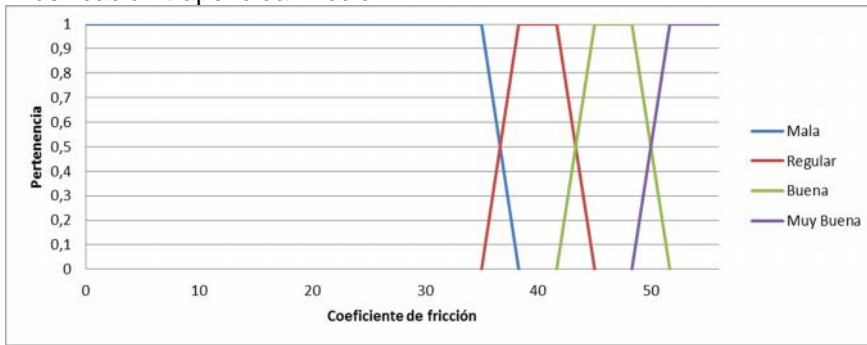
- Funciones de pertenencia trapezoidales

Figura 4-32: Fusificación trapezoidal IRI.



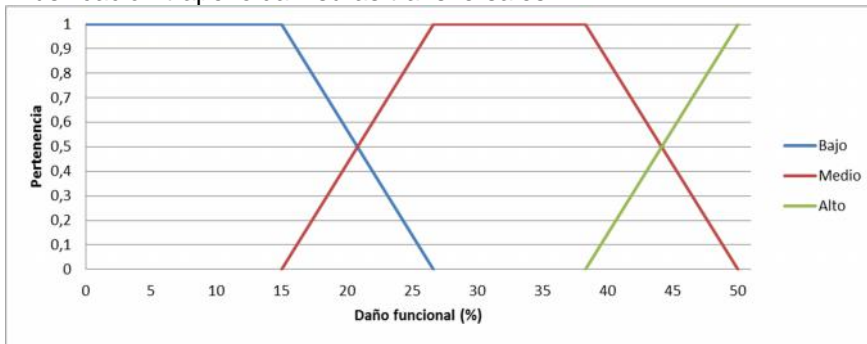
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-33: Fusificación trapezoidal fricción.



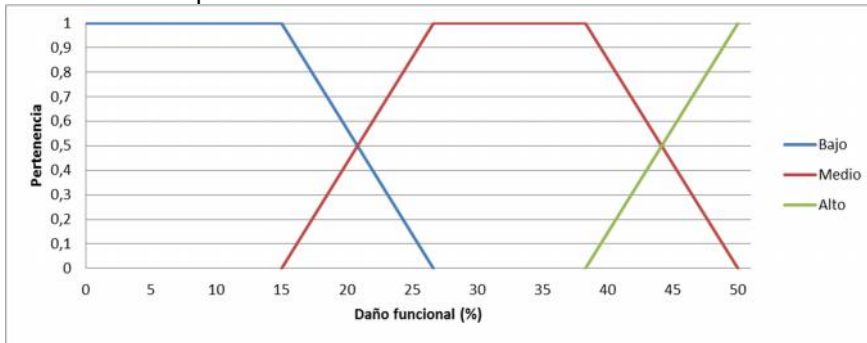
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-34: Fusificación trapezoidal fisuras transversales.



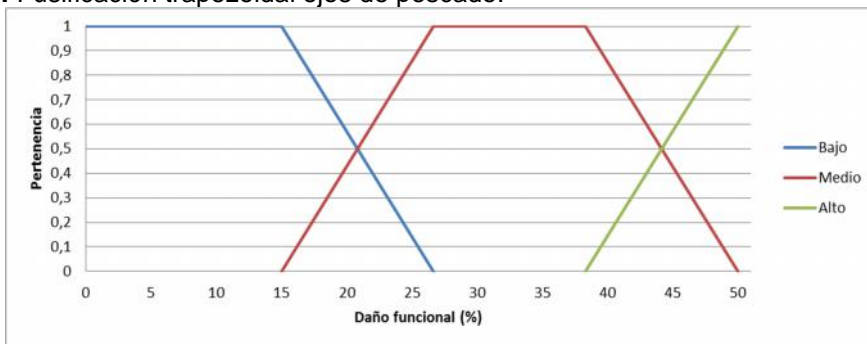
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-35: Fusificación trapezoidal fisuras de borde.



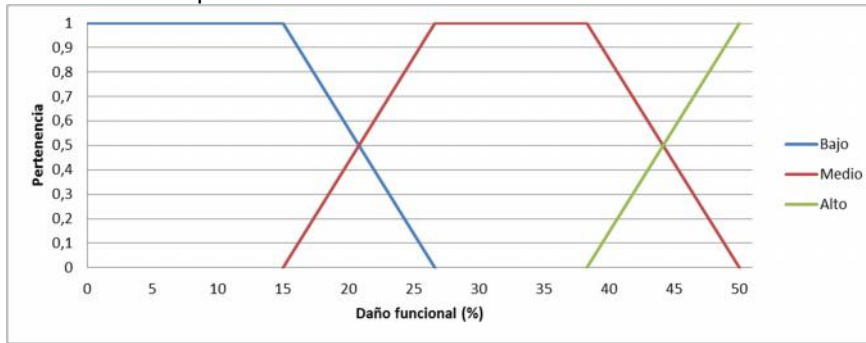
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-36: Fusificación trapezoidal ojos de pescado.



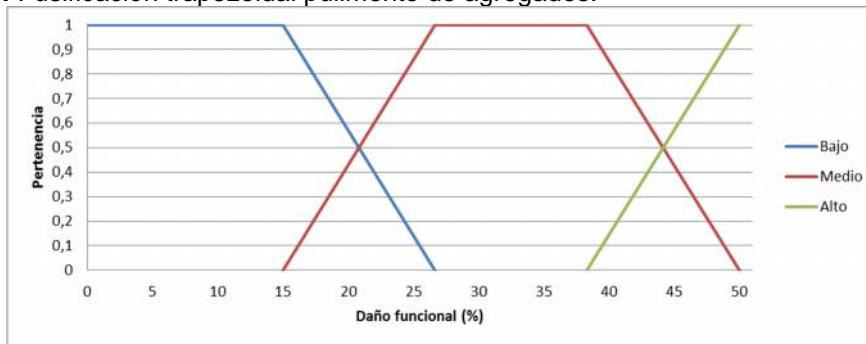
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-37: Fusificación trapezoidal descaramiento.



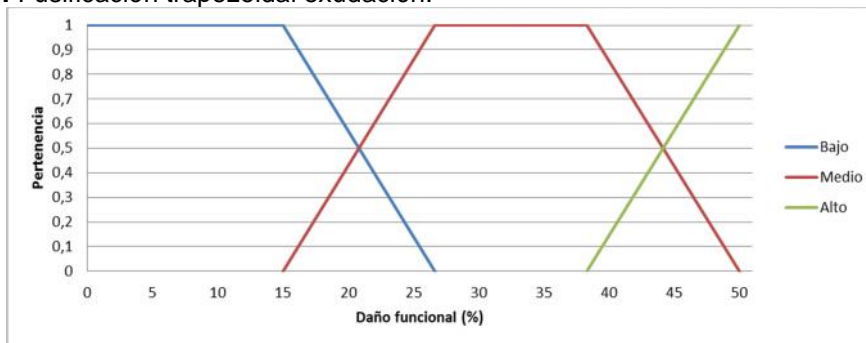
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-38: Fusificación trapezoidal pulimento de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

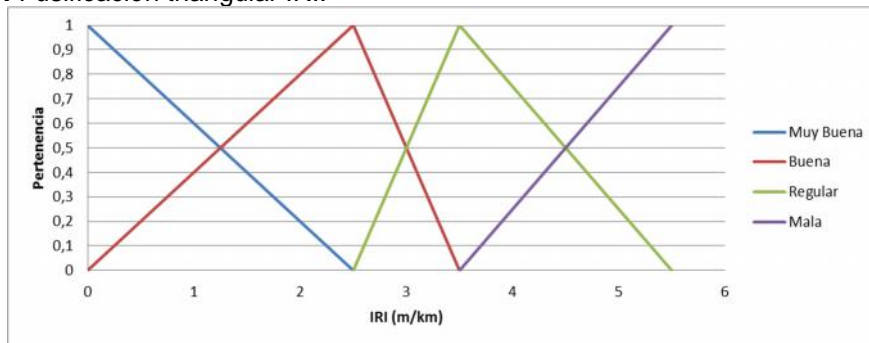
Figura 4-39: Fusificación trapezoidal exudación.



Fuente: Elaboración propia.

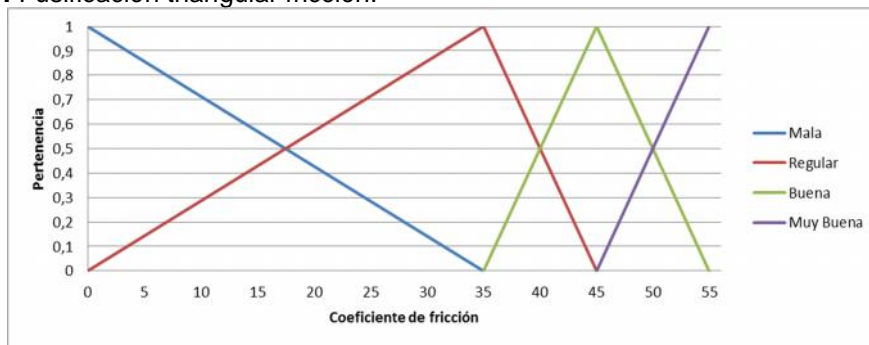
- Funciones de pertenencia triangulares

Figura 4-40: Fusificación triangular IRI.



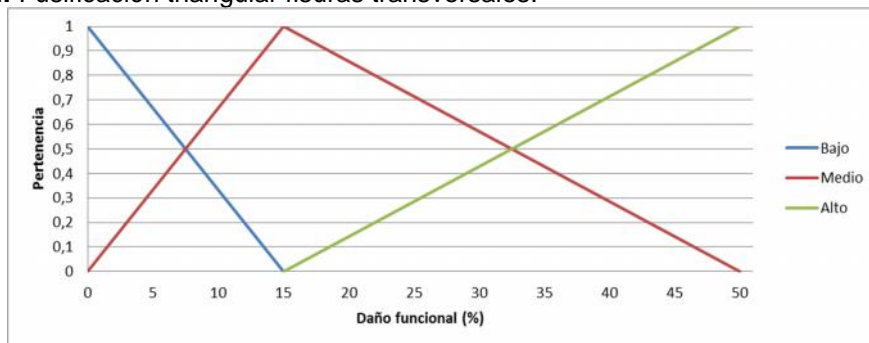
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-41: Fusificación triangular fricción.



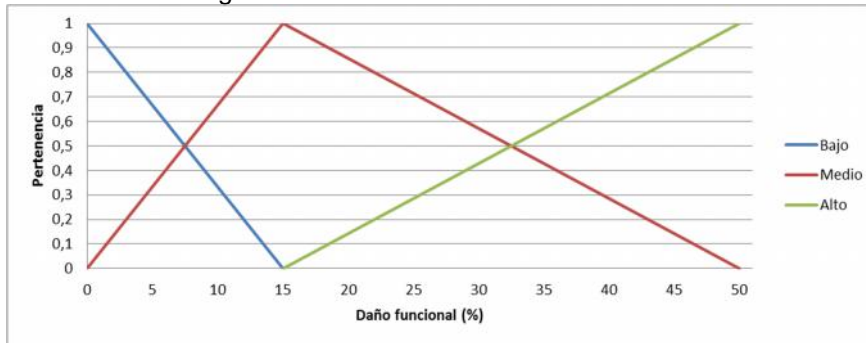
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-42: Fusificación triangular fisuras transversales.



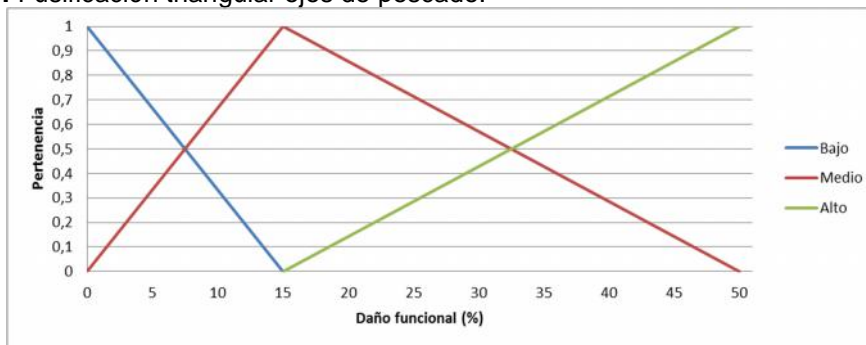
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-43: Fusificación triangular fisuras de borde.



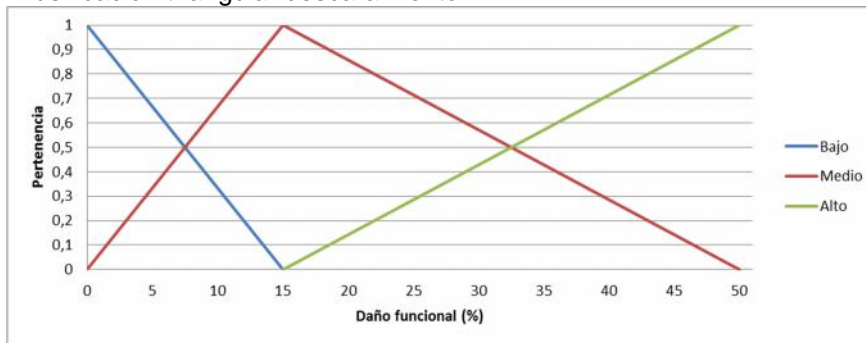
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-44: Fusificación triangular ojos de pescado.



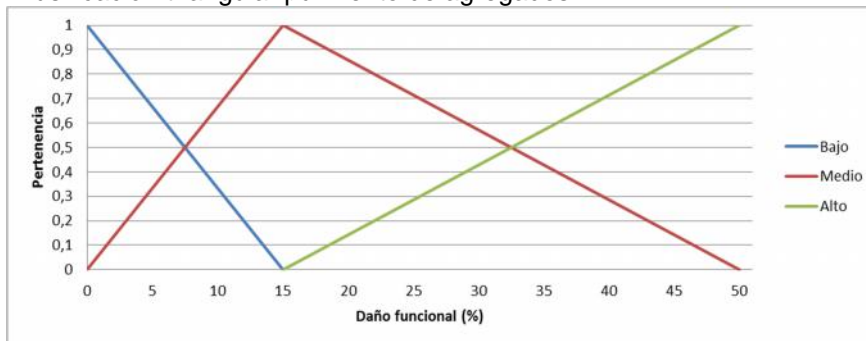
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-45: Fusificación triangular descaramiento.



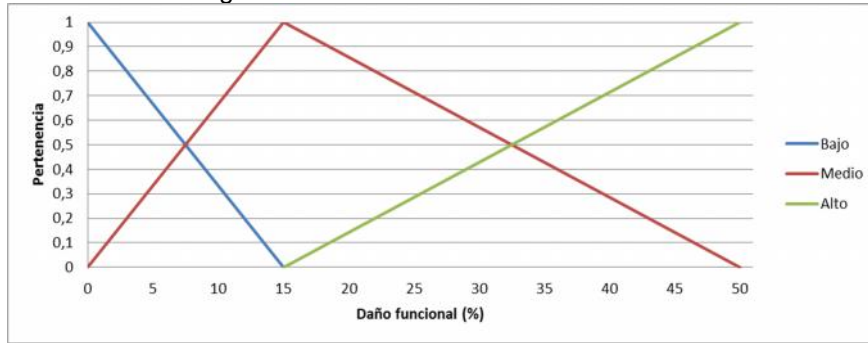
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-46: Fusificación triangular pulimento de agregados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-47: Fusificación triangular exudación.



Fuente: Elaboración propia.

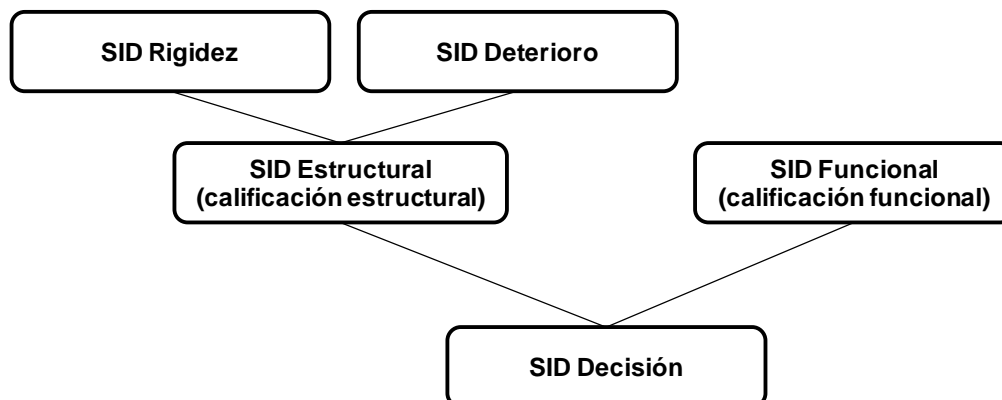
4.5 Diseño de los sistemas de inferencia difusa

Con el fin de realizar la evaluación y caracterización de la condición del pavimento se diseñaron cinco sistemas de inferencia difusa (SID). Estos sistemas están compuestos por las entradas, reglas de inferencia y salidas. Las variables de entrada son los parámetros de condición definidos para evaluar la condición del pavimento flexible en servicio. Las salidas del sistema son los resultados de la evaluación de la condición del pavimento y las recomendaciones de intervención. Al igual que los parámetros de condición, las salidas del sistema también están definidas por funciones de membresía; que en este caso fueron del tipo trapezoidal y triangular.

Se diseñaron los siguientes cinco sistemas de diferencia difusa, denominados de la siguiente forma:

- Sistema de inferencia difusa para evaluar la rigidez del pavimento (SID_{rigidez}).
- Sistema de inferencia difusa para evaluar el deterioro del pavimento (SID_{deterioro}).
- Sistema de inferencia difusa para evaluar la condición estructural del pavimento (SID_{estructural}).
- Sistema de inferencia difusa para evaluar la condición estructural del pavimento (SID_{funcional}).
- Sistema de inferencia difusa para la toma de decisiones de intervención (mantenimiento, conservación, rehabilitación, reconstrucción, etc.) del pavimento (SID_{decisión}).

Figura 4-48: Esquema del modelo global.



Cada uno de los SID propuestos tiene unas variables de entrada relacionadas con los parámetros medidos en el pavimento. Las salidas de los sistemas están expresadas en rangos de condición, definidos con base en los resultados de la evaluación y con la causa posible de los daños presentes en el pavimento.

Para propósitos de comparación, se seleccionan tres tipos de SID:

- SID con el uso de solo funciones de pertenencia de tipo trapezoidal, tanto para las entradas como para las salidas del sistema.
- SID con el uso de solo funciones de pertenencia de tipo triangular, tanto para las entradas como para las salidas del sistema.
- SID combinado, con uso de funciones trapezoidales y triangulares.

A continuación se describen las características de cada uno de los SID propuestos.

4.5.1 SID rigidez

Para la evaluación de la rigidez de las capas del pavimento se emplearon los siguientes parámetros: Deflexión central o máxima (D_0), los índices BLI, MLI y LLI, el número estructural (SN) y los módulos de las capas asfálticas, granulares y de subrasante (E_{ca} , E_{gr} y E_{srs}). La combinación de estos parámetros permitió identificar las capas que presentan problemas estructurales y enfocar las posibles soluciones asociadas a estos problemas.

Con las combinaciones obtenidas de las variables anteriores, se establecieron las siguientes categorías para calificar la rigidez del sistema: alta, media, baja y muy baja. Se definió una escala de 0 a 10, de peor a mejor condición por rigidez. En la Tabla 4-15 se muestran las reglas de inferencia definidas para realizar la evaluación de la rigidez del pavimento. Como ya se ha mencionado, estas reglas son de la forma SI....Y/O....Entonces.

Tabla 4-15: Reglas de inferencia SID rigidez.

SI	CALIFICACIÓN	Y	CALIFICACIÓN	CATEGORIA RIGIDEZ	EVALUACIÓN
Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	SN	Muy buena	Alta	Todas las capas buena
			Buena	Alta	Todas las capas buena
			Regular	Media	Todas las capas regular
			Mala	Media	Todas las capas regular
	Moderada		Muy buena	Alta	Todas las capas buena
			Buena	Alta	Todas las capas buena
			Regular	Media	Todas las capas regular
			Mala	Media	Todas las capas regular
	Alta		Muy buena	Media	Todas las capas buena
			Buena	Media	Todas las capas buena
			Regular	Baja	Todas las capas regular
			Mala	Baja	Todas las capas regular
	Muy alta		Muy buena	Baja	Todas las capas malo
			Buena	Baja	Todas las capas malo

SI	CALIFICACIÓN	Y	CALIFICACIÓN	CATEGORIA RIGIDEZ	EVALUACIÓN
			Regular	Muy Baja	Todas las capas muy malo
			Mala	Muy Baja	Todas las capas muy malo
BLI ($D_{max} - D_{0.3}$)	Adecuada	Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	Alta	CA buena
			Moderada	Alta	CA buena
			Alta	Media	CA regular
			Muy Alta	Baja	CA mala
	En riesgo		Baja	Media	CA regular
			Moderada	Media	CA regular
			Alta	Baja	CA mala
			Muy Alta	Baja	CA mala
	Grave		Baja	Baja	CA mala
			Moderada	Muy Baja	CA muy malo
			Alta	Muy Baja	CA muy malo
			Muy Alta	Muy Baja	CA muy malo
MLI ($D_{0.3} - D_{0.6}$)	Adecuada	Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	Alta	GR buena
			Moderada	Alta	GR buena
			Alta	Media	GR regular
			Muy Alta	Baja	GR mala
	En riesgo		Baja	Media	GR regular
			Moderada	Media	GR regular
			Alta	Baja	GR mala
			Muy Alta	Baja	GR mala
	Grave		Baja	Baja	GR mala
			Moderada	Muy Baja	GR muy malo
			Alta	Muy Baja	GR muy malo
			Muy Alta	Muy Baja	GR muy malo
LLI ($D_{0.6} - D_{0.9}$)	Adecuada	Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	Alta	SRS buena
			Moderada	Alta	SRS buena
			Alta	Media	SRS regular
			Muy Alta	Baja	SRS mala
	En riesgo		Baja	Media	SRS regular
			Moderada	Media	SRS regular
			Alta	Baja	SRS mala
			Muy Alta	Baja	SRS mala
	Grave		Baja	Baja	SRS mala
			Moderada	Muy Baja	SRS muy malo
			Alta	Muy Baja	SRS muy malo
			Muy Alta	Muy Baja	SRS muy malo
Módulo CA	Alto	Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	Alta	CA buena
			Moderada	Alta	CA buena
			Alta	Media	CA regular
			Muy Alta	Baja	CA mala

SI	CALIFICACIÓN	Y	CALIFICACIÓN	CATEGORIA RIGIDEZ	EVALUACIÓN
	Medio		Baja	Media	CA regular
			Moderada	Media	CA regular
			Alta	Baja	CA mala
	Bajo		Muy Alta	Baja	CA mala
			Baja	Baja	CA mala
			Moderada	Muy Baja	CA muy malo
			Alta	Muy Baja	CA muy malo
Muy Alta	Muy Baja	CA muy malo			
Módulo GR	Alto	Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	Alta	GR buena
			Moderada	Alta	GR buena
			Alta	Media	GR regular
	Medio		Muy Alta	Baja	GR mala
			Baja	Media	GR regular
			Moderada	Media	GR regular
			Alta	Baja	GR mala
	Bajo		Muy Alta	Baja	GR mala
			Baja	Baja	GR mala
			Moderada	Muy Baja	GR muy malo
Alta		Muy Baja	GR muy malo		
Muy Alta		Muy Baja	GR muy malo		
Módulo SRS	Alto	Deflexión central máxima (D_0) (mm)	Baja	Alta	SRS buena
			Moderada	Alta	SRS buena
			Alta	Media	SRS regular
	Medio		Muy Alta	Baja	SRS mala
			Baja	Media	SRS regular
			Moderada	Media	SRS regular
			Alta	Baja	SRS mala
	Bajo		Muy Alta	Baja	SRS mala
			Baja	Baja	SRS mala
			Moderada	Muy Baja	SRS muy malo
Alta		Muy Baja	SRS muy malo		
Muy Alta		Muy Baja	SRS muy malo		
Módulo CA	Alto	BLI ($D_{max} - D_{0.3}$)	Adecuada	Alta	CA buena
			En riesgo	Alta	CA buena
			Grave	Media	CA regular
	Medio		Adecuada	Media	CA regular
			En riesgo	Media	CA regular
			Grave	Baja	CA mala
			Bajo	Adecuada	Baja
En riesgo	Muy Baja	CA muy malo			
Grave	Muy Baja	CA muy malo			

SI	CALIFICACIÓN	Y	CALIFICACIÓN	CATEGORIA RIGIDEZ	EVALUACIÓN
Módulo GR	Alto	MLI ($D_{0,3} - D_{0,6}$)	Adecuada	Alta	GR buena
			En riesgo	Alta	GR buena
			Grave	Media	GR regular
	Medio		Adecuada	Media	GR regular
			En riesgo	Media	GR regular
			Grave	Baja	GR mala
	Bajo		Adecuada	Baja	GR mala
			En riesgo	Muy Baja	GR muy malo
			Grave	Muy Baja	GR muy malo
Módulo SRS	Alto	LLI ($D_{0,6} - D_{0,9}$)	Adecuada	Alta	SRS buena
			En riesgo	Alta	SRS buena
			Grave	Media	SRS regular
	Medio		Adecuada	Media	SRS regular
			En riesgo	Media	SRS regular
			Grave	Baja	SRS mala
	Bajo		Adecuada	Baja	SRS mala
			En riesgo	Muy Baja	SRS muy malo
			Grave	Muy Baja	SRS muy malo

CA: Capa asfáltica GR: Capas granulares SRS: Subrasante

Con base en las reglas de inferencia anteriores, se diseñó el SID con las funciones de pertenencia definidas para las entradas y salidas. En la Figura 4-49 se muestra la representación gráfica del SID $_{rigidez}$, utilizando funciones de pertenencia trapezoidales para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-50 se muestra la representación gráfica del SID $_{rigidez}$, utilizando funciones de pertenencia triangulares para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-49 se muestra la representación gráfica del SID $_{rigidez}$, utilizando funciones de pertenencia combinadas para las entradas y salidas del sistema.

4.5.2 SID $_{deterioro}$

Los parámetros de entrada para la evaluación del deterioro están relacionados con el estado de la superficie del pavimento; para el sistema propuesto se seleccionaron los siguientes daños: ahuellamiento, fisuras longitudinales por fatiga y piel de cocodrilo. Para el caso del ahuellamiento se emplearon las categorías muy buena, buena, regular y mala; mientras que para las fisuras por fatiga y de tipo piel de cocodrilo se utilizaron las categorías baja, media y alta.

Con las combinaciones de estas variables, se definieron calificaciones de deterioro de la siguiente forma: buen estado, ahuellamiento bajo, fisuración baja, fisuración media, fisuración severa, ahuellamiento medio, ahuellamiento medio, ahuellamiento severo y falla. Se definió una escala que va de 0 a 10, de peor a mejor condición por deterioro. En la Tabla 4-16 se muestran las reglas de inferencia definidas para realizar la evaluación.

Tabla 4-16: Reglas de inferencia SID_{deterioro}.

SI	EVALUACIÓN	Y	EVALUACIÓN	O	EVALUACIÓN DETRIORO	CATEGORIA							
Ahuellamiento	Muy buena	Fisuración	Baja	Piel de cocodrilo	Baja	Buen estado							
	Buena					Ahuellamiento bajo							
	Regular					Fisuración baja							
	Muy buena		Media		Alto	Alto	Alto	Fisuración media					
	Buena							Fisuración severa					
	Regular							Ahuellamiento medio					
	Muy buena		Alto		Baja	Baja	Baja	Ahuellamiento medio					
	Buena							Ahuellamiento severo					
	Regular							Falla					
	Mala		Baja		Media	Alto	Alto	Alto	Falla				
									Media	Alto	Alto	Alto	Falla
													Alto

Figura 4-49: SID ^{rigidez} Funciones trapezoidales y combinadas.

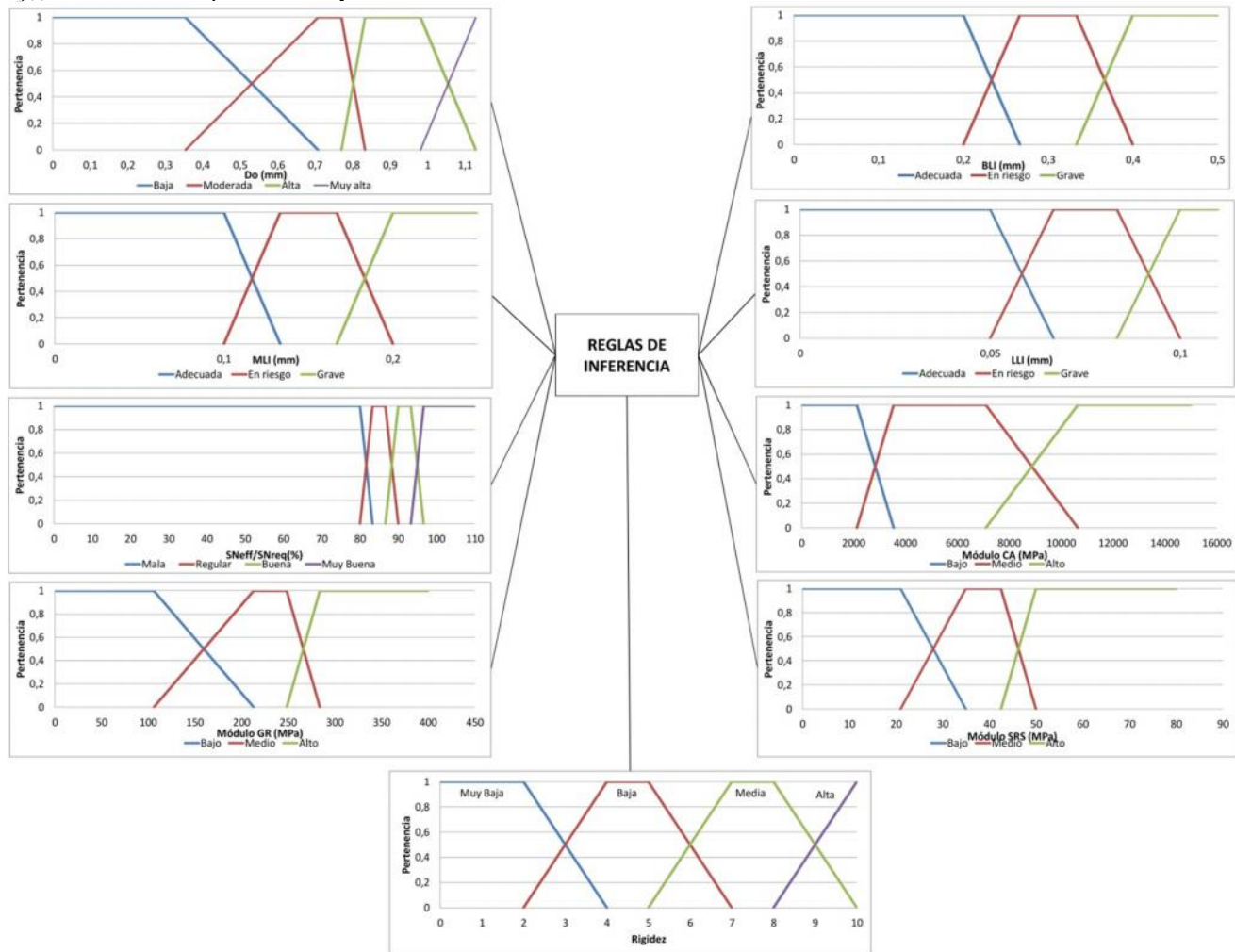
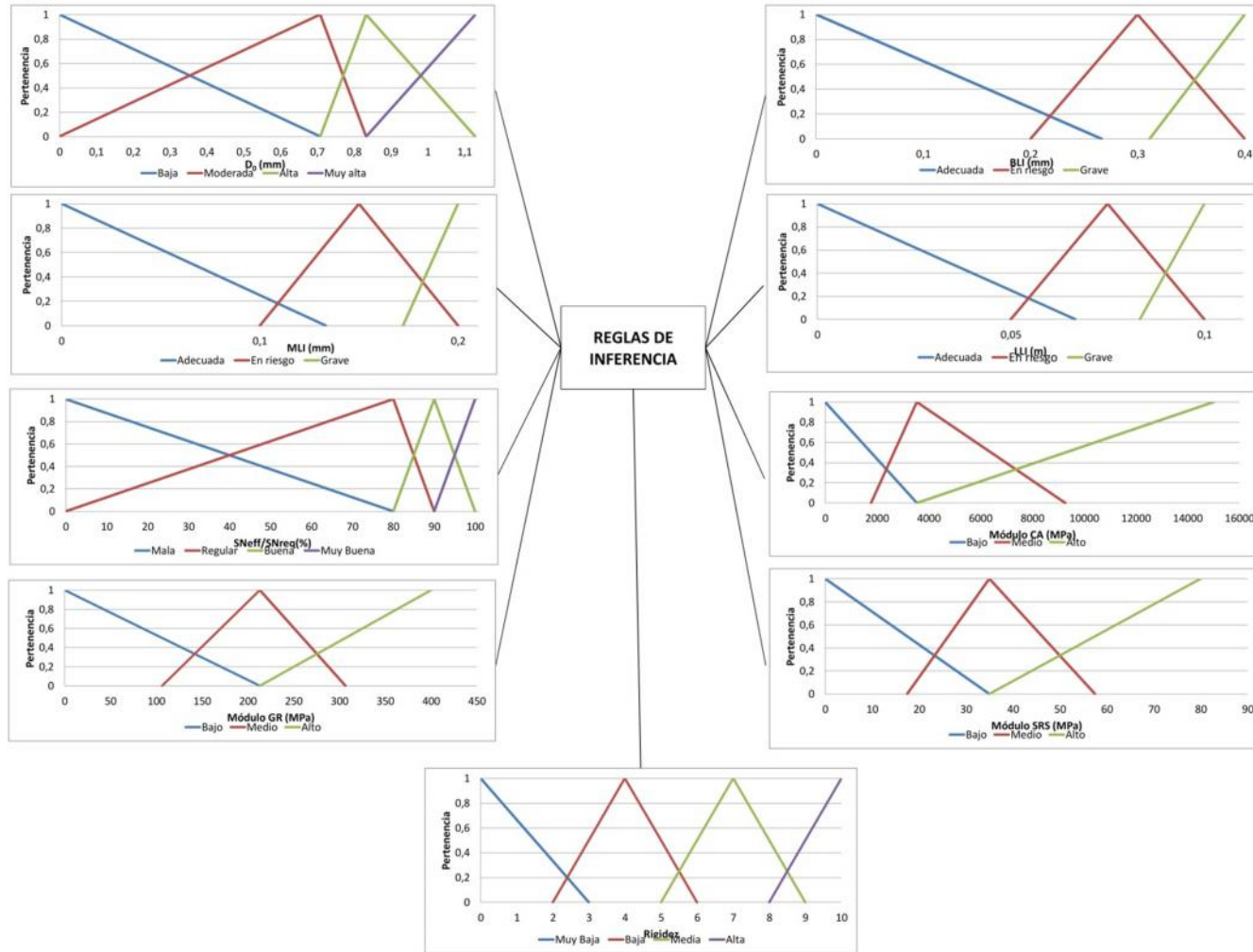


Figura 4-50: SID ^{rigidez} Funciones triangulares.



Con base en las reglas de inferencia anteriores, se diseñó el SID con las funciones de pertenencia definidas para las entradas y salidas. En la Figura 4-51 se muestra la representación gráfica del SID _{deterioro}, utilizando funciones de pertenencia trapezoidales para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-52 se muestra la representación gráfica del SID deterioro, utilizando funciones de pertenencia triangulares para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-53 se muestra la representación gráfica del SID deterioro, utilizando funciones de pertenencia combinadas para las entradas y salidas del sistema.

4.5.3 SID estructural

La definición de la condición estructural del pavimento, se realizó a partir de los resultados obtenidos de la evaluación de la rigidez y el deterioro. De la combinación de las dos condiciones se definieron las siguientes categorías para la condición estructural, las cuales están directamente asociadas con las posibles intervenciones que requiere el pavimento: Pavimento fallado 2, Pavimento fallado 1, Pavimento regular 3, Pavimento regular 2, Pavimento regular 1, Pavimento medio 3, Pavimento medio 2, Pavimento medio 1 y Pavimento bueno. Se definió una escala que va de 0 a 10, indicativo de peor a mejor condición estructural. En la Tabla 4-17 se muestra las reglas de inferencia definidas para realizar la evaluación.

Tabla 4-17: Reglas de inferencia SID _{estructural}.

RIGIDEZ	DETERIORO	Intervención probable	Clasificación
Alta	Buen estado	No intervenir	Pavimento bueno
	Fisuración baja	Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Pavimento medio 1
	Fisuración media	Sellado de grietas/Bacheo	Pavimento medio 2
	Fisuración severa	Fresado y microaglomerado	Pavimento medio 3
	Ahuellamiento Bajo	Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Pavimento medio 1
	Ahuellamiento medio	Fresado y microaglomerado	Pavimento medio 3
	Ahuellamiento severo		
	Fallado	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Pavimento regular 2
Media	Buen estado	Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Pavimento medio 1
	Fisuración baja		
	Fisuración media	Refuerzo	Pavimento regular 1
	Fisuración severa	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Pavimento regular 2
	Ahuellamiento Bajo	Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Pavimento medio 1
	Ahuellamiento medio	Fresado y microaglomerado	Pavimento medio 3
	Ahuellamiento severo		
	Fallado	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Pavimento regular 2
Baja	Buen estado	Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Pavimento medio 1
	Fisuración baja		
	Fisuración media	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Pavimento regular 2
	Fisuración severa		
	Ahuellamiento Bajo	Fresado y microaglomerado	Pavimento medio 3
	Ahuellamiento medio	Refuerzo	Pavimento regular 1
	Ahuellamiento severo	Fresado y refuerzo CA	Pavimento regular 3

RIGIDEZ	DETERIORO	Intervención probable	Clasificación
	Fallado		
Muy Baja	Buen estado	Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Pavimento medio 1
	Fisuración baja		
	Fisuración media	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Pavimento regular 2
	Fisuración severa	Reconstrucción CA y GR	Pavimento fallado 1
	Ahuellamiento Bajo	Refuerzo	Pavimento regular 1
	Ahuellamiento medio	Reconstrucción CA y GR	Pavimento fallado 1
	Ahuellamiento severo	Reconstrucción total y mejoramiento SRS	Pavimento fallado 2
	Fallado		

Con base en las reglas de inferencia anteriores, se diseñó el SID con las funciones de pertenencia definidas para las entradas y salidas. En la Figura 4-54 se muestra la representación gráfica del SID_{estructural}, utilizando funciones de pertenencia trapezoidales para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-55 se muestra la representación gráfica del SID_{estructural}, utilizando funciones de pertenencia triangulares para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-56 se muestra la representación gráfica del SID_{estructural}, utilizando funciones de pertenencia combinadas para las entradas y salidas del sistema.

4.5.4 SID_{funcional}

La definición de la condición funcional del pavimento, se realizó a partir de las siguientes variables de entrada: IRI, fricción, fisuras transversales, fisuras de borde, ojos de pescado, descascaramiento, pulimento de agregados y exudación. El IRI se evaluó con las categorías mala, regular, buena y muy buena. Por su parte, la severidad de los daños superficiales de carácter funcional se clasificó como alta, medio y bajo.

Con las combinaciones de los parámetros anteriores, se definieron calificaciones de condición funcional de la siguiente forma: superficie mala, superficie regular y superficie buena. Se definió una escala de 0 a 5, que va de peor a mejor condición funcional. En la Tabla 4-18 se muestra las reglas de inferencia definidas para realizar la evaluación.

Tabla 4-18: Reglas de inferencia SID_{funcional}.

SI	EVALUACIÓN	Y	EVALUACIÓN	CATEGORIA
IRI (m/Km) o Fricción	Mala	Daños funcionales	Alta	Superficie mala
			Medio	
			Bajo	Superficie regular
	Regular		Alta	Superficie mala
			Medio	
			Bajo	Superficie regular
	Buena		Alta	Superficie buena
			Medio	
			Bajo	Superficie regular
	Muy buena		Alta	Superficie regular

SI	EVALUACIÓN	Y	EVALUACIÓN	CATEGORIA	
Fricción	Mala	IRI (m/Km)	Medio	Superficie buena	
			Bajo		
			Mala	Superficie mala	
			Regular		
			Buena	Superficie regular	
			Muy buena		
	Regular		Buena o Muy buena	Mala	Superficie mala
				Regular	Superficie regular
				Buena	
	Buena o Muy buena			Muy buena	Superficie buena
				Mala	
				Regular	
		Buena o Muy buena			

Con base en las reglas de inferencia anteriores, se diseñó el SID con las funciones de pertenencia definidas para las entradas y salidas. En la Figura 4-57 se muestra la representación gráfica del SID _{funcional}, utilizando funciones de pertenencia trapezoidales para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-58 se muestra la representación gráfica del SID _{funcional}, utilizando funciones de pertenencia triangulares para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-59 se muestra la representación gráfica del SID funcional, utilizando funciones de pertenencia combinadas para las entradas y salidas del sistema.

4.5.5 SID _{decisión}

La definición de las alternativas más convenientes para intervenir el pavimento, se obtuvo a partir de la combinación de los resultados de la evaluación estructural y funcional. De la combinación de las dos condiciones, se definieron las siguientes intervenciones:

- Reconstrucción total y mejoramiento subrasante (SRS)
- Reconstrucción carpeta asfáltica (CA) y material granular (GR)
- Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
- Fresado y refuerzo CA
- Refuerzo CA
- Fresado CA y microaglomerado
- Sellado de grietas/Bacheo/Tratamiento superficial doble (TSD)
- Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
- Sellado de grietas/Bacheo
- Tratamiento superficial doble (TSD)Microaglomerado
- Mantenimiento rutinario/Monitoreo
- No intervenir.

Figura 4-51: SID deterioro Funciones trapezoidales.

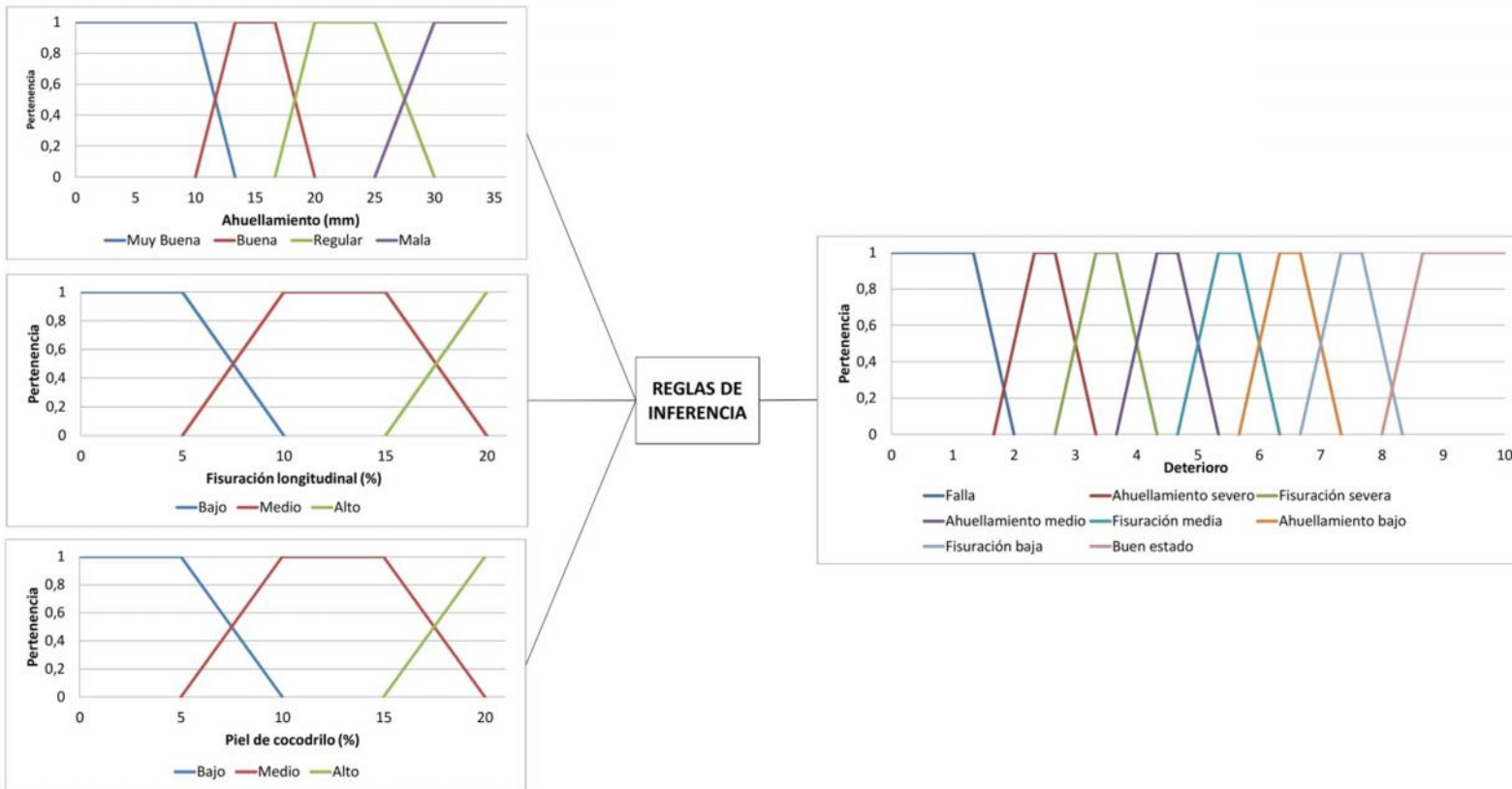


Figura 4-53: SID deterioro Funciones combinadas.

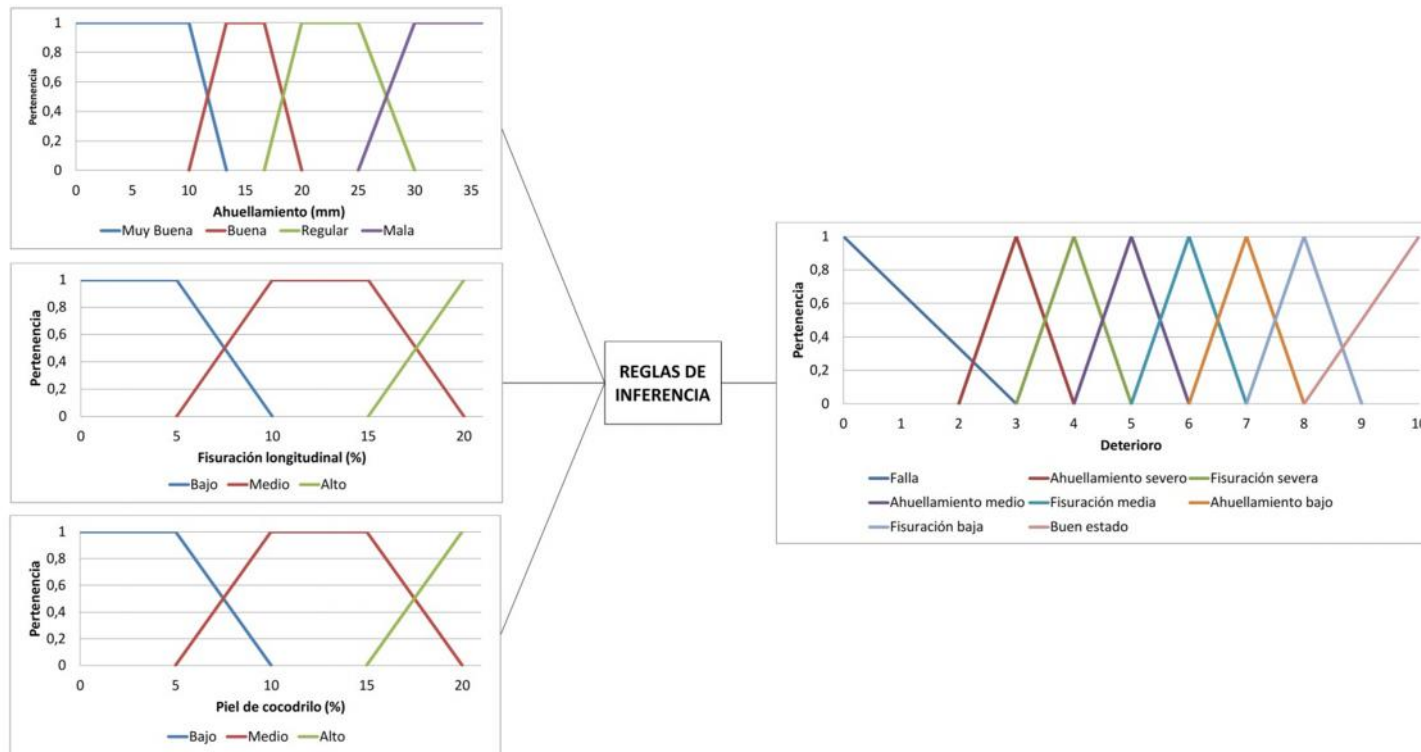


Figura 4-54: SID estructural Funciones trapezoidales.

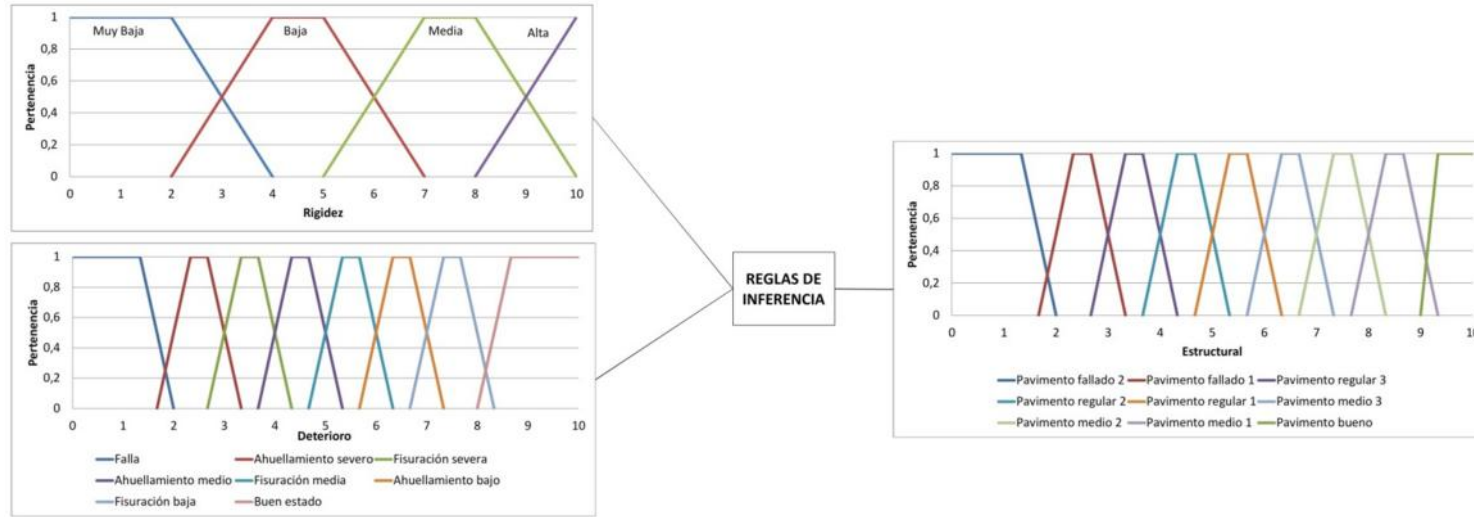


Figura 4-55: SID estructural Funciones triangulares.

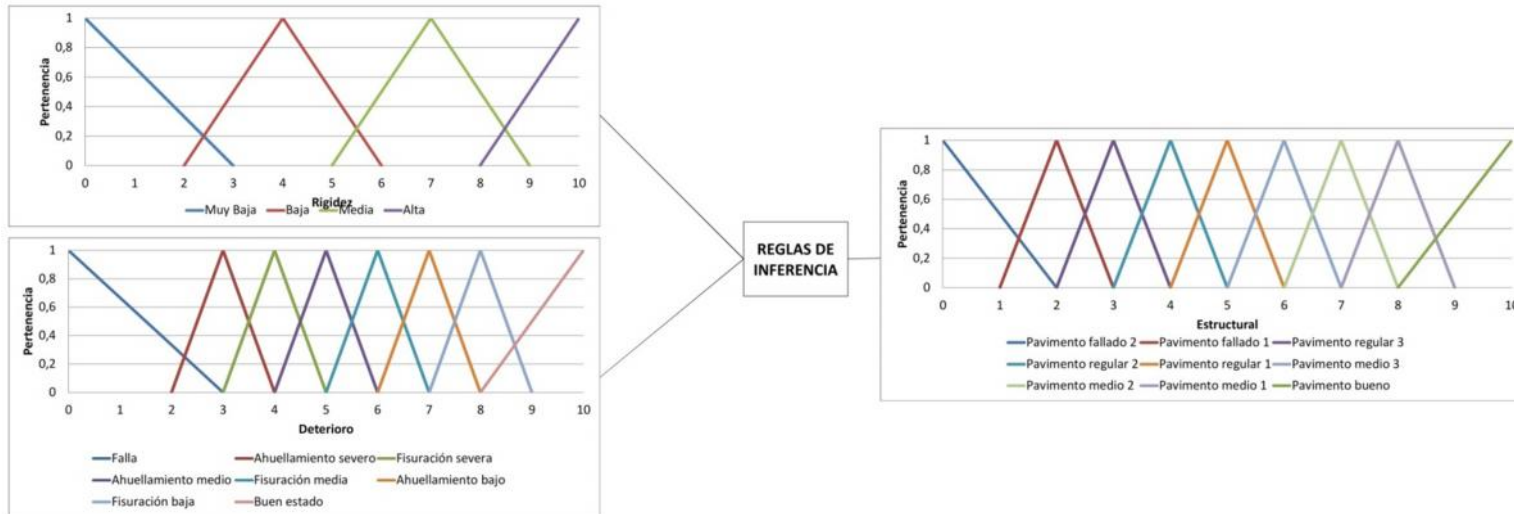


Figura 4-56: SID estructural Funciones combinadas.

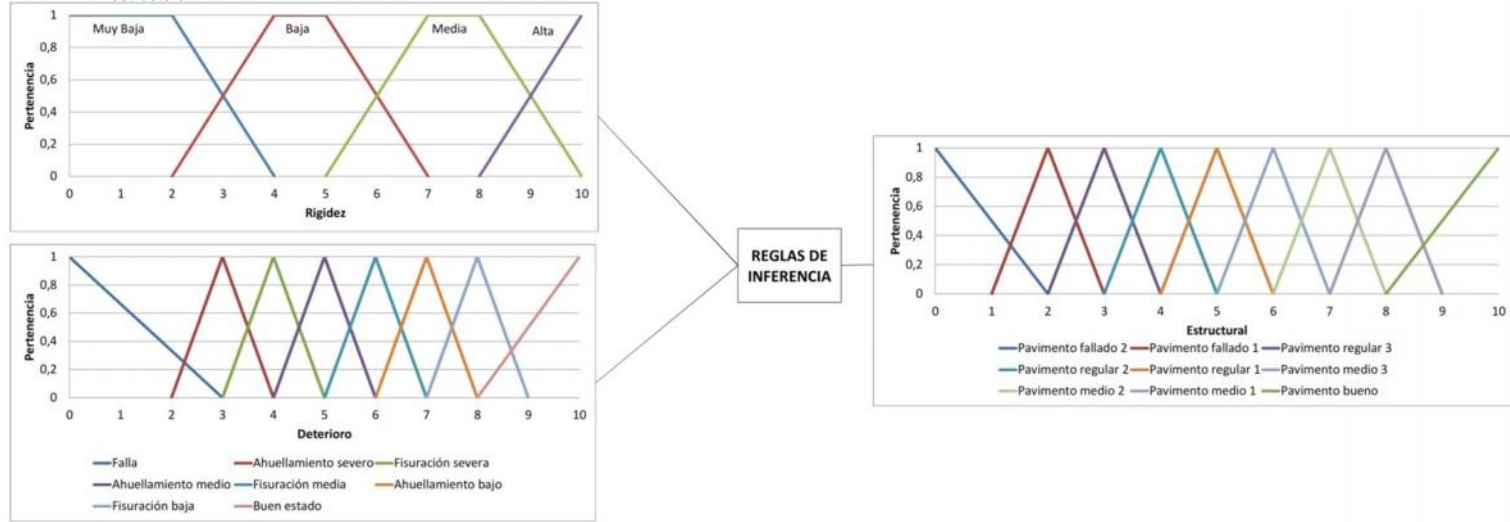


Figura 4-57: SID funcional Funciones trapezoidales.

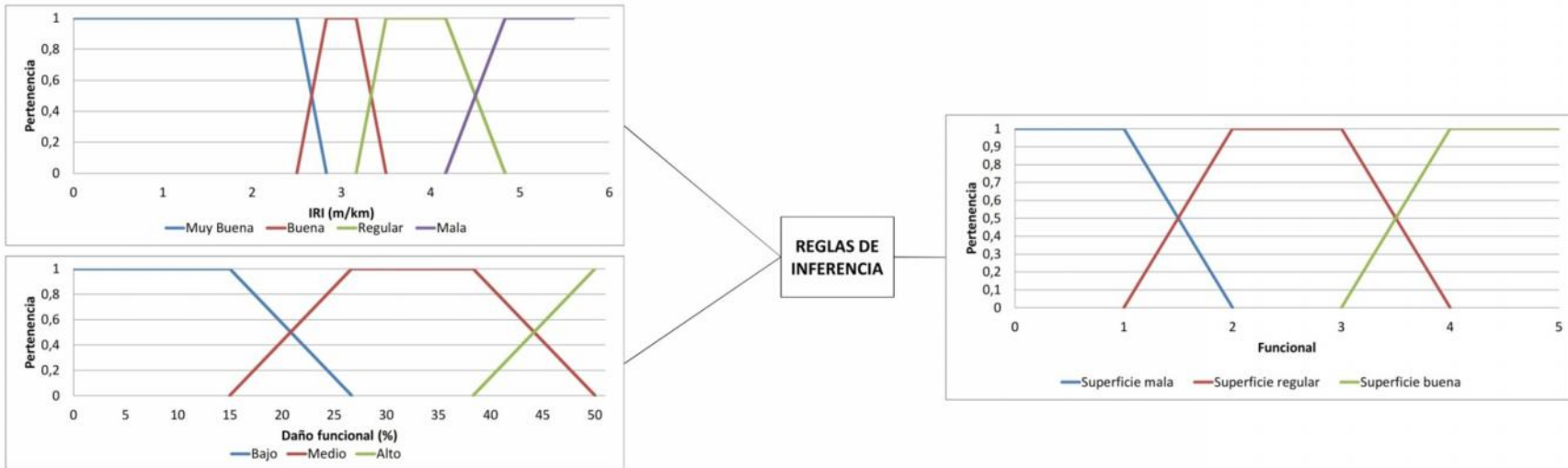


Figura 4-58: SID funcional Funciones triangulares.

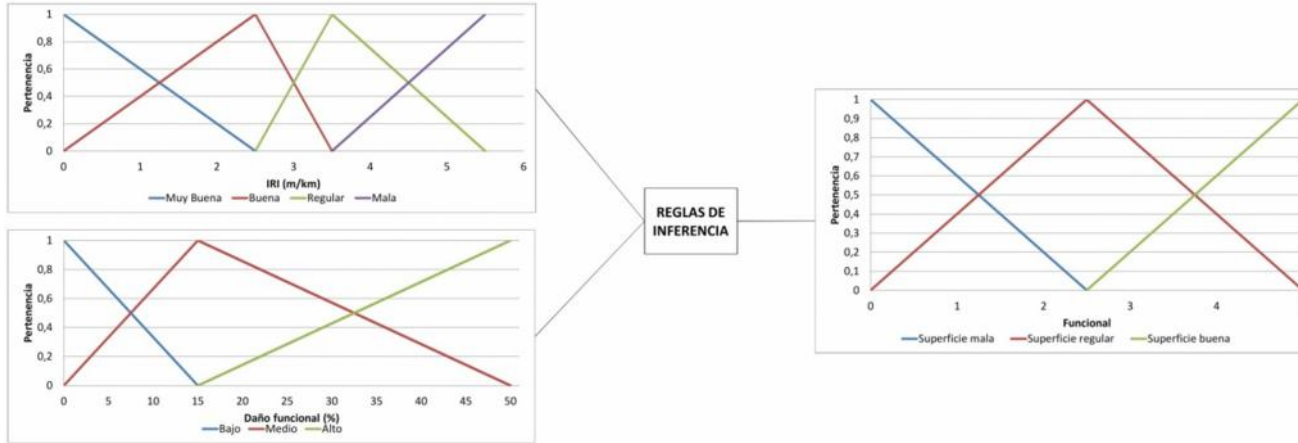
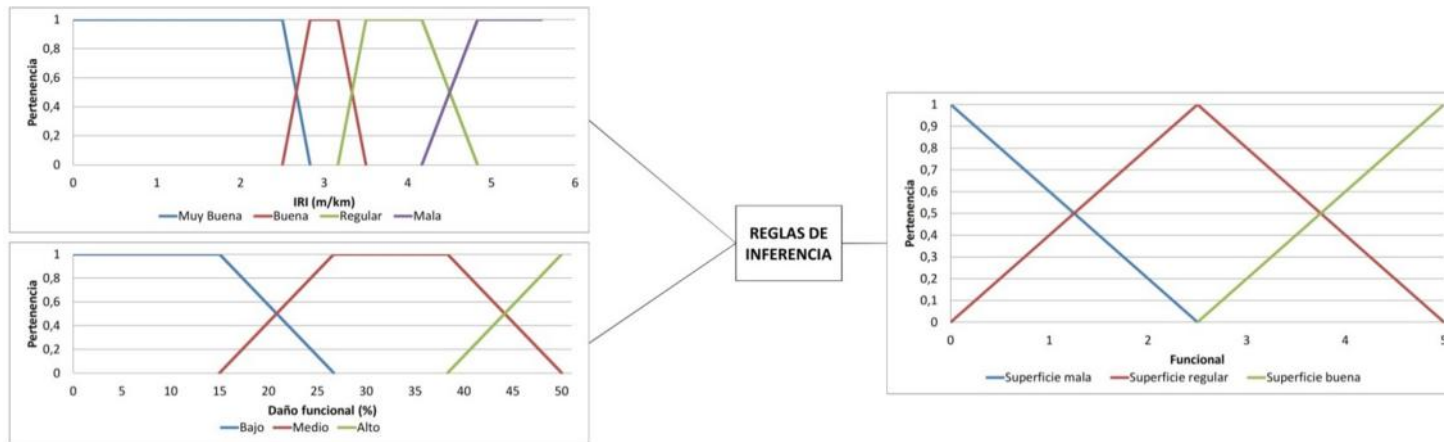


Figura 4-59: SID funcional Funciones combinadas.



Se definió una escala de 0 a 10, donde 0 representa un pavimento que requiere una reconstrucción total y 10, un pavimento que no requiere ninguna intervención. Para calificaciones entre 5 y 9, se definieron alternativas de intervención enfocadas en la corrección de daños funcionales y de daños estructurales menores. Para calificaciones entre 1 y 5, las intervenciones propuestas son de carácter estructural, las cuales a su vez restauran la condición funcional del pavimento. Las propuestas de intervención se establecieron a partir de las recomendaciones de las entidades encargadas de la administración vial en Colombia, como son INVIAS y ANI. En la Tabla 4-19 se muestra las reglas de inferencia definidas para realizar la evaluación.

Tabla 4-19: Reglas de inferencia SID_{decisión}.

CATEGORIA FUNCIONAL		
Superficie buena	Superficie regular	Superficie mala
No intervenir	Microaglomerado	Tratamiento superficial doble
Mantenimiento rutinario/Monitoreo	Microaglomerado	Tratamiento superficial doble
Sellado de grietas/Bacheo	Sellado de grietas/Bacheo y Microaglomerado	Sellado de grietas/Bacheo y TSD
Fresado y microaglomerado	Fresado y microaglomerado	Fresado y microaglomerado o TSD
Refuerzo	Refuerzo	Refuerzo
Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
Fresado y refuerzo CA	Fresado y refuerzo CA	Fresado y refuerzo CA
Reconstrucción CA y GR	Reconstrucción CA y GR	Reconstrucción CA y GR
Reconstrucción total y mejoramiento SRS	Reconstrucción total y mejoramiento SRS	Reconstrucción total y mejoramiento SRS

En la Figura 4-60 se muestra la representación gráfica del SID_{decisión}, utilizando funciones de transferencia trapezoidales para las entradas y salidas del sistema.

En la Figura 4-61 se muestra la representación gráfica del SID_{decisión}, utilizando funciones de transferencia triangulares y combinadas para las entradas y salidas del sistema.

Figura 4-60: SID decisión Funciones trapezoidales.

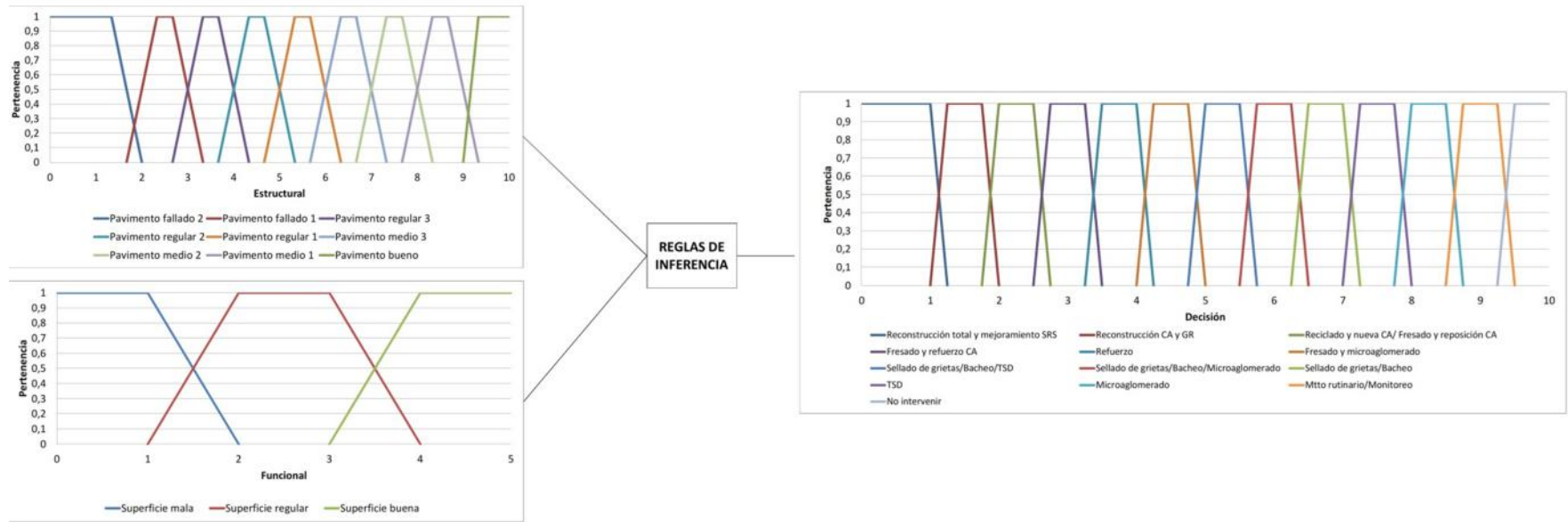
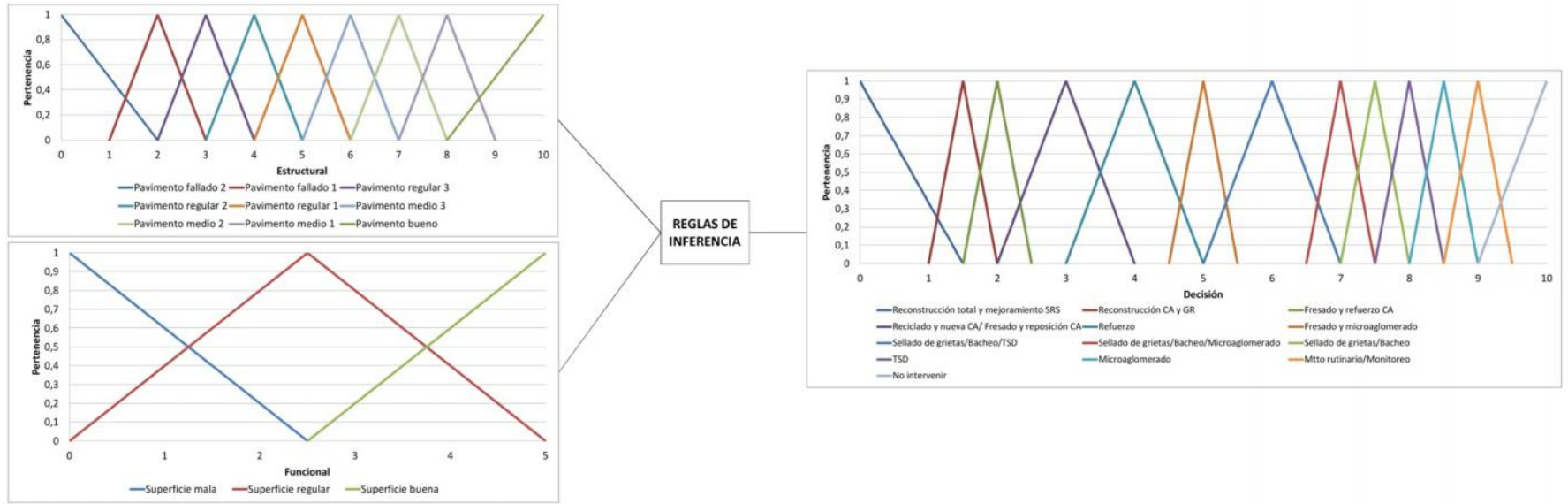


Figura 4-61: SID_{decisión} Funciones triangulares y combinadas.



4.6 Programación del modelo en MATLAB®

El programa MATLAB® o Matrix Laboratory es una herramienta de programación de matemáticas, desarrollada por MathWorks a finales de la década de los 70's y principio de los 80's. Se basa en el lenguaje de programación M, desarrollado específicamente para este programa y está disponible en todas las plataformas de los sistemas operativos actuales.

El programa se basa en el trabajo con matrices, representación de datos, funciones y algoritmos, además de la facilidad de conectarse con programas en otros lenguajes. Posee dos componentes básicos, llamados MATLAB ® y Simulink ®. El programa permite ampliar su uso y ventajas, a través de paquetes adicionales conocidos como herramientas o "toolboxes". Una de estas herramientas es el Fuzzy Logic Toolbox, que proporciona funciones, aplicaciones y herramientas para analizar, diseñar y realizar simulaciones de sistemas basados en Lógica Difusa. La herramienta permite implementar sistemas complejos a través de reglas de inferencia simples, mediante una interfaz gráfica amigable de gran potencia y rapidez.

El sistema se basa en el trabajo a través de vectores, en el cual se analiza un vector de entrada y basado en las reglas de inferencia definidas se obtiene un vector resultado con sus valores definidos. El programa posee los siguientes componentes de edición:

- Editor de funciones de inferencia difusa: muestra la información general del SID.
- Editor de funciones de pertenencia: permite crear y editar las funciones de pertenencia asociadas con las variables de entrada y salida del SID.
- Editor de reglas de inferencia difusa: permite crear y editar las reglas de inferencia del SID, de manera lingüística o numérica.
- Visor de reglas: permite observar los detalles de cada una de las reglas del SID y sus resultados.
- Visor de superficie: este componente permite generar una superficie en tres dimensiones, a partir de dos variables de entrada y una de salida.

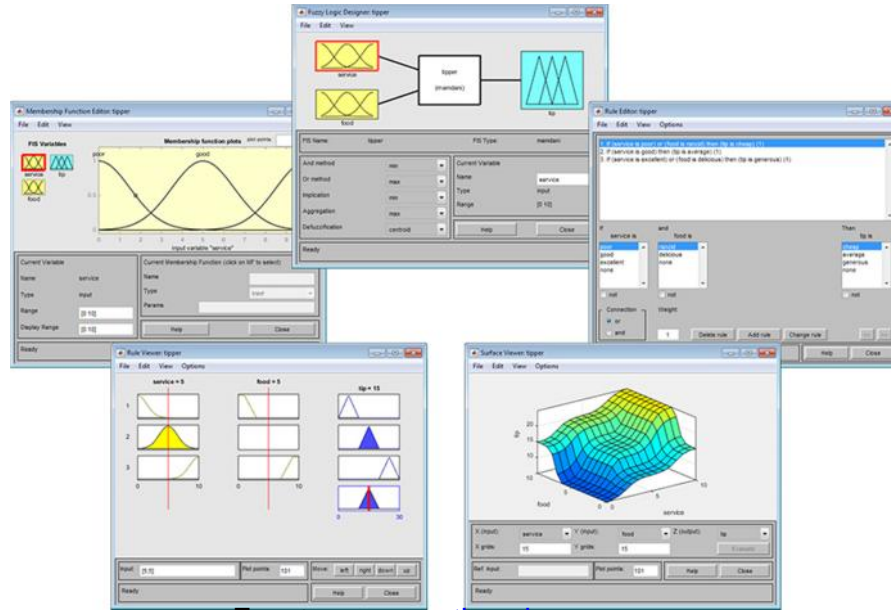
En la Figura 4-62 se presentan las vistas de los componentes descritos anteriormente.

El programa MATLAB permite la generación del algoritmo basado en Lógica Difusa usando la interfaz gráfica o en su defecto, los comandos o funciones para cada acción deseada. Se puede seleccionar el diseño por los sistemas de inferencia propuestos por Sugeno y Mandami.

Para cada SID que se diseñó, se creó un archivo de extensión .fis, mediante la interface gráfica, tal y como se muestra en la Figura 4-63, donde se presenta el diseño del SID funcional. El programa permite diseñar gráficamente las funciones fusificadas, a partir de los rangos que se definieron previamente. Una vez que se tienen los SID, se procede a establecer las reglas de inferencia, a través de una interface muy sencilla, empleando los conectores Y y O ---- Entonces. En la Figura 4-64 se presenta lo descrito.

Una vez que se ha diseñado el algoritmo y se ha almacenado en archivos .fis, se procede a cargar los datos al programa, lo cual se puede realizar de forma directa (como matrices) o en su defecto, en archivos de Excel.

Figura 4-62: Visores de la herramienta Lógica Difusa MATLAB. Editor de funciones de membresía (arriba a la izquierda), Editor SID (centro), Editor de reglas (arriba a la derecha), Visor de reglas (abajo a la izquierda) y Visor de superficie (abajo a la derecha).



Fuente: www.mathworks.com

Figura 4-63: Ejemplo diseño SID funcional.

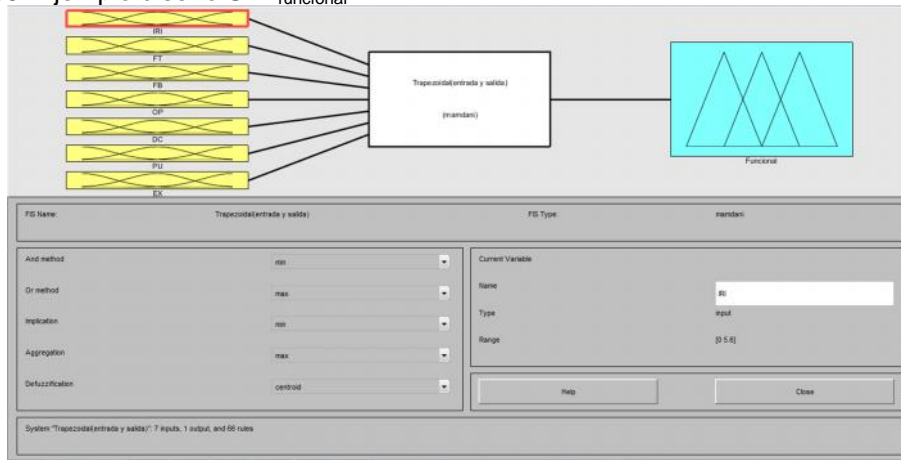


Figura 4-64: Ejemplo interface de reglas de inferencia.

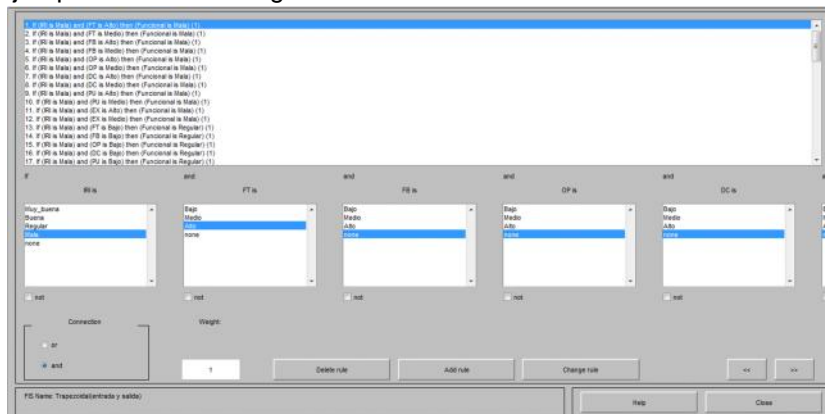


Figura 4-65: Manejo de datos.

```

Command Window
>> xlread(b)

ans =

    4.1000    0    0    0    0    0    3.7620
    5.2000    0.0300    0    0.0017    0    0.0377    0.0300
    4.9000    0.0171    0    0    0    0.5234    0
    3.2000    0    0    0    0.0053    0.7670    0
    3.2000    0    0    0    0.0063    0    0
    3.3000    0    0    0    0.6750    0    1.3843
    4.2000    0    0.1140    0    0.0244    0.8784    0
    4.1000    0    0.0180    0    0.0021    0    0
    3.8000    0    0    0    0.0150    0.3009    0
    2.3000    0    0    0    0    0    0
    2.8000    0    0    0.0006    0    0    0
    3.4000    0    0    0.0006    0.0376    0    0
    4.5000    0    0.0069    0.0001    0.0003    0.0001    0.0009
    3.3000    0    0    0    0    0    0
    4.7000    0    0    0.0006    0.0060    0.8051    1.4596
    4.9000    0    0    0.0006    1.1740    0    0.4553
    3.5000    0    0    0.0043    0    0.0206    0.3894
    2.4000    0    0    0    0    0    0.9106
    2.8000    0    0    0.0001    0.0321    0.0243    2.2029
    3.6000    0    0    0    0    0.5954    0
    2.9000    0    0    0    0    0.5610    0.3271
    3.7000    0    0    0    0.0017    0.2874    0
    3.5000    0    0    0    0    0.2746    0.1909
    
```

Con los datos cargados en el sistema, se procede a evaluar el algoritmo basado en la Lógica Difusa, con el comando evalfis. El proceso de obtención de resultados se realiza en cuestión de segundos. En la Figura 4-66, se muestran las ventanas del programa.

Figura 4-66: Evaluación y resultados en MATLAB®.

```

Command Window
0.0000    0.0001    0.0001    0.0000    0.5143    0.0046    0    0    2.4600    0.7440    0.1250

>> b=readfis('Trapezoidal_IR_Medio')

b =

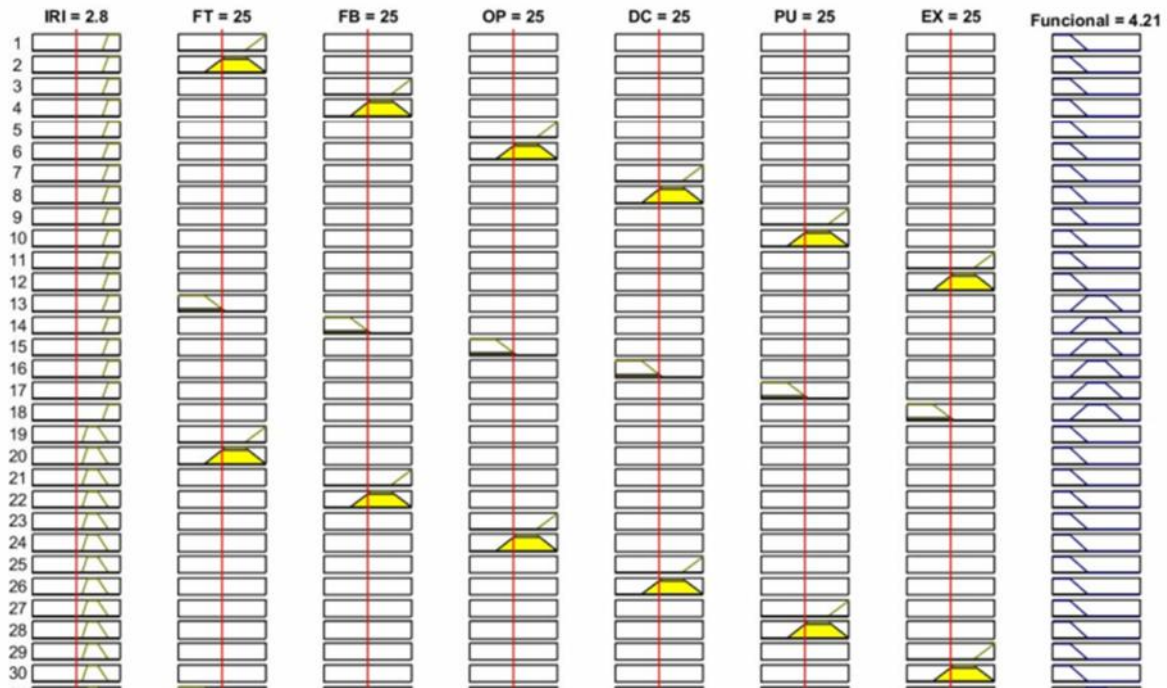
    name: 'Trapezoidal_IR_Medio'
    type: 'fuzzy'
    andMethod: 'min'
    orMethod: 'max'
    defuzzMethod: 'centroid'
    agglMethod: 'max'
    input: [1x1 struct]
    output: [1x2 struct]
    rule: [1x139 struct]

>> evalfis(a,b)
Warning: Some input values are outside of the specified input range.
> In evalfis at 13
Total area is zero in defuzzCentroid() for output 2.
Average of the range of this output variable is used as the output value.
Total area is zero in defuzzCentroid() for output 2.
Average of the range of this output variable is used as the output value.
Total area is zero in defuzzCentroid() for output 2.
Average of the range of this output variable is used as the output value.

Command Window
ans =

    6.1131    9.1823
    6.1131    9.3000
    6.1131    8.1149
    6.1131    9.1823
    6.1131    7.4793
    6.1131    9.1823
    6.1131    9.0350
    6.1131    9.0738
    6.1131    6.3000
    6.1131    8.0546
    6.1131    9.1823
    6.1131    9.1823
    6.1131    7.3074
    6.1131    9.1391
    6.1131    5.0000
    6.1131    9.1823
    6.1131    9.1714
    6.1131    9.1823
    6.1131    9.1823
    6.1131    6.3000
    6.1131    8.9614
    6.1131    6.3000
    6.1131    6.3000
    6.1131    9.1239
    6.1131    9.1823
    6.1131    9.1409
    
```

Para cada vector de datos, la herramienta evalúa cada regla de inferencia propuesta, realizando el proceso de fusificación y defusificación en cada caso, dando como resultado un valor único para el conjunto de valores evaluado. Este proceso se realiza en cuestión de segundos, permitiendo el manejo de múltiples conjuntos de datos. En la Figura 4-67 se presenta un ejemplo de la evaluación del SID funcional, donde se evalúan las treinta primeras reglas de inferencia propuestas, a partir de un conjunto de datos de IRI y daños de carácter funcional.

Figura 4-67: Ejemplo evaluación funcional en MATLAB.

Para el vector de valores IRI = 2,8, Fisuras transversales = 25%, Fisuras de borde = 25%, Ojo de pescado = 25%, Descascaramiento = 25%, Pulimento de agregados = 25% y Exudación = 25% se obtiene un valor de la calificación de la condición funcional de 4,21.

En el Anexo A se presenta el código del algoritmo desarrollado en el programa MATLAB® para cada uno de los SID diseñados.

Hasta este momento se ha diseñado el modelo conceptual y se ha desarrollado el algoritmo. Para evaluar la funcionalidad del modelo y el algoritmo diseñado, es necesario realizar un proceso de validación con datos reales, lo cual se desarrolla en el siguiente capítulo.

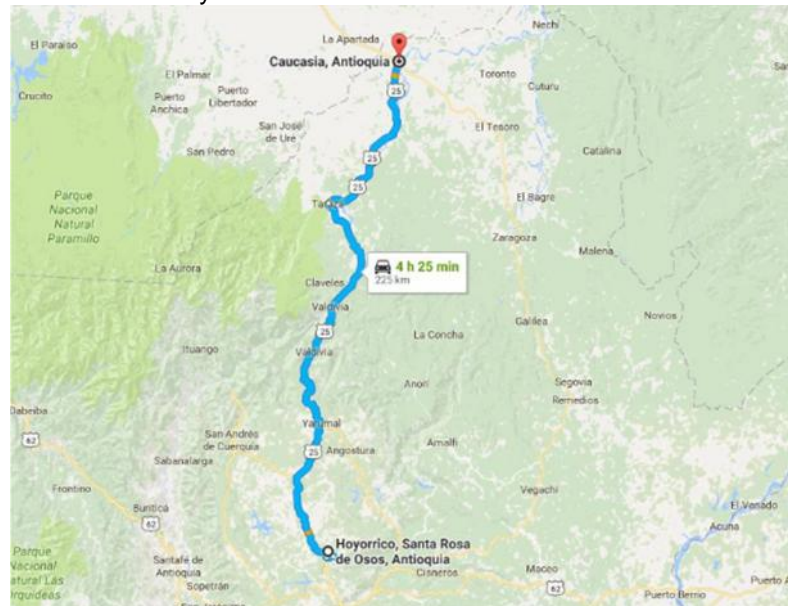
5 Aplicación del modelo - validación

5.1 Estudios de caso

Con el fin de evaluar el sistema de gestión vial propuesto, se seleccionó un conjunto de vías en pavimento flexible, ubicadas en la zona central del país, específicamente en el eje cafetero. Estas vías fueron objeto de un proyecto de estructuración de iniciativa privada, por lo que fueron evaluadas con la matriz propuesta por la ANI en su Plan de Mantenimiento Sostenible (PMS). A raíz de esta evaluación, se dispuso de una base de datos de mediciones de parámetros estructurales y funcionales, con información suficiente para obtener resultados que sean representativos de las condiciones existentes en el pavimento, y que permitan establecer comparaciones. Estas vías son las siguientes:

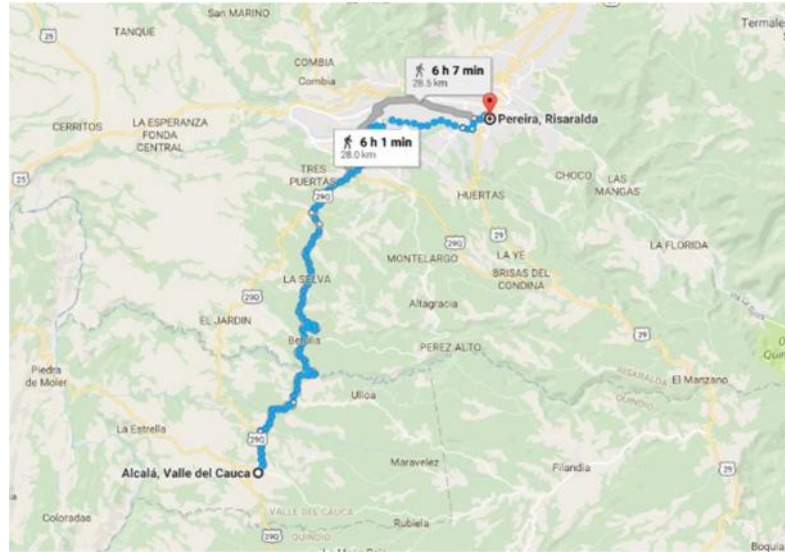
- Vía Hoyo rico – Caucasia: ubicada en el departamento de Antioquia, con una longitud de 222 km.
- Alcalá – Pereira: entre los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, con una longitud de 23 km.
- Armenia – Cartago: entre los departamentos de Quindío y Valle del Cauca, con una longitud de 44 km.

Figura 5-1: Localización Vía Hoyo rico – Caucasia.



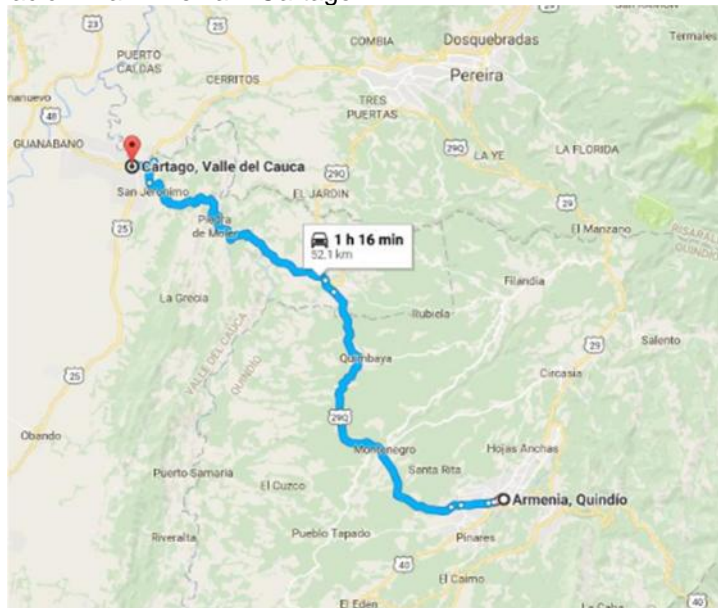
Fuente: Google Maps ®

Figura 5-2: Localización Vía Alcalá – Pereira.



Fuente: Google Maps ®

Figura 5-3: Localización Vía Armenia – Cartago.



Fuente: Google Maps ®

Para cada una de las vías anteriores, se tienen mediciones de los parámetros de condición en espaciamiento máximo de 100 m, las cuales están agrupadas y procesadas cada kilómetro, lo cual permitió observar mejor el comportamiento de la evaluación a lo largo de toda la longitud de los tramos analizados. La información fue recolectada a través de ensayos no destructivos en el pavimento.

Entre los parámetros funcionales medidos se tiene el índice de regularidad internacional (IRI) y el levantamiento de daños funcionales, es decir, aquellos que no afectan el comportamiento estructural. Estos daños son fisuras transversales, fisuras de borde, ojos de pescado, descascaramiento, pulimento de agregados y exudación. Con relación al

comportamiento estructural, los parámetros evaluados se clasifican en dos grandes grupos: deterioro y rigidez. La evaluación del deterioro se realizó a partir de mediciones los siguientes daños presentes en el pavimento, y que están ligados al comportamiento de la estructura: ahuellamiento, fisuras longitudinales por fatiga y piel de cocodrilo. Se cuenta con información de la ubicación, extensión y severidad de los daños mencionados.

En cuanto a la rigidez, se tienen las siguientes variables: deflexión central máxima (D0), indicadores de capacidad estructural propuestos por Horak y Emery (2006) con base en los cuencos de deflexiones (BLI, MLI y LLI), el número estructural propuesto por el método AASHTO-93 (SN_{eff}) y los módulos de las capas asfálticas (CA), granulares (GR) y subrasante (SRS).

A continuación se presentan los resultados de la aplicación del modelo difuso diseñado y los análisis para cada una de las carreteras. En cada caso, se incluyeron los resultados obtenidos del uso de las funciones trapezoidales, triangulares y combinadas, incluyendo la comparación con el fin de determinar el comportamiento con cada tipo de función de pertenencia.

5.2 Resultados vía Hoyo rico – Caucasia

Con base en la información de parámetros de condición del pavimento flexible de la vía, se realizó la evaluación usando los sistemas de inferencia difusos diseñados, utilizando la herramienta MATLAB®.

5.2.1 Funciones trapezoidales

De la Figura 5-4 hasta la Figura 5-7 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo B se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-4: Resultados evaluación rigidez vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

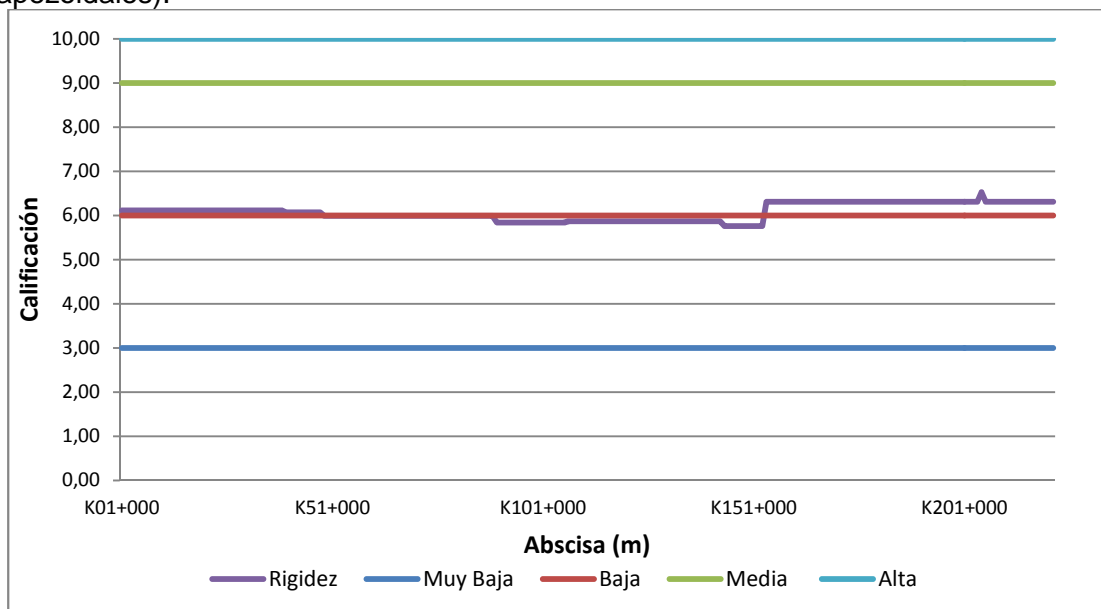


Figura 5-5: Resultados evaluación deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

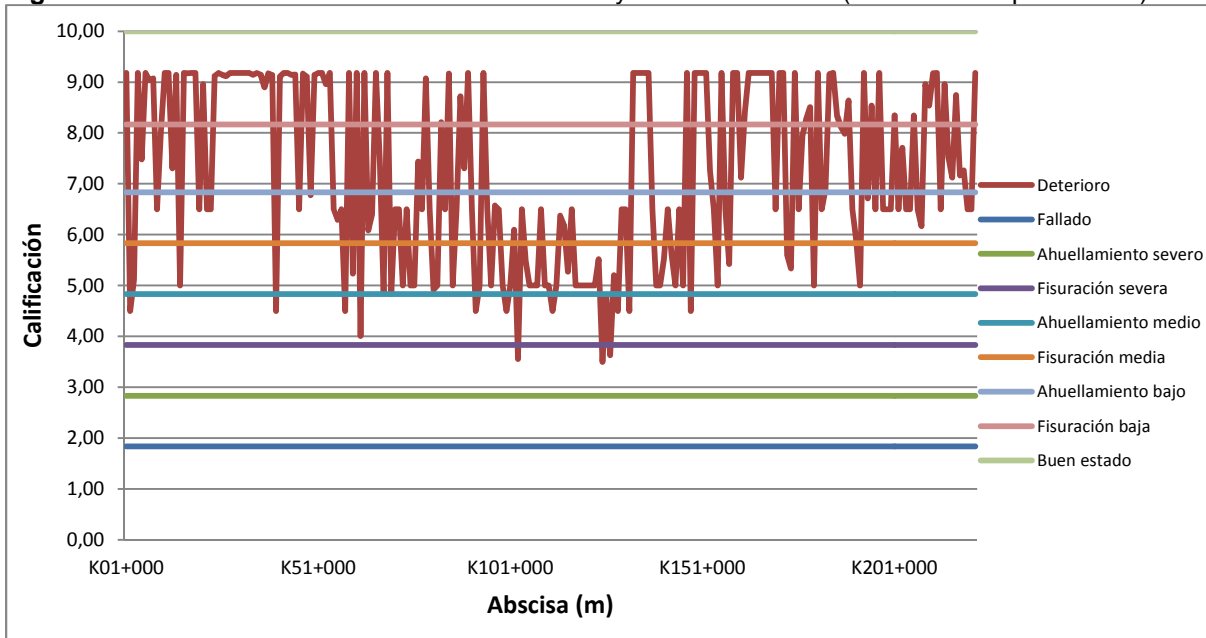


Figura 5-6: Resultados evaluación estructural vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones trapezoidales).

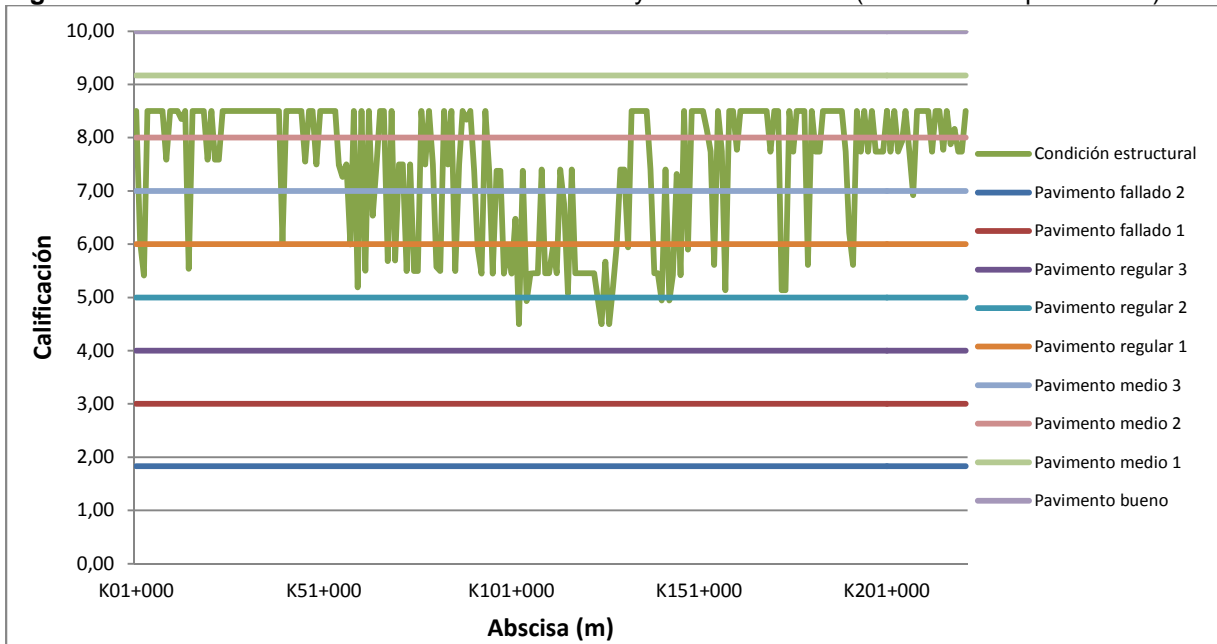
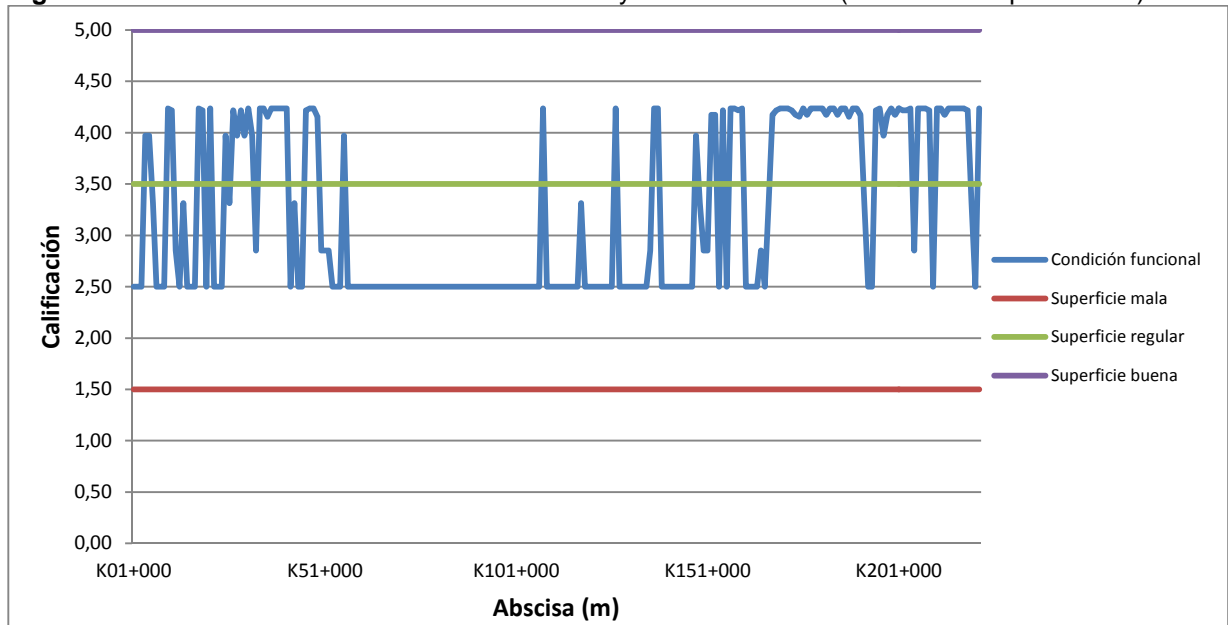


Figura 5-7: Resultados evaluación funcional vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones trapezoidales).

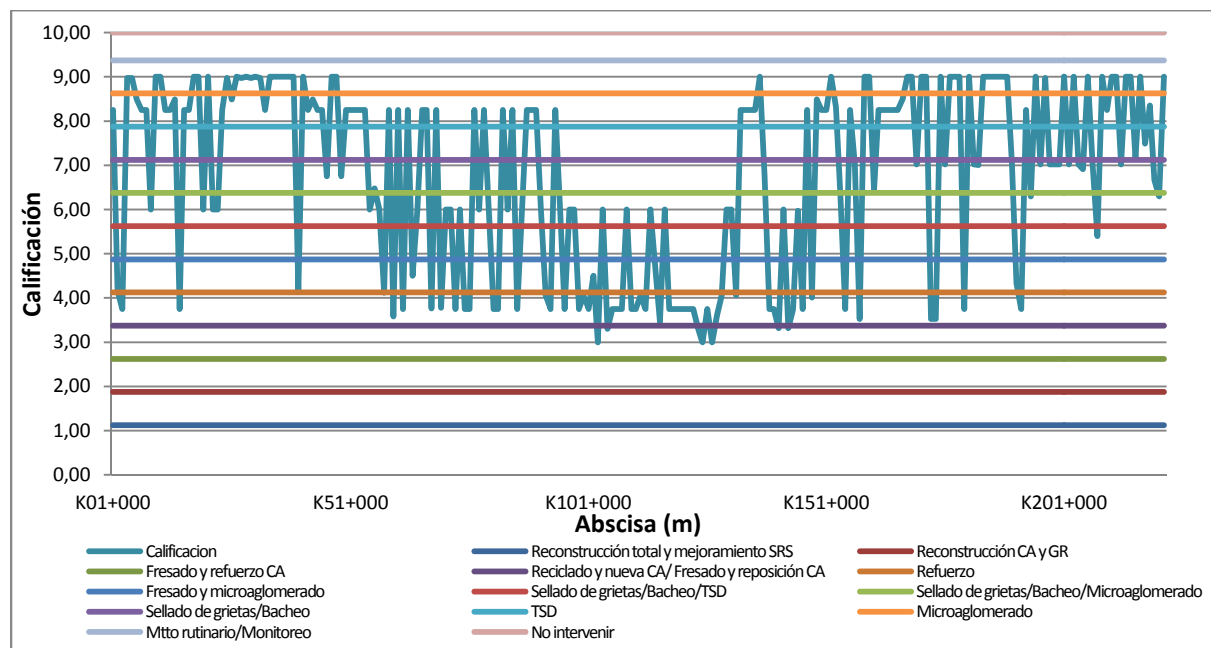
De las gráficas anteriores se puede apreciar que los resultados de la evaluación estructural están determinados por la condición de deterioro, dado que de la evaluación por rigidez se obtuvieron resultados uniformes cercanos a 6 (límite entre rigidez media y baja). Los resultados de deterioro mostraron una variación importante, cuya tendencia influye en la calificación estructural, con una forma similar en la gráfica.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue variable a lo largo de todo el tramo, con calificaciones que oscilaron entre regular y buena.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-8 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo B se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

En la Figura 5-8 se puede apreciar que existe una tendencia en el tipo de intervención recomendada para la vía. Del K0+000 al K92+000 predominaron las intervenciones enfocadas a restaurar la condición funcional de la vía (microaglomerado, TSD, sellado de grietas, bacheo), con sectores aislados de deficiencia estructural, con intervenciones de refuerzo. Del K92+000 al K148+000 se obtuvieron los tramos con mayores deficiencias estructurales, en los cuales se requieren intervenciones de reciclado del pavimento, refuerzos, bacheo y fresado y reposición de la capa asfáltica. En el tramo restante (K148+000 al K222+000) se presentó una condición similar al primer sector, con calificaciones totales altas, que demandaron intervenciones enfocadas en la condición funcional del pavimento.

Figura 5-8: Resultados decisión vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones trapezoidales).



▪ **Análisis de sectores homogéneos**

Con base en los resultados obtenidos de la condición del pavimento utilizando el sistema propuesto, fue posible determinar sectores de comportamiento homogéneo a lo largo de la vía. Este tipo de análisis es de vital importancia en la gestión vial, ya que facilita las labores de seguimiento del comportamiento de los tramos y optimiza las intervenciones y trabajos necesarios.

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Hoyo rico – Caucasia para los resultados obtenidos. Se realizó a partir de análisis estadístico, empleando el método de las diferencias acumuladas propuesto por AASHTO [1]. Con el fin de que los resultados fueran representativos estadísticamente, se utilizó como base el coeficiente de variación, procurando que fuera igual o inferior a 0,30. Este valor es recomendado para el medio colombiano por INVIAS en su Guía de Rehabilitación [21].

En este método, los tramos homogéneos se localizan entre puntos con cambios en el sentido de la pendiente de la variable de diferencia acumulada (Z_x) y se resume de la siguiente manera:

Tabla 5-1: Solución Tabulada, Aproximaciones Sucesivas

Abscisa	Valor de Respuesta	Número Intervalo	Distancia Intervalo	Distancia Acumulada	Respuesta Promedio	Área Intervalo Real	Área Acumulada	Z_x
	r_i	N	x_i	x_i		a_i	a_i	$a_i \cdot F(x_i)$
1	r_1	1	x_1	x_1	$\bar{r}_1 = \frac{r_1}{1}$	$a_1 = \bar{r}_1 \cdot \Delta x_1$	a_1	$Z_{x_1} = a_1 \cdot F(x_1)$
2	r_2	2	x_2	$x_1 + x_2$	$\bar{r}_2 = (r_1 + r_2) / 2$	$a_2 = \bar{r}_2 \cdot \Delta x_2$	$a_1 + a_2$	$Z_{x_2} = (a_1 + a_2) \cdot F(x_1 + x_2)$
3	r_3	3	x_3	$x_1 + x_2 + x_3$	$\bar{r}_3 = (r_2 + r_3) / 2$	$a_3 = \bar{r}_3 \cdot \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$...

Abscisa	Valor de Respuesta	Número Intervalo	Distancia Intervalo	Distancia Acumulada	Respuesta Promedio	Área Intervalo Real	Área Acumulada	Zx
	r_i	N	x_i	x_i		a_i	a_i	$a_i - F(x_i)$
Lp	r_n	N_t	x_{N_t}	$x_1 + \dots + x_{N_t}$		a_{N_t}	$a_1 + \dots + a_{N_t}$	$Z_{x_{N_t}} = (a_1 + \dots + a_{N_t}) - F(x_1 + \dots + x_{N_t})$

Fuente: AASHTO-93

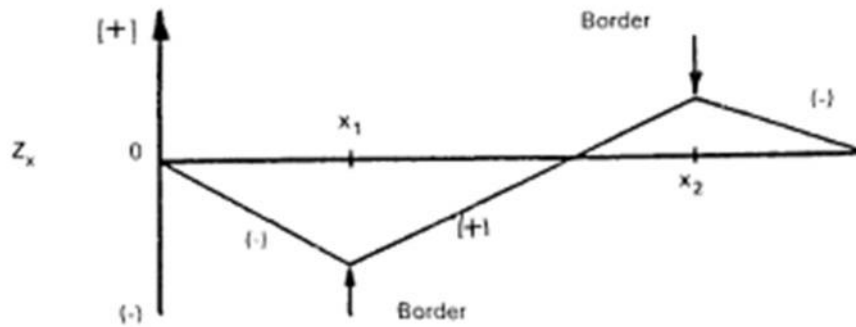
Dónde:

$$A_t = \sum_{i=1}^{N_t} a_i$$

$$F = A_t / L_p$$

De esta forma se dibuja un gráfico Z_x vs Abscisa, el cual ayuda a visualizar las secciones homogéneas. El cambio de pendiente en el gráfico determina una nueva sección homogénea.

Figura 5-9: Concepto de diferencias acumuladas para delimitar secciones homogéneas.



Fuente: AASHTO-93

Para el caso de esta vía, no se utilizó la calificación de rigidez para el análisis de secciones homogéneas, ya que esta no presentó una variación apreciable. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Figura 5-10: Diferencias acumuladas por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

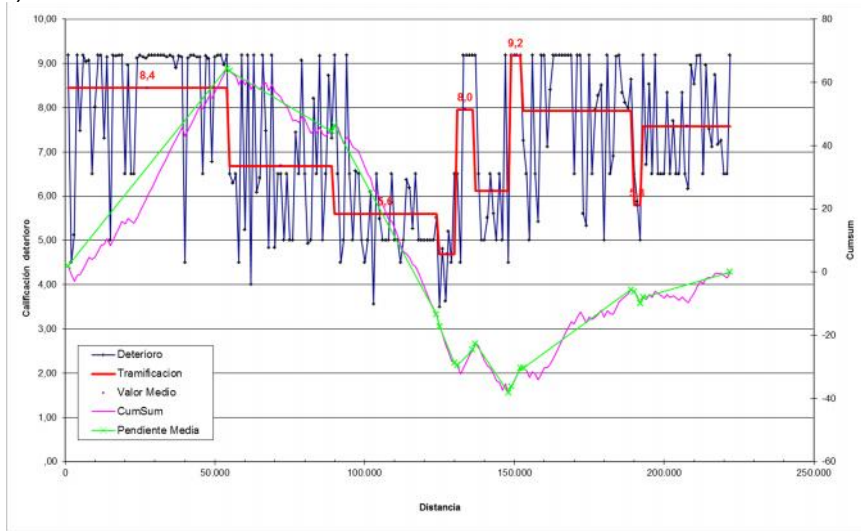


Tabla 5-2: Sectores homogéneos por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K54+000	54.000	8,4	1,4	0,16
K55+000	K89+000	34.000	6,7	1,6	0,24
K90+000	K124+000	34.000	5,6	1,2	0,21
K125+000	K130+000	5.000	4,7	1,1	0,24
K131+000	K136+000	5.000	8,0	2,0	0,25
K137+000	K148+000	11.000	6,1	1,6	0,26
K149+000	K152+000	3.000	9,2	0,0	0,00
K153+000	K189+000	36.000	7,9	1,4	0,18
K190+000	K192+000	2.000	5,8	0,8	0,13
K193+000	K222+000	29.000	7,6	1,1	0,15

Figura 5-11: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

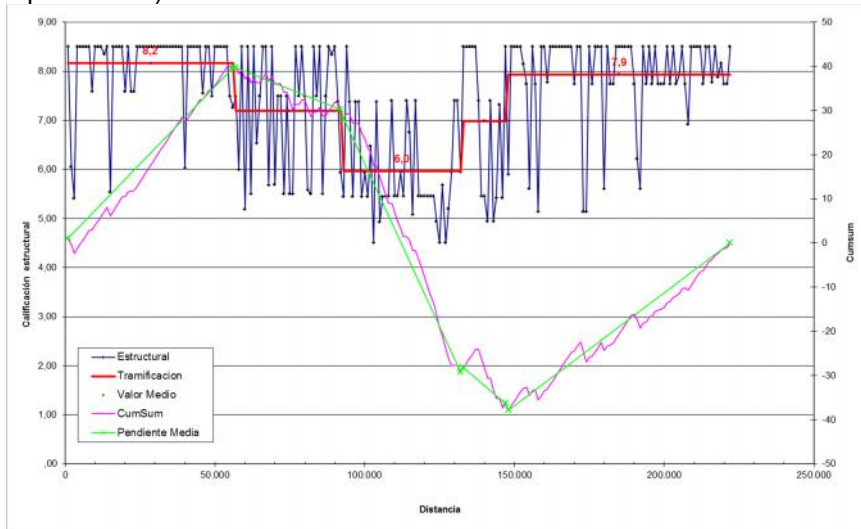


Tabla 5-3: Sectores homogéneos por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Inicial	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K56+000	56.000	8,2	0,8	0,09
K57+000	K92+000	35.000	7,2	1,2	0,17
K93+000	K132+000	39.000	6,0	1,0	0,17
K133+000	K147+000	14.020	7,0	1,5	0,22
K148+000	K222+000	74.000	7,9	0,9	0,12

Figura 5-12: Diferencias acumuladas por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

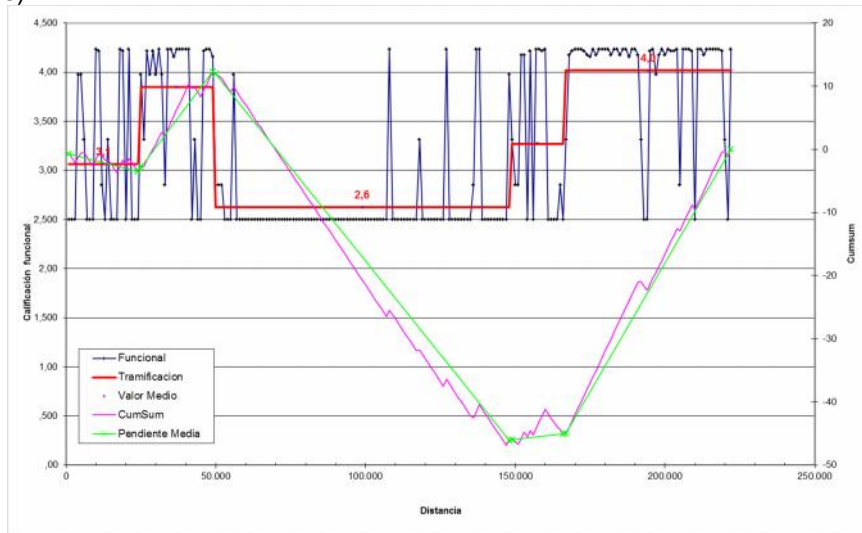
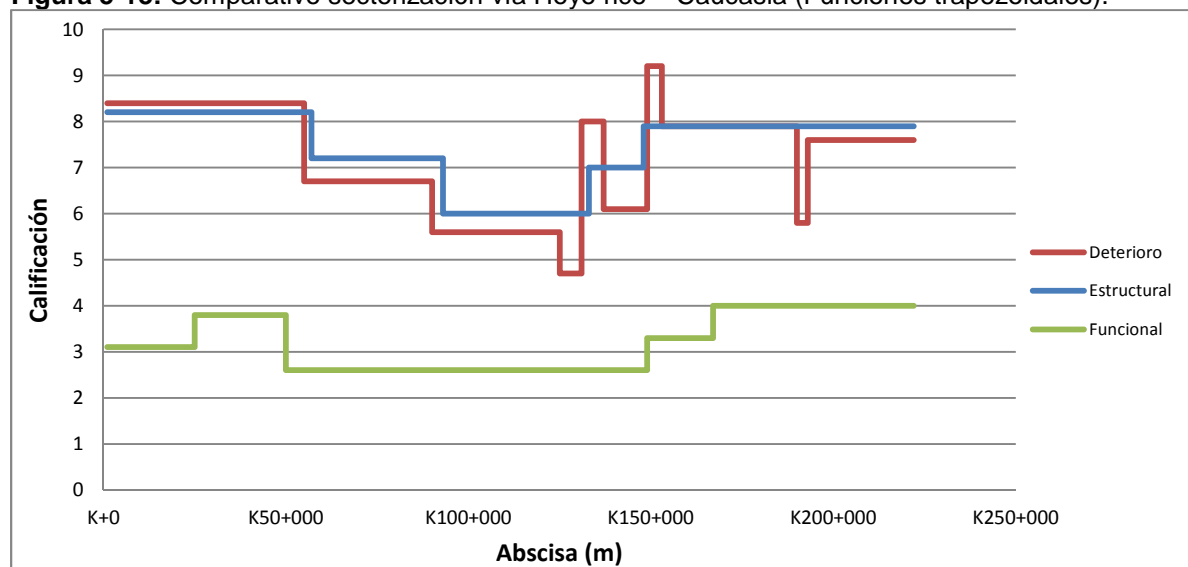


Tabla 5-4: Sectores homogéneos por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Inicial	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K24+000	24.000	3,1	0,8	0,25
K25+000	K49+000	24.000	3,8	0,6	0,16
K50+000	K148+000	98.000	2,6	0,4	0,15
K149+000	K166+000	17.000	3,3	0,8	0,24
K167+000	K222+000	55.000	4,0	0,5	0,13

En la Figura 5-13 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-13: Comparativo sectorización vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones trapezoidales).



La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fue similar, encontrando que por deterioro se presentaron algunos sectores adicionales de corta longitud. Para el caso de la evaluación funcional, se obtuvieron menos sectores homogéneos, lo que se fundamenta en que los resultados obtenidos presentaron poca variación y en que se tienen menos rangos en la evaluación. Para efectos de evaluación y gestión, sería conveniente el uso de la sectorización de carácter estructural.

La sectorización obtenida logra representar el estado real de los pavimentos evaluados, mostrando gran coherencia con los parámetros funcionales y estructurales medidos.

5.2.2 Funciones triangulares

De la Figura 5-14 a la Figura 5-17 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo B se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-14: Resultados evaluación rigidez vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

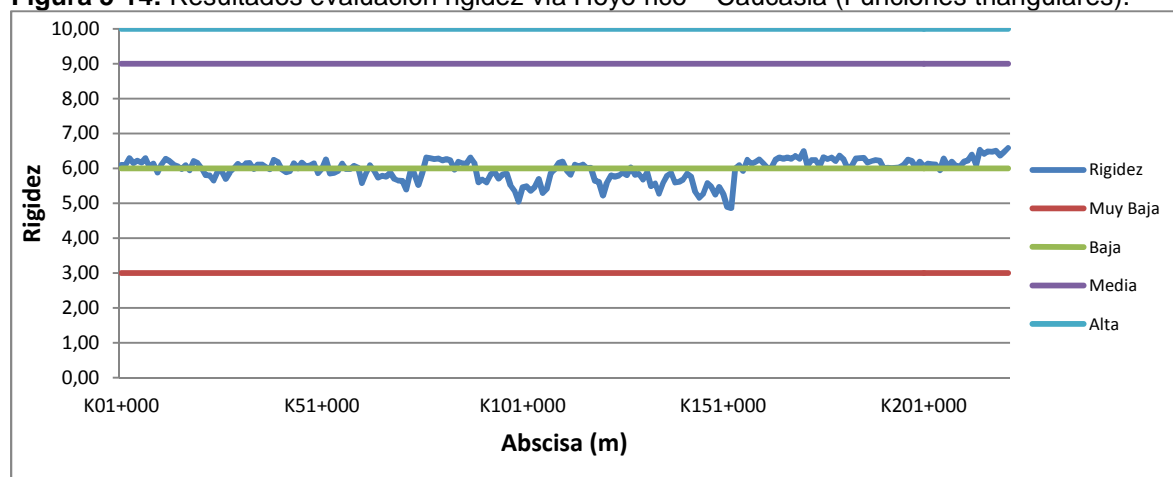


Figura 5-15: Resultados evaluación deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

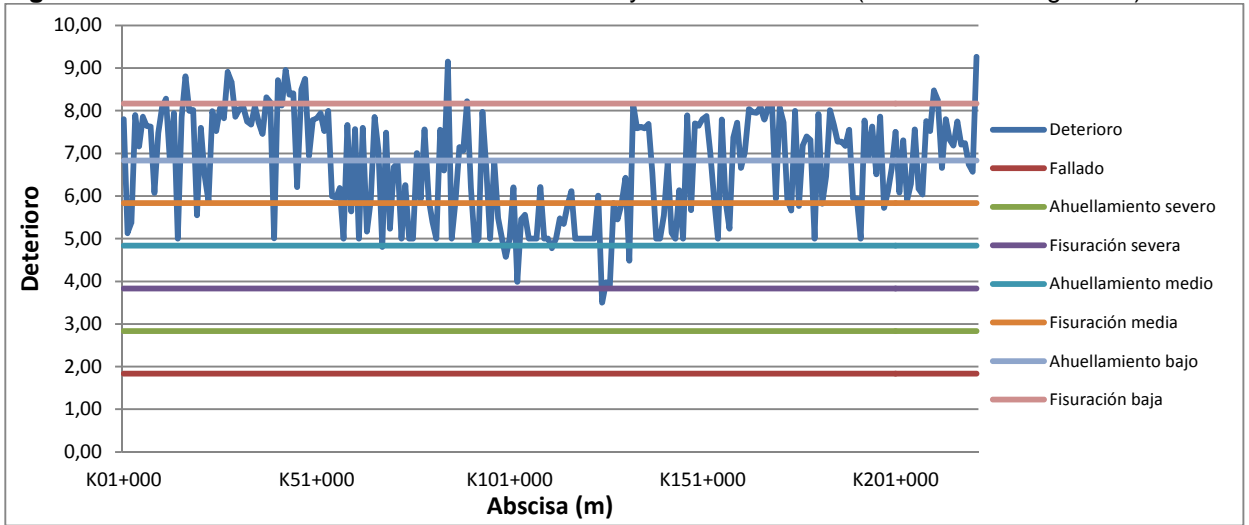


Figura 5-16: Resultados evaluación estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

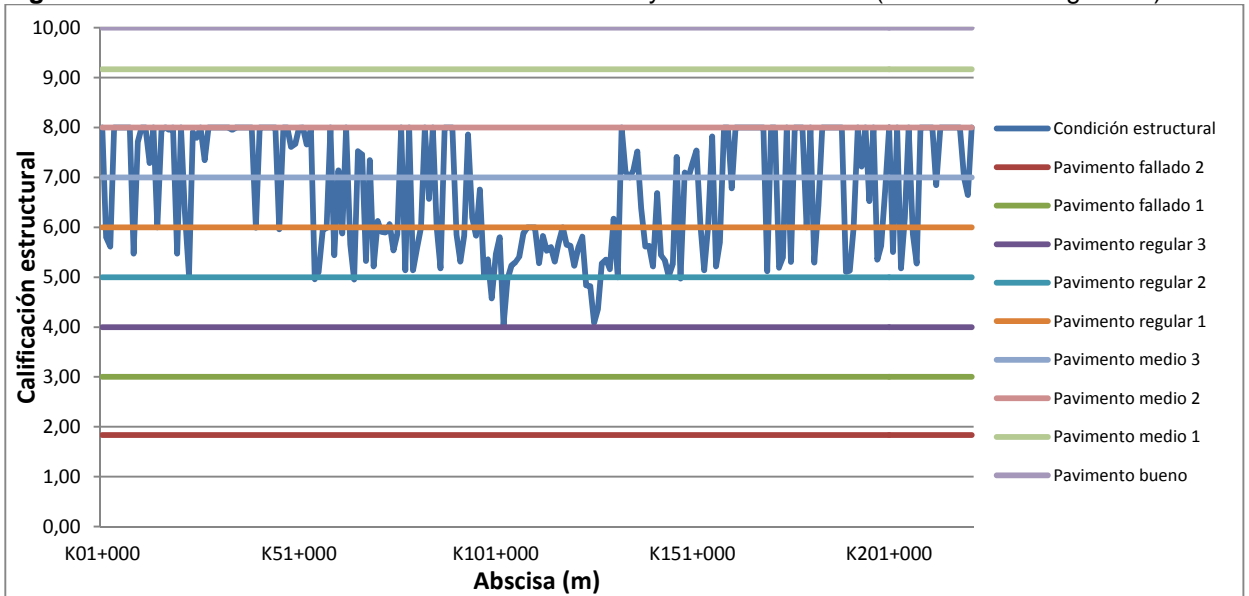
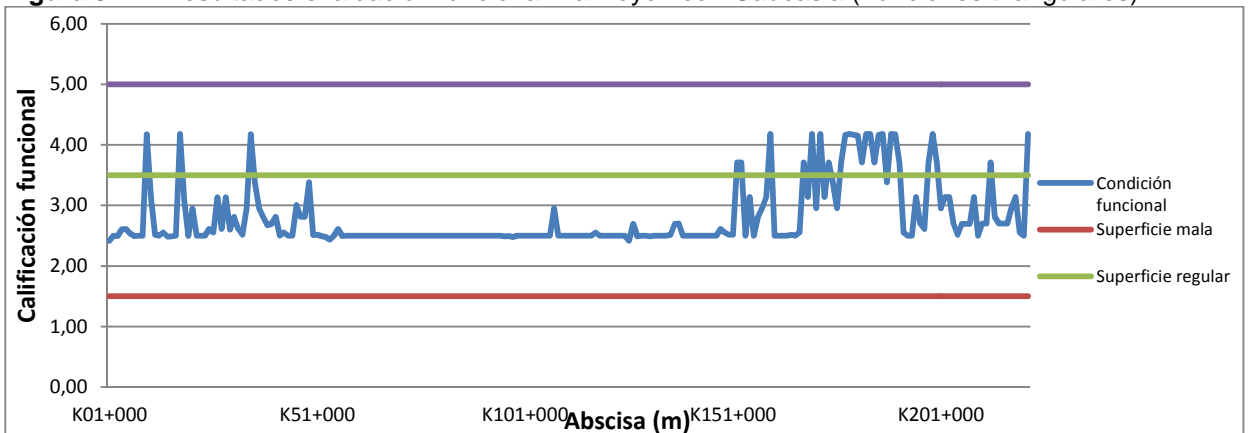


Figura 5-17: Resultados evaluación funcional vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones triangulares).

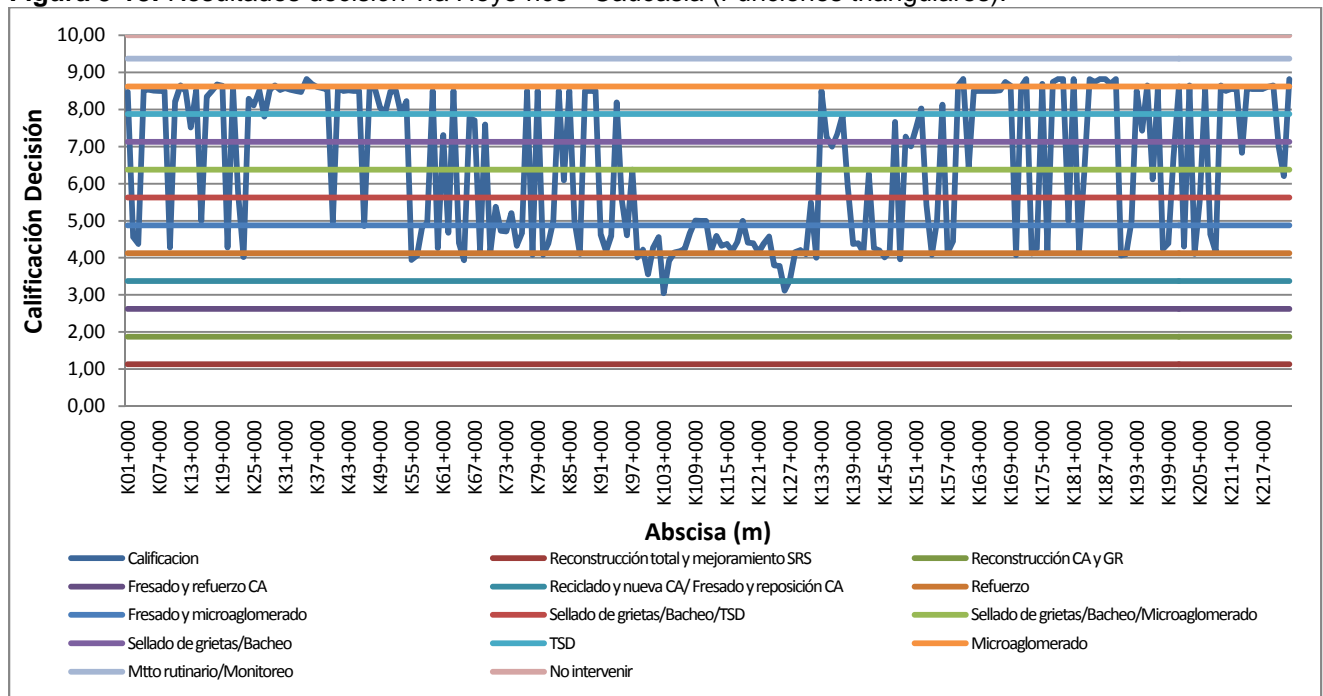


De las gráficas anteriores se puede apreciar que al igual que con las funciones trapezoidales, el comportamiento de la evaluación por rigidez fue bastante uniforme, con valores del orden de 6, mientras que los resultados de la evaluación estructural están determinados por la condición de deterioro. De la misma forma, los resultados de deterioro mostraron una variación significativa a lo largo de la vía.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue variable, con tramos que se clasificaron como superficie buena al inicio y final del tramo.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el $SID_{decisión}$ las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-18 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo B se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-18: Resultados decisión vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones triangulares).



En la gráfica anterior se puede apreciar que existió una tendencia en el tipo de intervención recomendada para la vía, similar a los resultados obtenidos en la evaluación con funciones trapezoidales. En la zona inicial (K0+000 al K90+000) predominaron las intervenciones enfocadas a restaurar la condición funcional de la vía (microaglomerado, TSD, sellado de grietas, bacheo), con sectores aislados de deficiencia estructural, con intervenciones de refuerzo. En la zona central, del K90+000 al K130+000, se tienen los tramos que requieren intervenciones estructurales, en este caso predomina el reciclado del pavimento, refuerzos, bacheo y fresado y reposición de la capa asfáltica. En el tramo restante se presentó una condición similar la primera zona, con calificaciones totales altas, asociadas a intervenciones enfocadas en la condición funcional del pavimento.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Hoyo rico – Caucasia, con los resultados obtenidos con las funciones triangulares.

Para el caso de esta vía, no se utilizó la calificación de rigidez para el análisis de secciones homogéneas, ya que esta no presentó una variación apreciable. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-19: Diferencias acumuladas por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

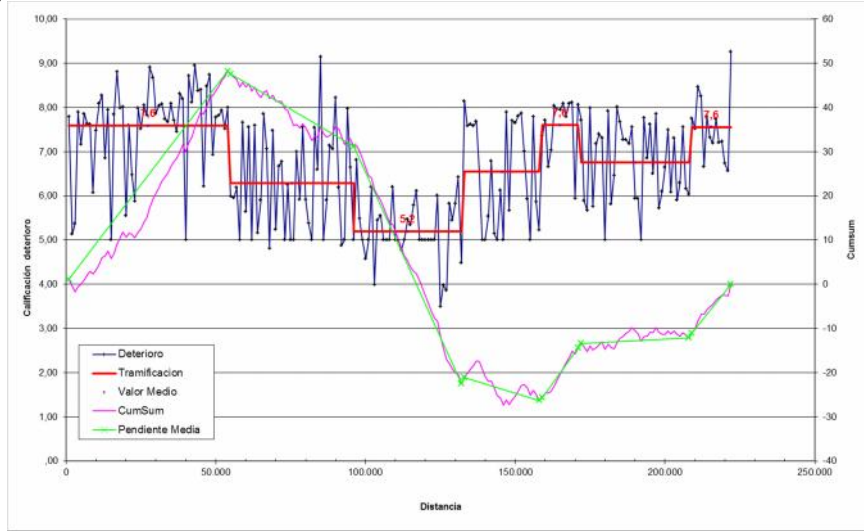


Tabla 5-5: Sectores homogéneos por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K54+000	54.020	7,6	1,0	0,13
K55+000	K96+000	41.000	6,3	1,1	0,18
K96+000	K132+000	36.000	5,2	0,7	0,14
K133+000	K158+000	25.000	6,5	1,2	0,18
K159+000	K171+000	12.000	7,6	0,7	0,09
K172+000	K208+000	36.000	6,8	0,9	0,13
K209+000	K222+000	13.000	7,6	0,7	0,10

Figura 5-20: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

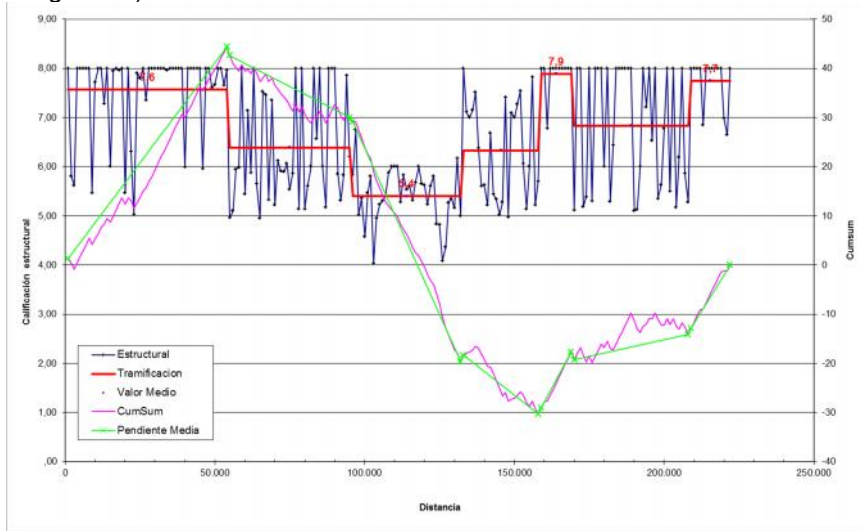


Tabla 5-6: Sectores homogéneos por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K54+000	54.000	7,6	0,9	0,11
K55+000	K95+000	40.000	6,4	1,1	0,17
K96+000	K132+000	36.000	5,4	0,6	0,11
K133+000	K158+000	25.000	6,3	1,0	0,16
K159+000	K169+000	10.000	7,9	0,4	0,05
K170+000	K208+000	38.000	6,8	1,2	0,18
K209+000	K222+000	13.000	7,7	0,5	0,07

Figura 5-21: Diferencias acumuladas por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

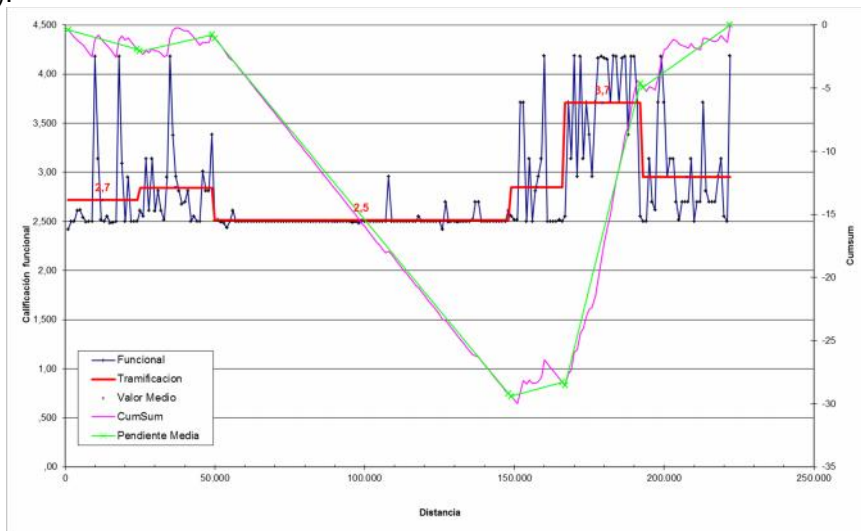
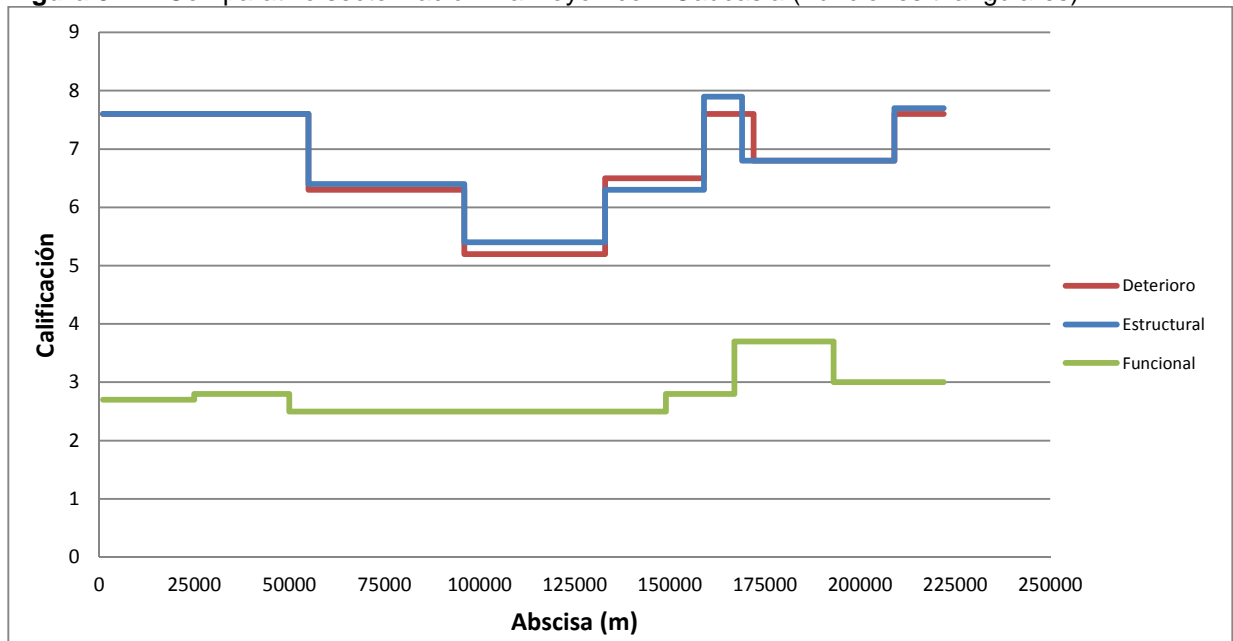


Tabla 5-7: Sectores homogéneos por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).

Abcisa Inicial	Abcisa Inicial	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K24+000	24.000	2,7	0,5	0,18
K25+000	K49+000	24.000	2,8	0,4	0,13
K50+000	K148+000	98.000	2,5	0,1	0,02
K149+000	K166+000	17.000	2,8	0,5	0,19
K167+000	K192+000	25.000	3,7	0,5	0,15
K193+000	K222+000	29.000	3,0	0,5	0,16

En la Figura 5-22 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-22: Comparativo sectorización vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones triangulares).



La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fue igual. Para el caso de la evaluación funcional, se obtuvo un sector menos, aunque la tendencia mostró dos sectores definidos: el sector central de mayor longitud y entre el K167+000 y el K192+000, que presentó la mejor condición funcional. Para efectos de evaluación y gestión, sería conveniente el uso de la sectorización de carácter estructural. La sectorización obtenida logra representar el estado real de los pavimentos evaluados, mostrando gran coherencia con los parámetros funcionales y estructurales medidos.

5.2.3 Funciones combinadas

De la Figura 5-23 hasta la Figura 5-26 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo B se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-23: Resultados evaluación rigidez vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

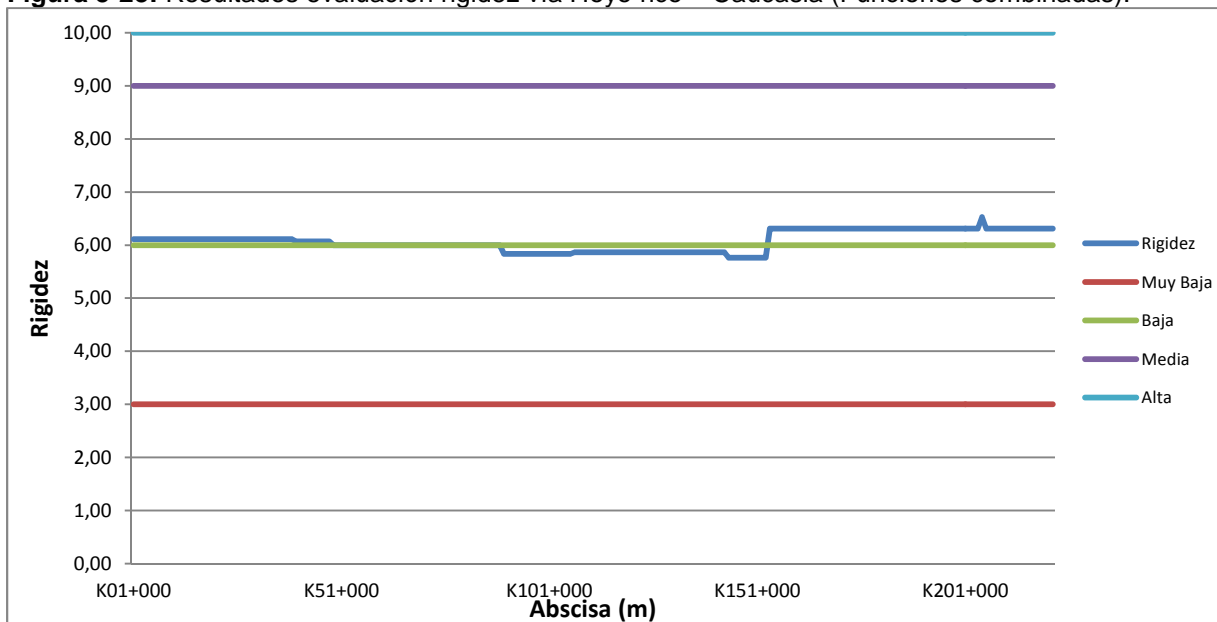


Figura 5-24: Resultados evaluación deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

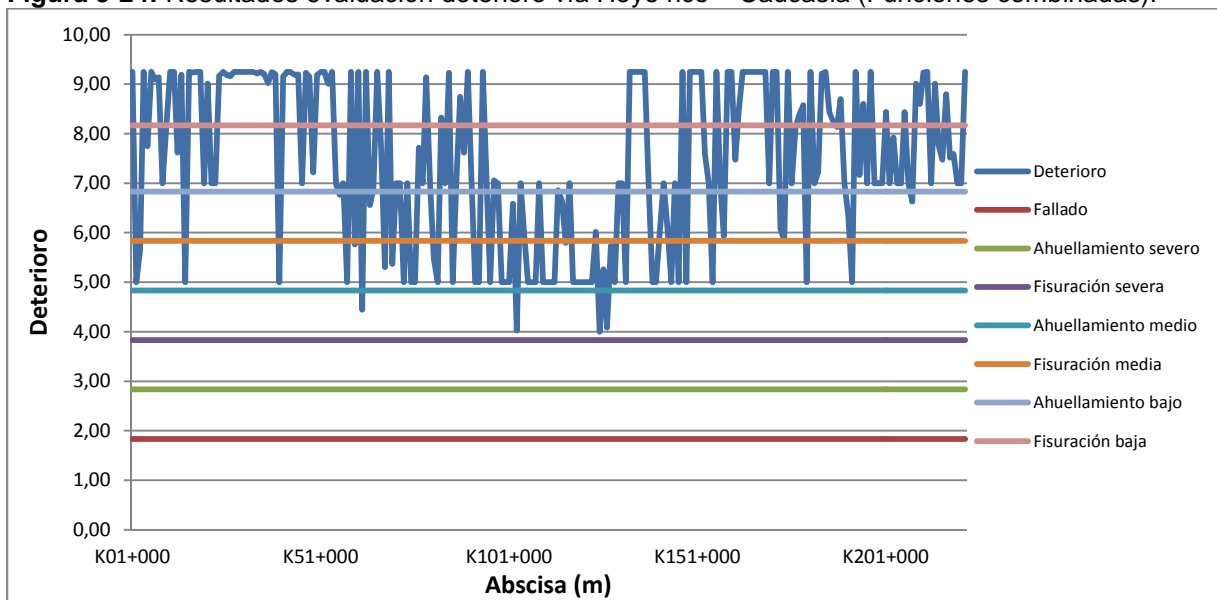


Figura 5-25: Resultados evaluación estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

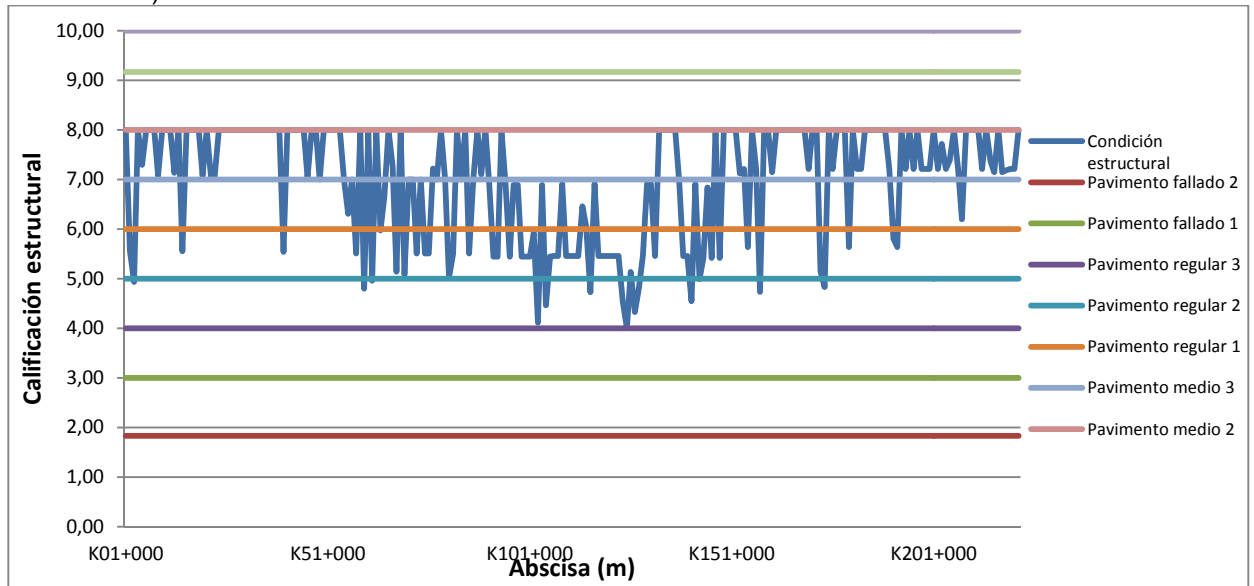
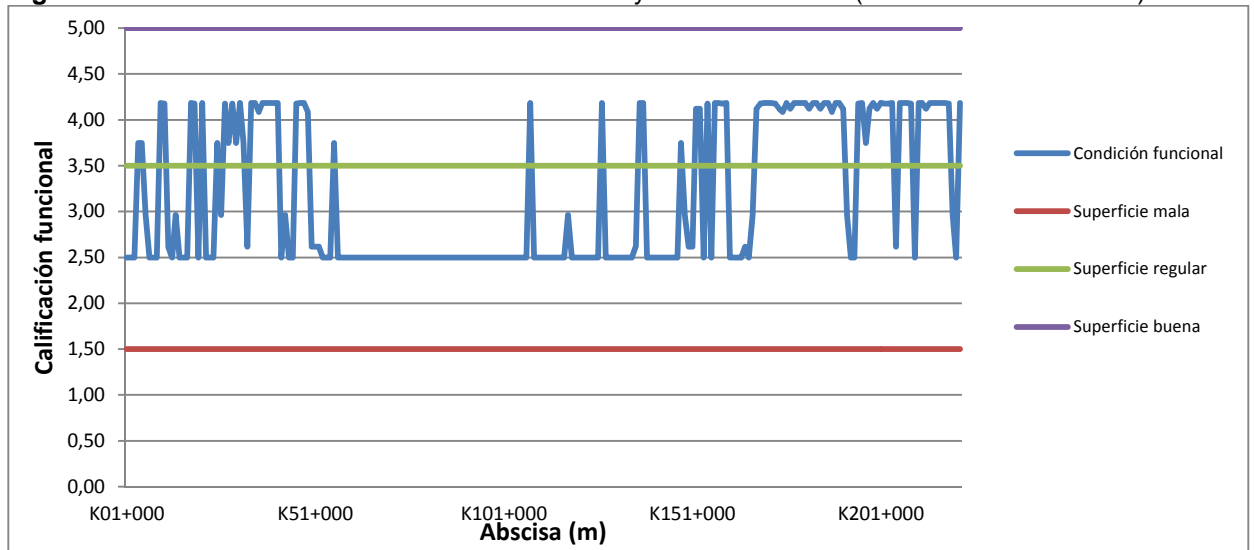


Figura 5-26: Resultados evaluación funcional vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones combinadas).

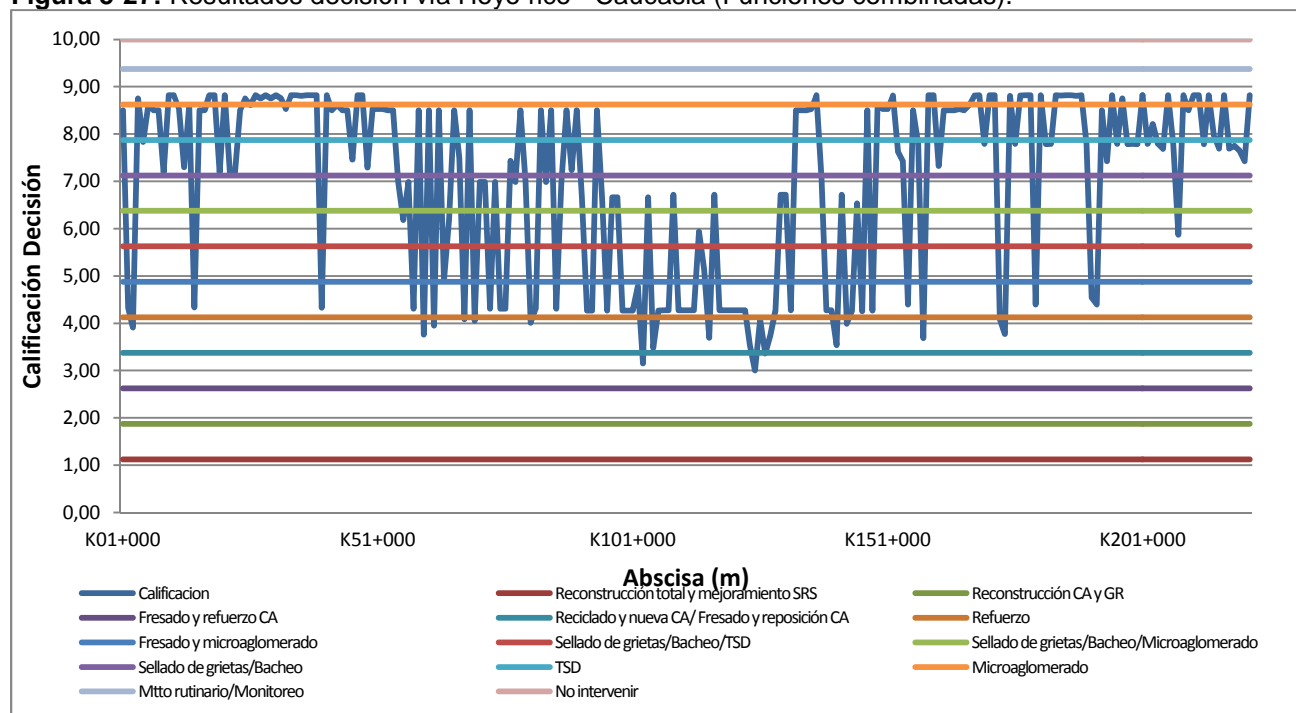


De las gráficas anteriores se puede apreciar que al igual que con el uso de las funciones combinadas, el comportamiento de la evaluación por rigidez fue similar al uso de funciones de una sola forma, es decir, con poca variación en los resultados. Los resultados de la evaluación estructural están determinados por la condición de deterioro, con valores que oscilan entre 4 y 8.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue variable, con tramos que se clasificaron como superficie buena al inicio y final del tramo.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-27 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo B se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-27: Resultados decisión vía Hoyo rico - Caucasia (Funciones combinadas).



En la gráfica anterior se puede apreciar que existió una tendencia en el tipo de intervención recomendada para la vía, similar a los resultados obtenidos en la evaluación con funciones de una sola forma. La zona central, del K90+000 al K130+000, es la que presentó mayor recurrencia de intervenciones estructurales, con recomendaciones de refuerzos, bacheo; fresado y reposición de la capa asfáltica, y reciclado del pavimento y colocación de nueva carpeta asfáltica. En los tramos restantes se presentaron calificaciones totales altas, asociadas a intervenciones enfocadas en la condición funcional del pavimento.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Hoyo rico – Caucasia, con los resultados obtenidos con las funciones triangulares.

Para el caso de esta vía, no se utilizó la calificación de rigidez para el análisis de secciones homogéneas, ya que ésta no presentó una variación apreciable. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-28: Diferencias acumuladas por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

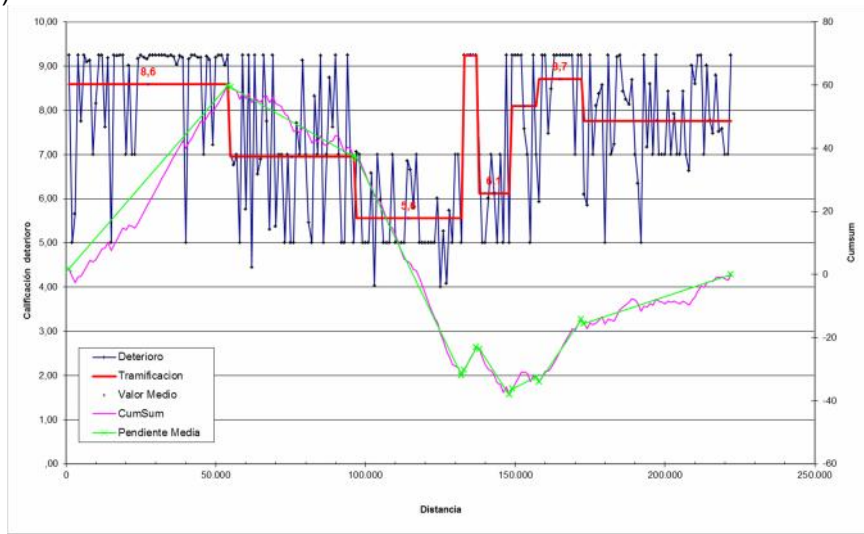


Tabla 5-8: Sectores homogéneos por deterioro vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K54+000	54.000	8,6	1,2	0,14
K54+000	K96+000	42.000	6,9	1,6	0,23
K96+000	K132+000	36.000	5,6	1,0	0,17
K132+000	K137+000	5.000	9,2	0,0	0,00
K137+000	K148+000	11.000	6,1	1,4	0,22
K148+000	K157+000	9.000	8,1	1,5	0,19
K157+000	K172+000	15.000	8,7	1,0	0,12
K172+000	K222+000	50.000	7,8	1,1	0,15

Figura 5-29: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

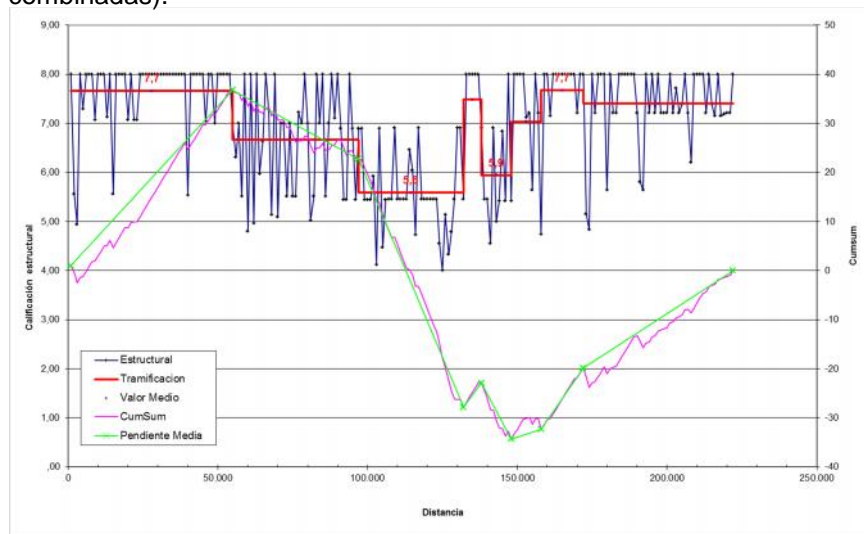


Tabla 5-9: Sectores homogéneos por condición estructural vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K55+000	55.000	7,7	0,7	0,10
K55+000	K97+000	42.000	6,7	1,1	0,16
K97+000	K132+000	35.000	5,6	0,8	0,15
K132+000	K138+000	6.000	7,5	1,0	0,13
K138+000	K148+000	10.000	5,9	1,1	0,18
K148+000	K158+000	10.000	7,0	1,2	0,17
K158+000	K172+000	14.000	7,7	0,9	0,11
K172+000	K222+000	50.000	7,4	0,8	0,11

Figura 5-30: Diferencias acumuladas por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

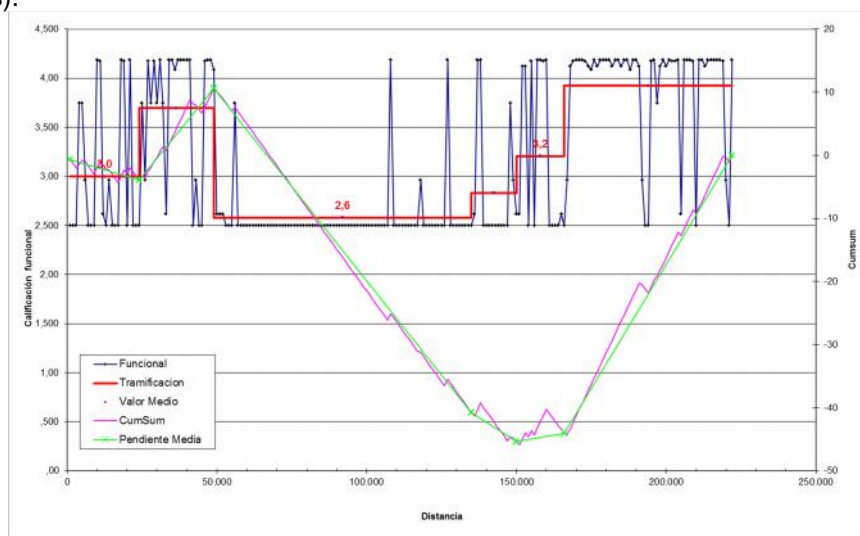
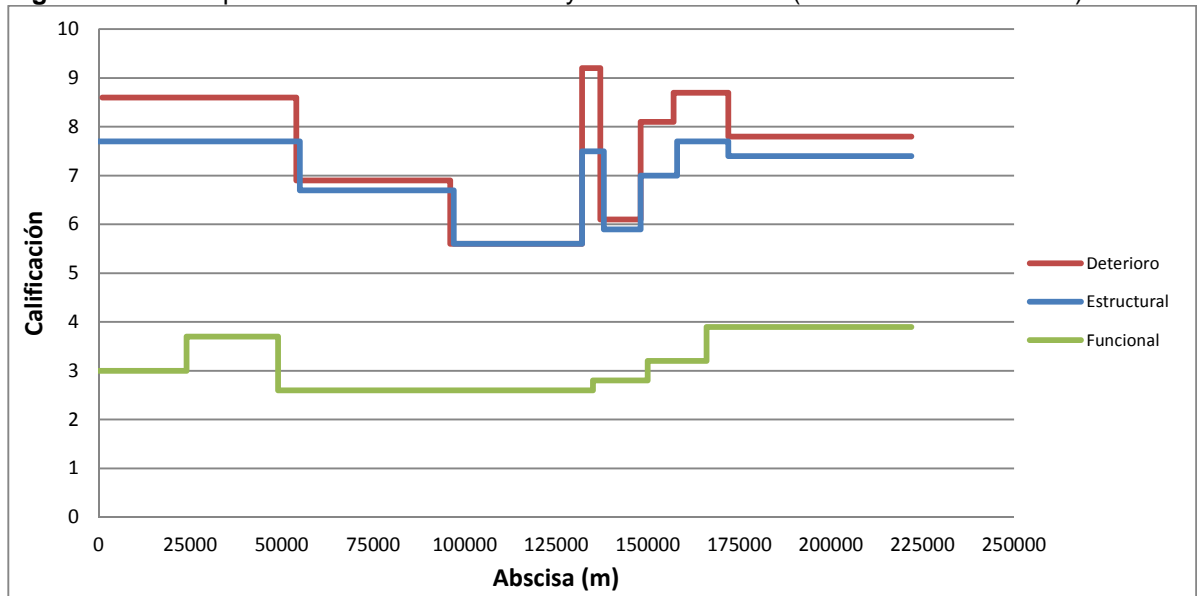


Tabla 5-10: Sectores homogéneos por condición funcional vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K24+000	24.000	3,0	0,7	0,24
K24+000	K49+000	25.000	3,7	0,7	0,18
K49+000	K135+000	86.000	2,6	0,3	0,13
K135+000	K150+000	15.000	2,8	0,6	0,22
K150+000	K166+000	16.000	3,2	0,8	0,26
K166+000	K222+000	56.000	3,9	0,6	0,14

En la Figura 5-31 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-31: Comparativo sectorización vía Hoyo rico – Caucasia (Funciones combinadas).



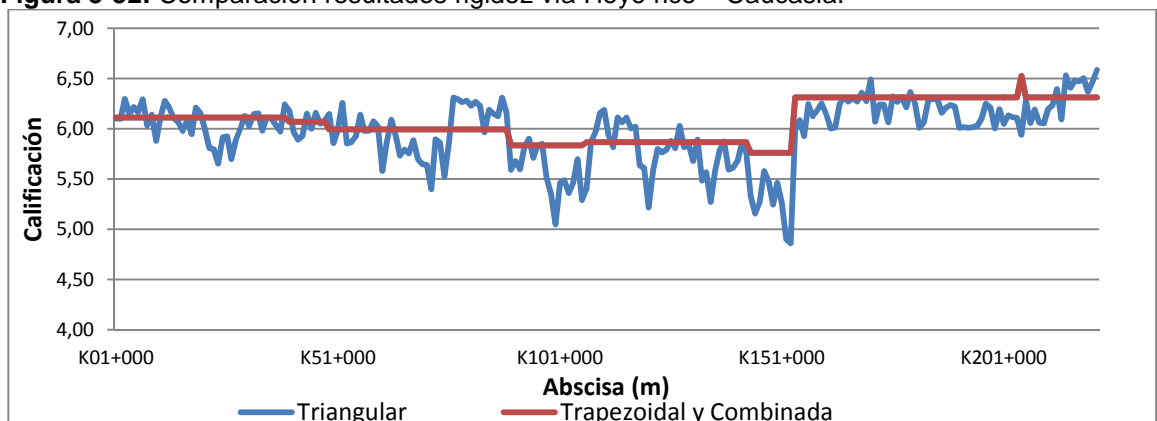
La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fue igual. Para el caso de la evaluación funcional, se obtuvieron menos sectores homogéneos, dado que la variación en resultados es menor por la escala empleada. La tendencia mostró mayor variación en la parte inicial, donde a nivel funcional se tienen en los primeros cincuenta kilómetros dos sectores (en vez de uno en las otras calificaciones) y hasta el K130+000 a nivel funcional se identificó un solo sector. Para efectos de evaluación y gestión, sería conveniente el uso de la sectorización de carácter estructural. La sectorización obtenida logra representar el estado real de los pavimentos evaluados, mostrando gran coherencia con los parámetros funcionales y estructurales medidos.

5.2.4 Comparación de resultados

A continuación se realiza la comparación de los resultados obtenidos con los SID evaluados, haciendo énfasis en la influencia de los tres tipos de funciones de pertenencia empleadas: trapezoidal, triangular y combinada.

Inicialmente se presenta la variación de los resultados de rigidez para cada caso.

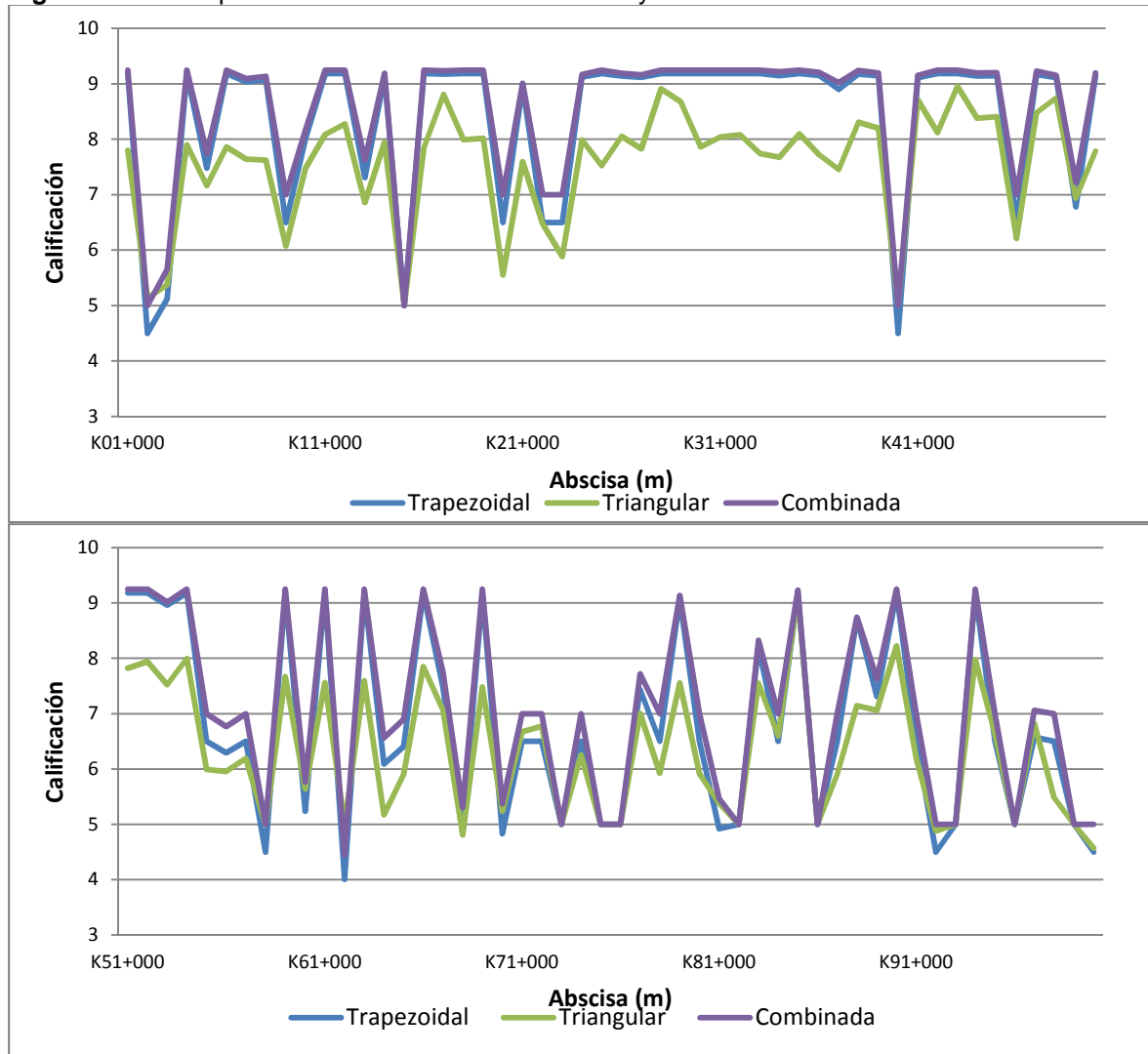
Figura 5-32: Comparación resultados rigidez vía Hoyo rico – Caucasia.

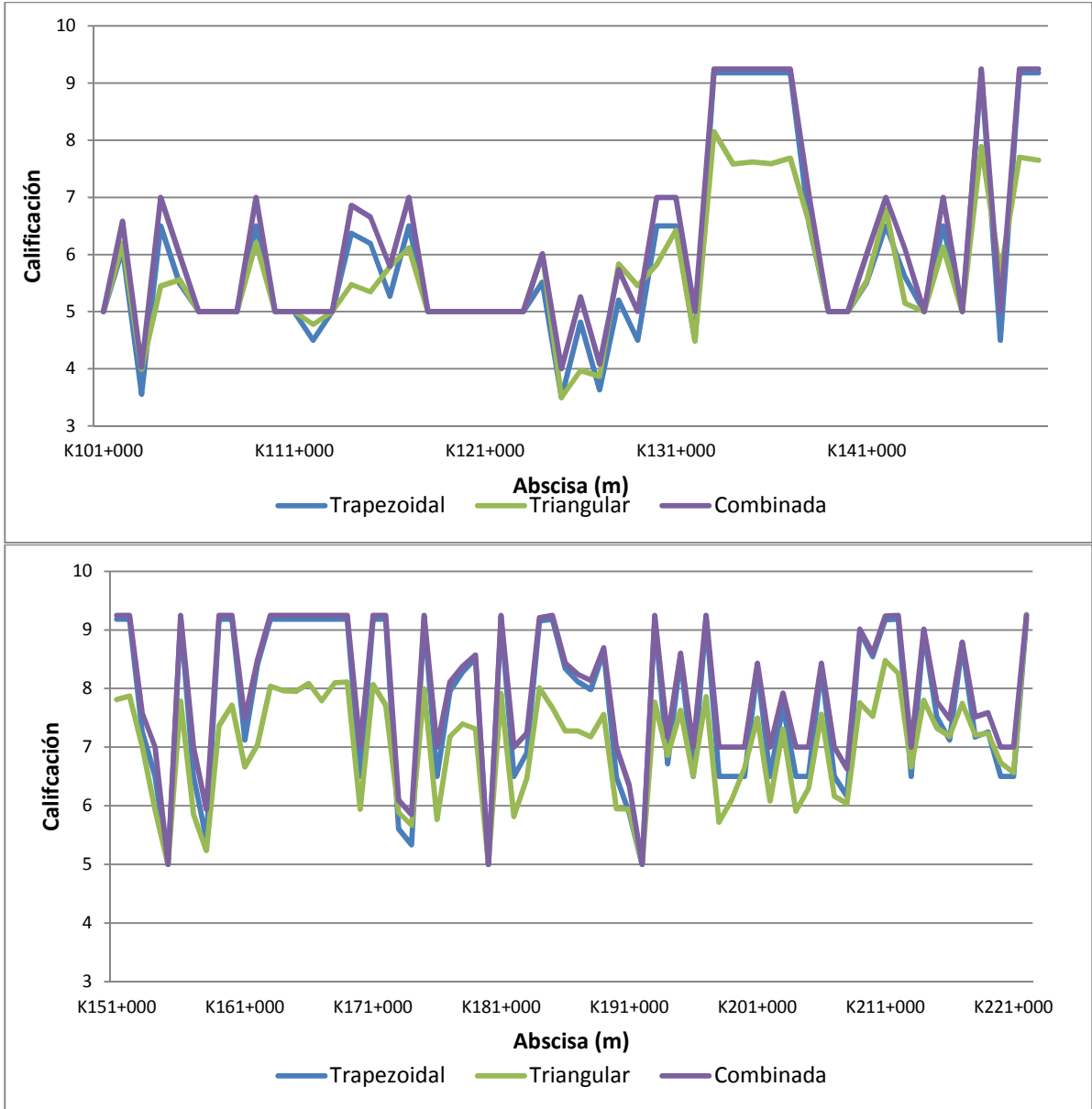


En la evaluación de la rigidez del pavimento, se obtuvieron resultados iguales para las funciones trapezoidales y combinadas, con comportamiento uniforme para sectores que se pueden identificar en la gráfica. Los valores presentaron poca dispersión, oscilando entre 5,70 y 6,50. Por su parte, en la evaluación con funciones triangulares se la dispersión de los resultados obtenidos fue mayor, con valores entre 4,86 y 6,59. Los valores máximos de rigidez evaluados son similares para todas las funciones de membresía, mientras que con las funciones triangulares se obtuvieron valores inferiores, especialmente entre el K119+000 y el K153+000.

A continuación se presenta la variación de los resultados de deterioro para cada caso.

Figura 5-33: Comparación resultados deterioro vía Hoyo rico – Caucaisia.

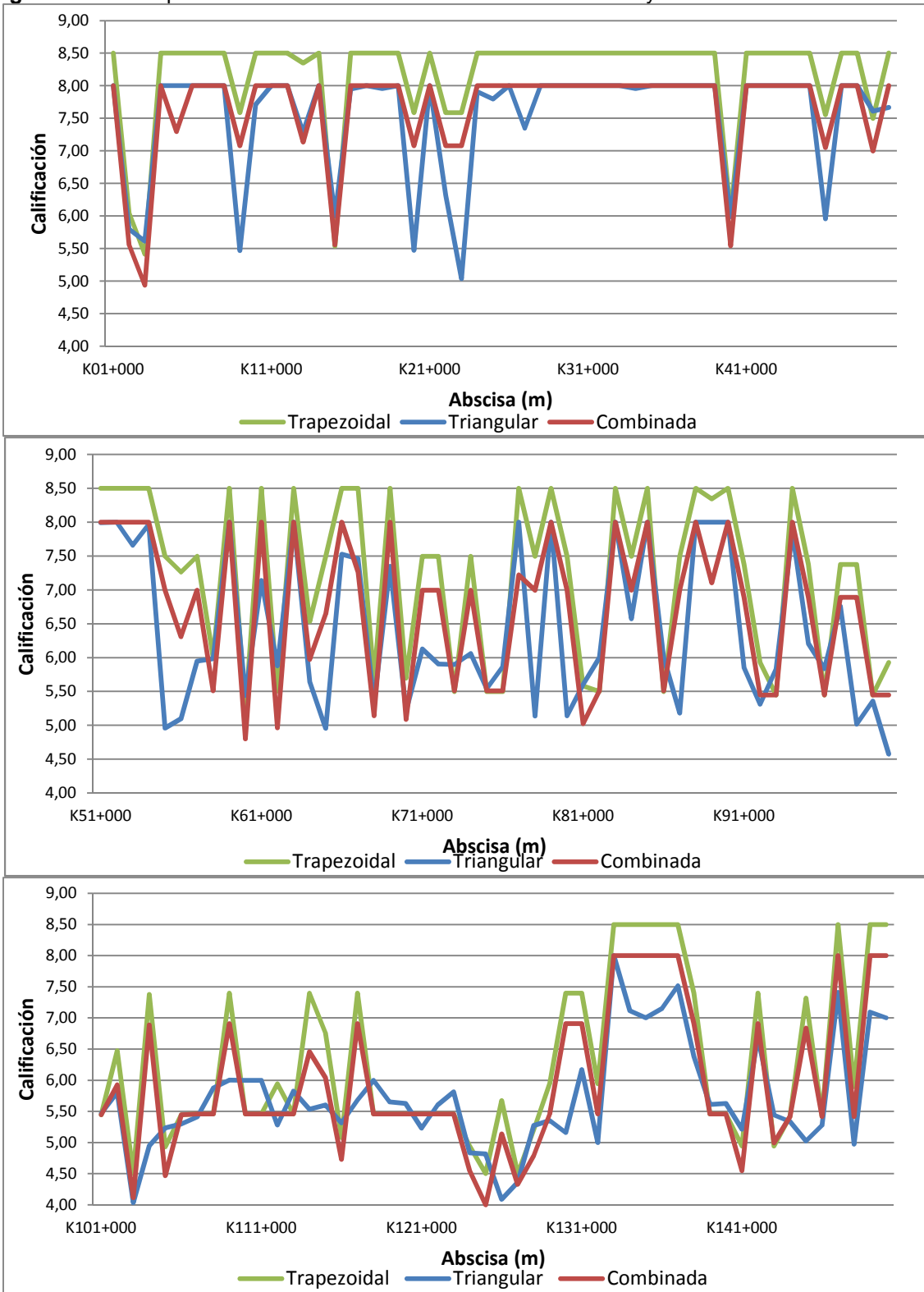


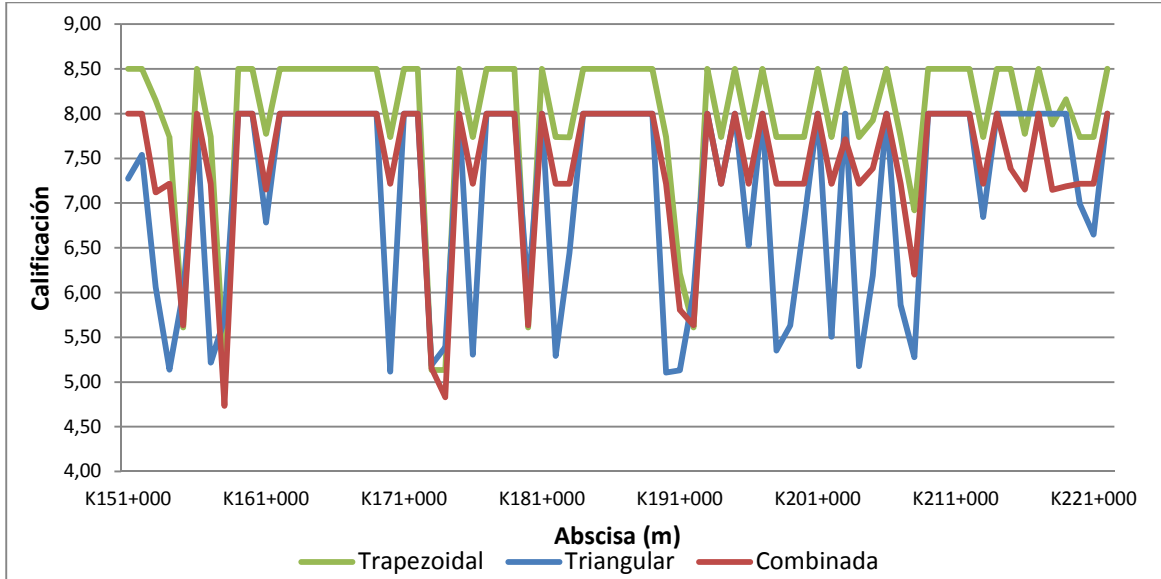


En la evaluación de deterioro del pavimento, la tendencia principal fue que los resultados con las funciones triangulares fueron inferiores comparados con las trapezoidales y combinadas. Así mismo su variación difirió, especialmente en zonas donde los valores son uniformes.

A continuación se presenta la variación de los resultados de evaluación estructural para cada caso.

Figura 5-34: Comparación resultados evaluación estructural vía Hoyo rico – Cauca.

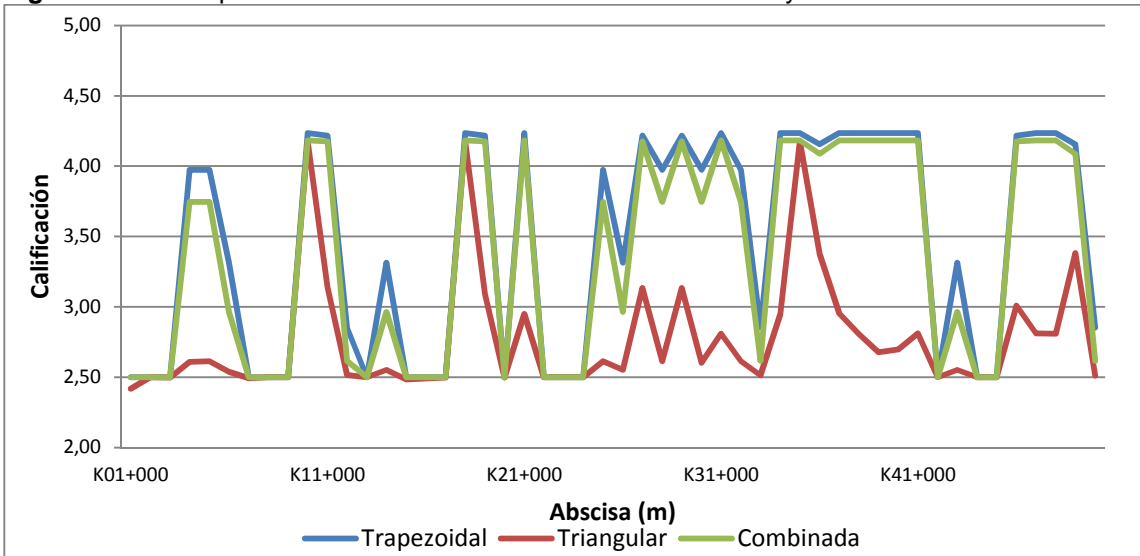


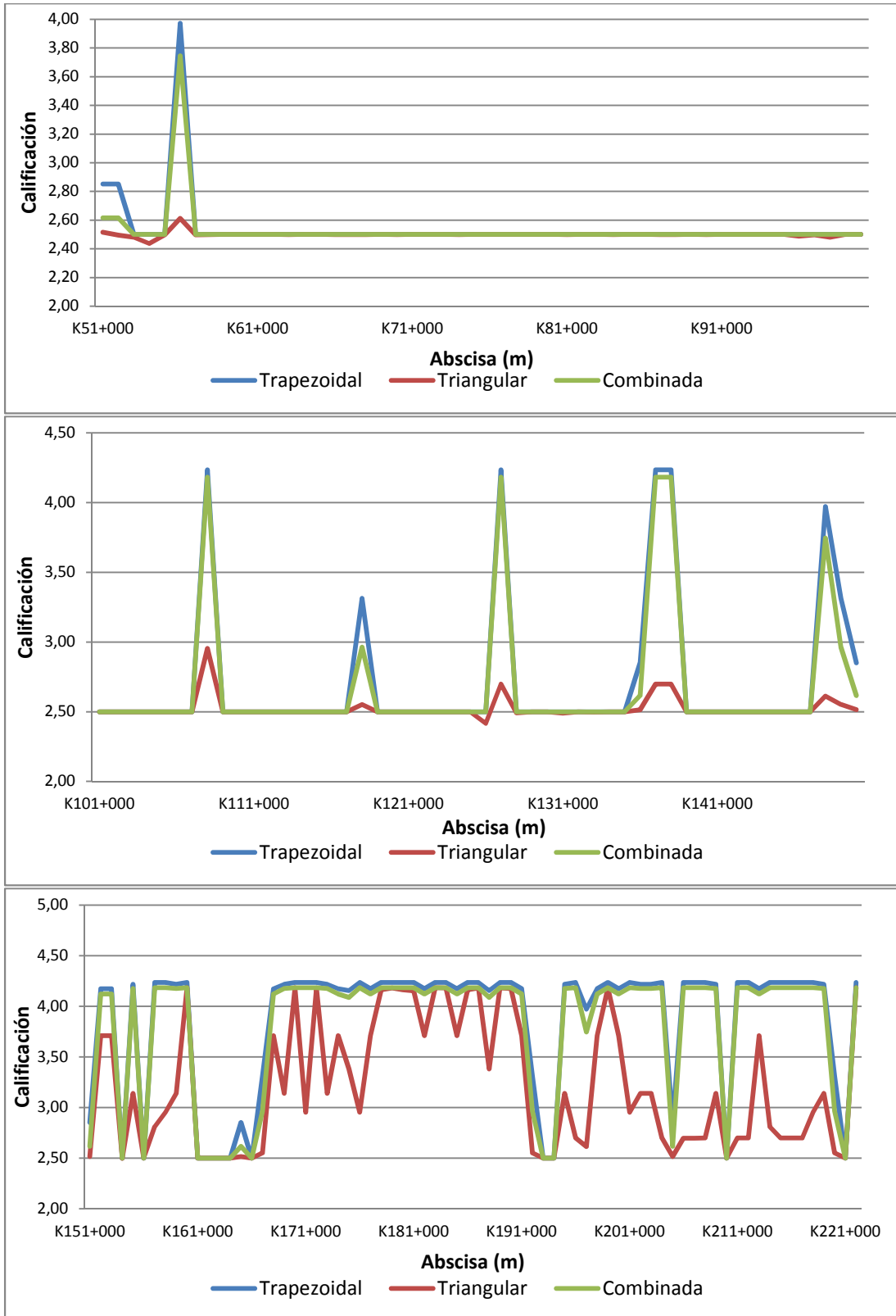


En la evaluación estructural se observó que el comportamiento de la calificación a lo largo de la vía fue similar cuando se utilizaron funciones trapezoidales y combinadas, con la diferencias que los valores obtenidos con las funciones combinadas fueron levemente inferiores. Al igual que en las evaluaciones de rigidez y deterioro, los resultados con las funciones triangulares fueron menores, indicando peor condición estructural del pavimento.

A continuación se presenta la variación de los resultados de evaluación funcional para cada caso.

Figura 5-35: Comparación resultados evaluación funcional vía Hoyo rico – Caucasia.



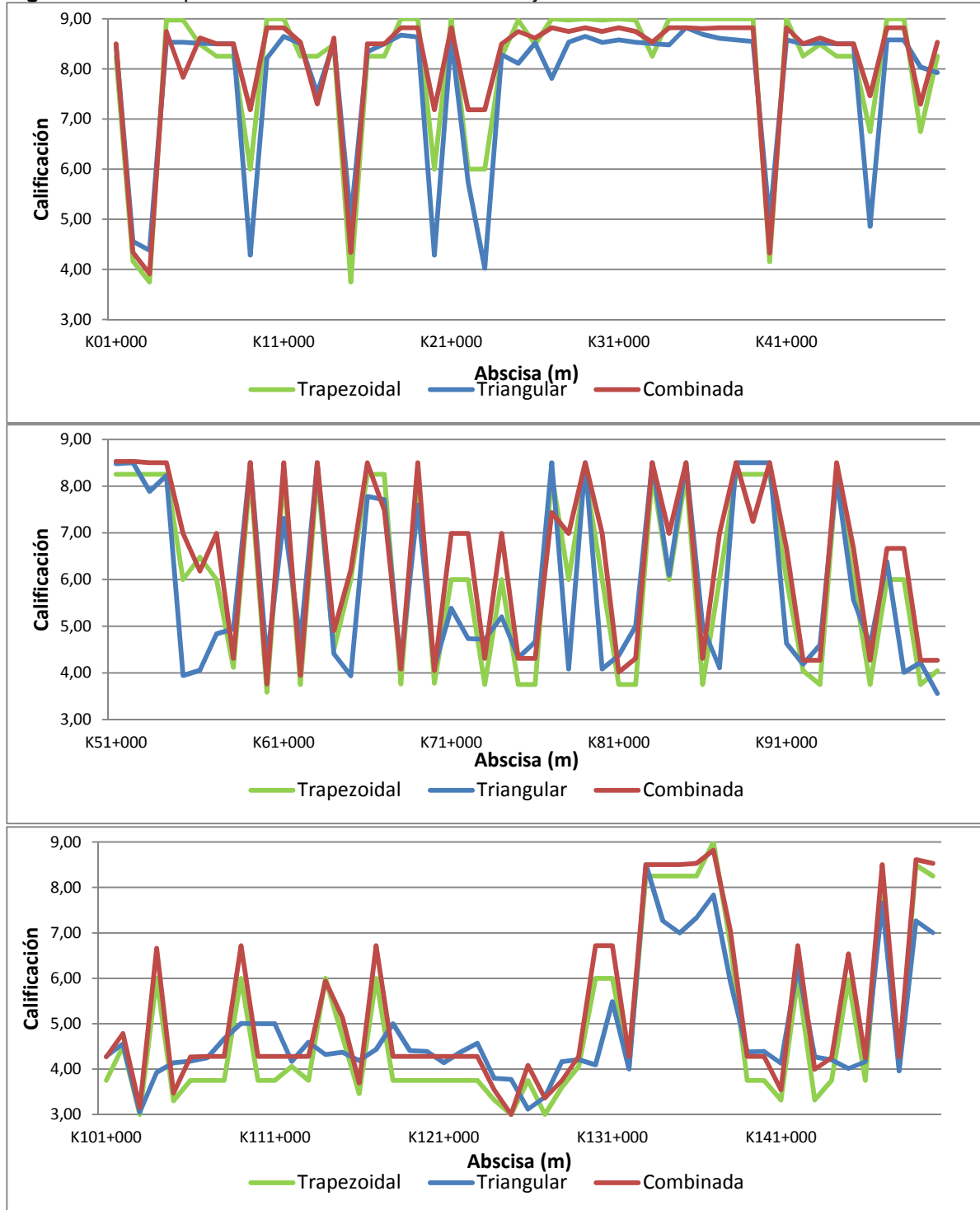


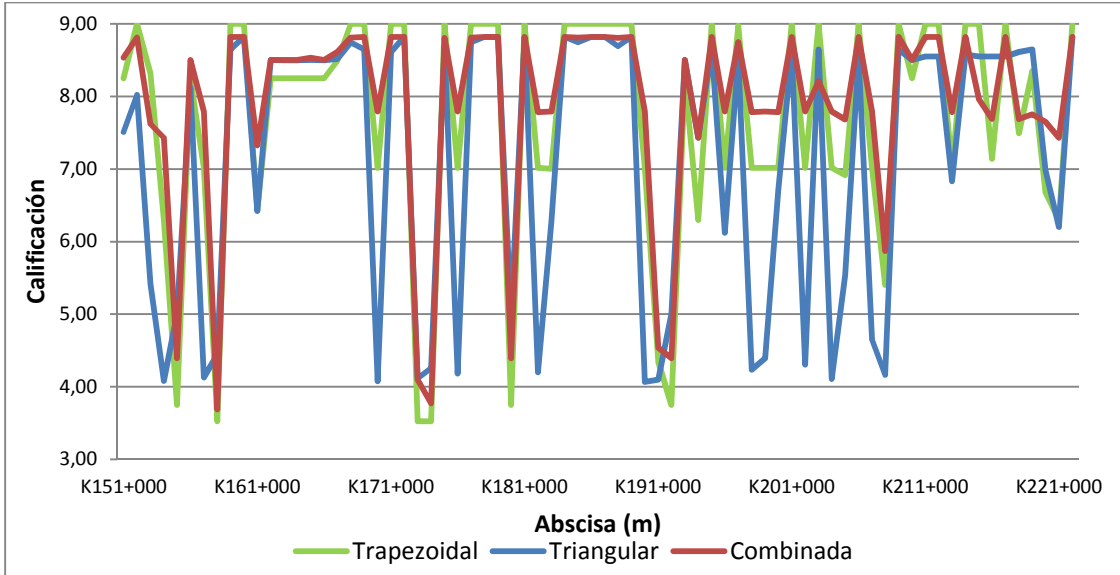
La tendencia de la evaluación funcional es similar a la estructural, donde las calificaciones más bajas se obtuvieron con las funciones triangulares. Cabe destacar que

del K0+000 al K150+000 la condición funcional fue regular, con algunos sectores donde mejoró a buena para las funciones trapezoidales y combinadas, pero siguió siendo de condición regular para las funciones triangulares.

A continuación se presenta la variación de los resultados de decisión para cada caso.

Figura 5-36: Comparación resultados decisión vía Hoyo rico – Caucasia.





Los resultados del SID *decisión*, enfocados a definir las estrategias de intervención requeridas para los sectores de vía evaluados, presentaron una alta variabilidad, con la tendencia de menores calificaciones para el SID con funciones triangulares, lo que arrojó mayores intervenciones tendientes a mejorar la condición estructural del pavimento.

De los 222 sectores de 1 km evaluados, en 177 se obtuvo concordancia en las estrategias propuestas, es decir, con los tres tipos de funciones empleadas se recomendó el mismo tipo de intervención (estructural o funcional). Esto representa aproximadamente el 80% de la vía. En los 45 sectores restantes (20%) se obtuvieron diferencias en las intervenciones propuestas para cada tipo de función, con tendencia de resultado similar para las funciones trapezoidales y combinadas. El sistema con funciones triangulares arrojó resultados más conservadores en la evaluación, y por ende, se refleja en solicitud de mayores intervenciones en el pavimento.

5.3 Resultados vía Alcalá - Pereira

Con base en la información de parámetros de condición del pavimento flexible de la vía, se realizó la evaluación usando los sistemas de inferencia difusos diseñados, utilizando la herramienta MATLAB®.

5.3.1 Funciones trapezoidales

De la Figura 5-37 a la Figura 5-40 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo C se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-37: Resultados evaluación rigidez vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

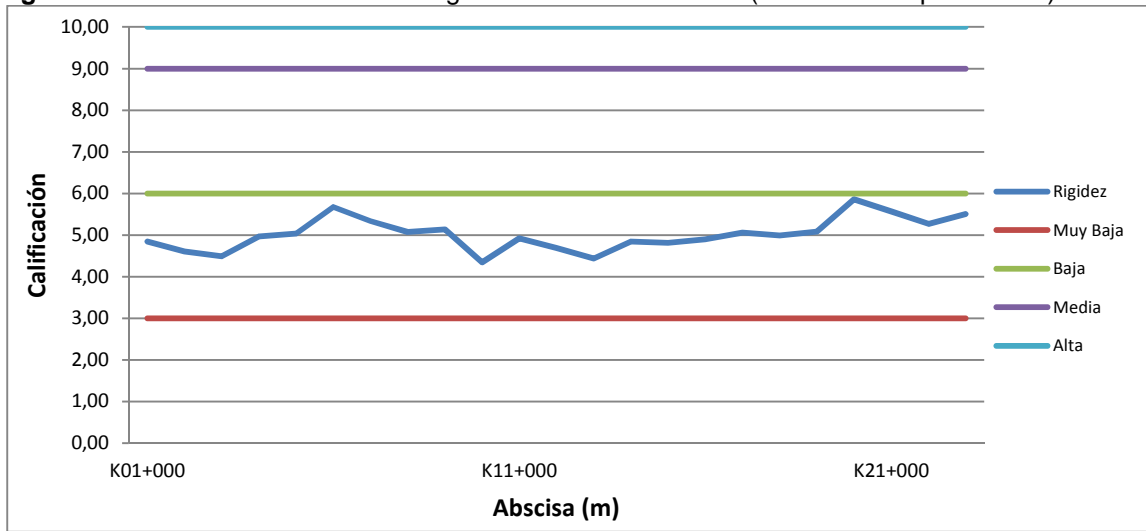


Figura 5-38: Resultados evaluación deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

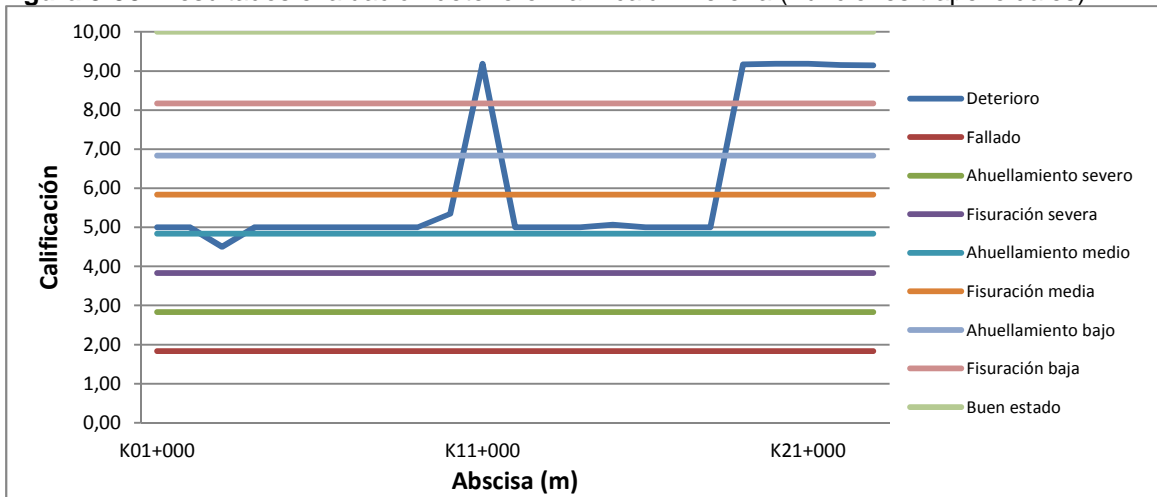


Figura 5-39: Resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

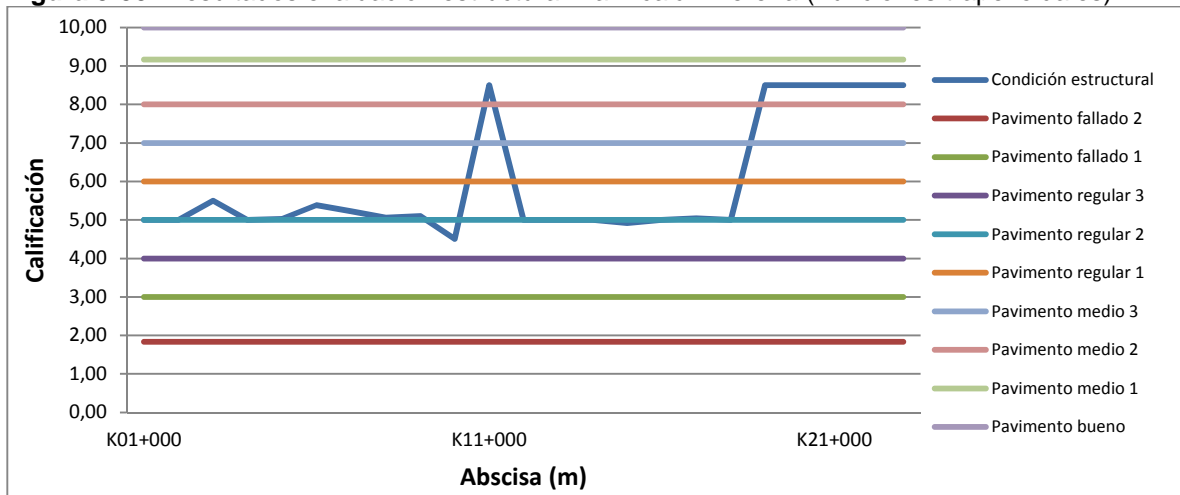
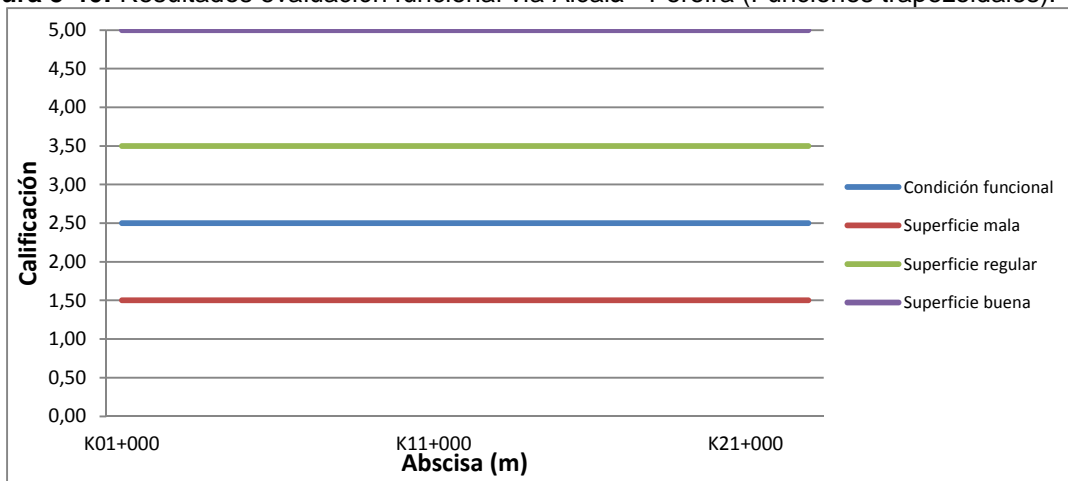


Figura 5-40: Resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

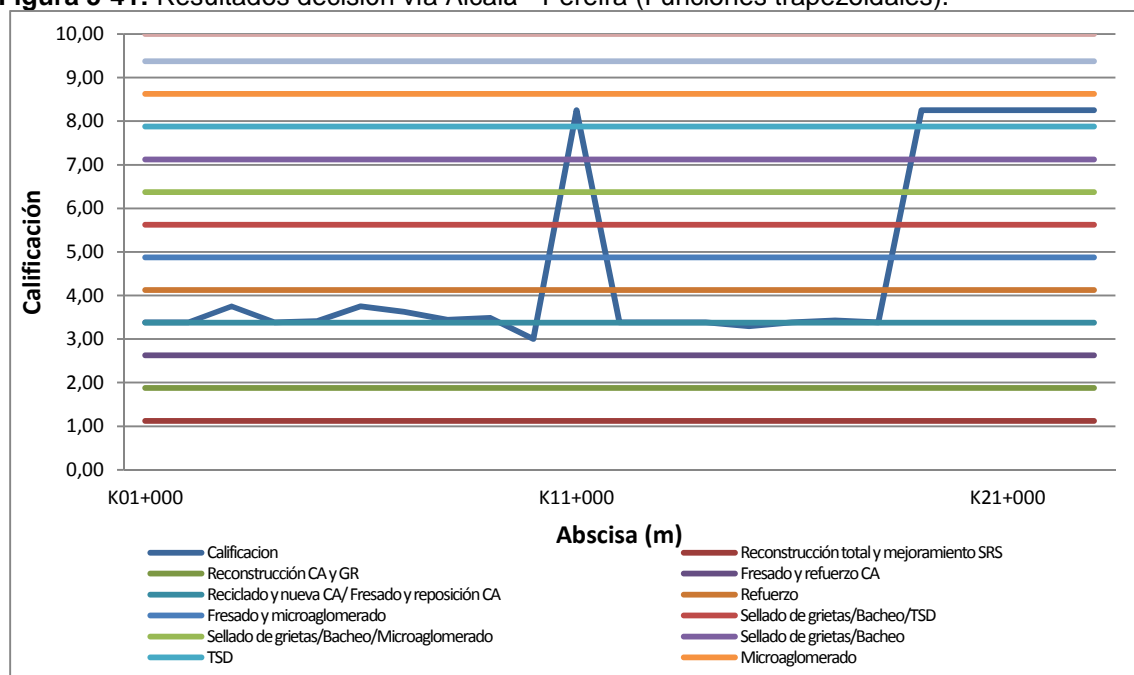


De las gráficas anteriores se observó que los resultados de la evaluación estructural están determinados por la condición de deterioro, ya que la rigidez fue baja a lo largo del todo el tramo. Los resultados de deterioro mostraron una variación importante, que determinó los resultados de la evaluación estructural.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue uniforme a lo largo de todo el tramo, con calificaciones de superficie regular.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-41 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo C se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-41: Resultados decisión vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).



En la gráfica anterior se puede apreciar que existió una tendencia clara en el tipo de intervención recomendada para la vía. Del K0+000 al K18+000 predominaron las intervenciones enfocadas a restaurar la condición estructural de la vía, con recomendaciones de refuerzo, reciclado y nueva carpeta asfáltica o fresado y reposición de carpeta asfáltica. Del K18+000 al K23+000 se tuvieron los tramos con pocas deficiencias estructurales, en los cuales se requirieron intervenciones enfocadas a la superficie del pavimento (microaglomerado).

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

Con base en los resultados obtenidos de la condición del pavimento utilizando el sistema propuesto, fue posible determinar sectores de comportamiento homogéneo a lo largo de la vía. Este tipo de análisis es de vital importancia en la gestión vial, ya que facilita las labores de seguimiento del comportamiento de los tramos y optimiza las intervenciones y trabajos necesarios.

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Alcalá - Pereira para los resultados obtenidos.

Para el caso de esta vía, no se utilizaron las calificaciones de rigidez y funcional para el análisis de secciones homogéneas, ya que estos resultados fueron uniformes a lo largo de toda la vía. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-42: Diferencias acumuladas por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

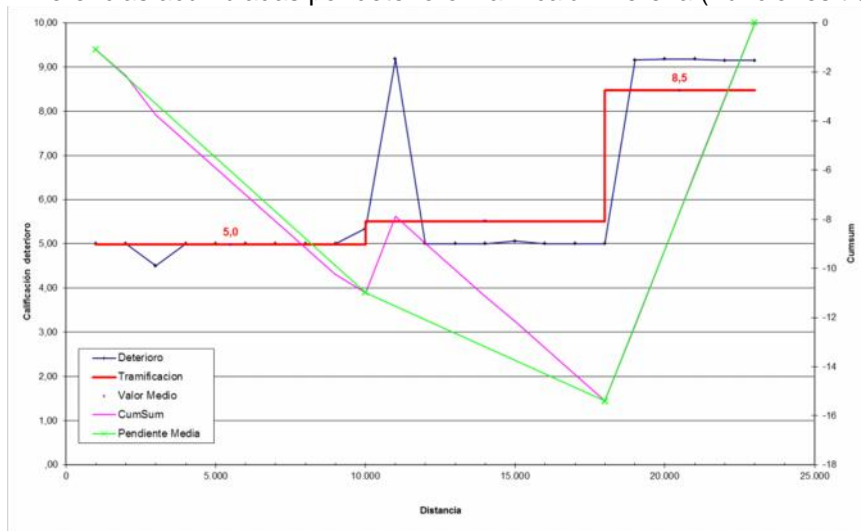


Tabla 5-11: Sectores homogéneos por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K10+000	10.000	5,0	0,2	0,04
K10+000	K18+000	8.000	5,5	1,4	0,25
K18+000	K23+000	5.000	8,5	1,7	0,20

Figura 5-43: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

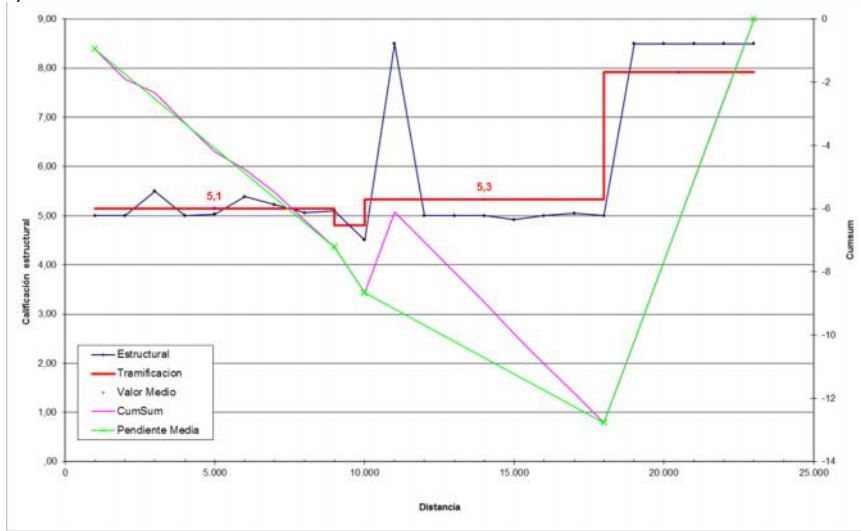
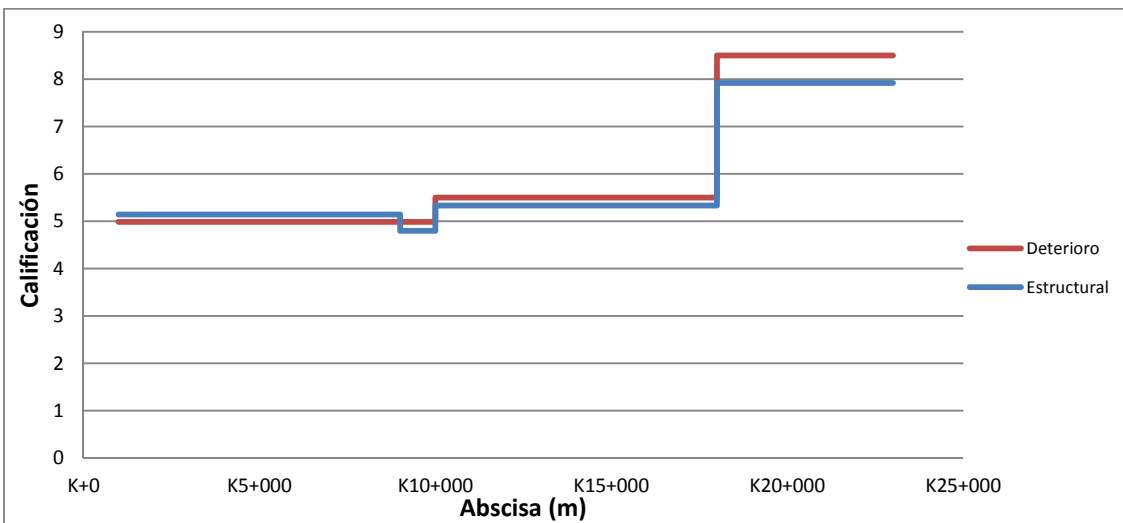


Tabla 5-12: Sectores homogéneos por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K9+000	9.000	5,1	0,2	0,04
K9+000	K10+000	1.000	4,8	0,4	0,09
K10+000	K18+000	8.000	5,3	1,2	0,23
K18+000	K23+000	5.000	7,9	1,4	0,18

En la Figura 5-44 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-44: Comparativo sectorización vía Alcalá - Pereira (Funciones trapezoidales).



La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fueron similares, encontrando que por la calificación estructural se tuvo un sector de corta longitud entre el

K9+000 y el K10+000. Se puede concluir que la sectorización realizada con los datos obtenidos, da resultados muy precisos, con poca variación cuando se usan diferentes calificaciones y mostrando correspondencia con los parámetros evaluados en el pavimento.

5.3.2 Funciones triangulares

De la Figura 5-45 hasta la Figura 5-48 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo C se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-45: Resultados evaluación rigidez vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

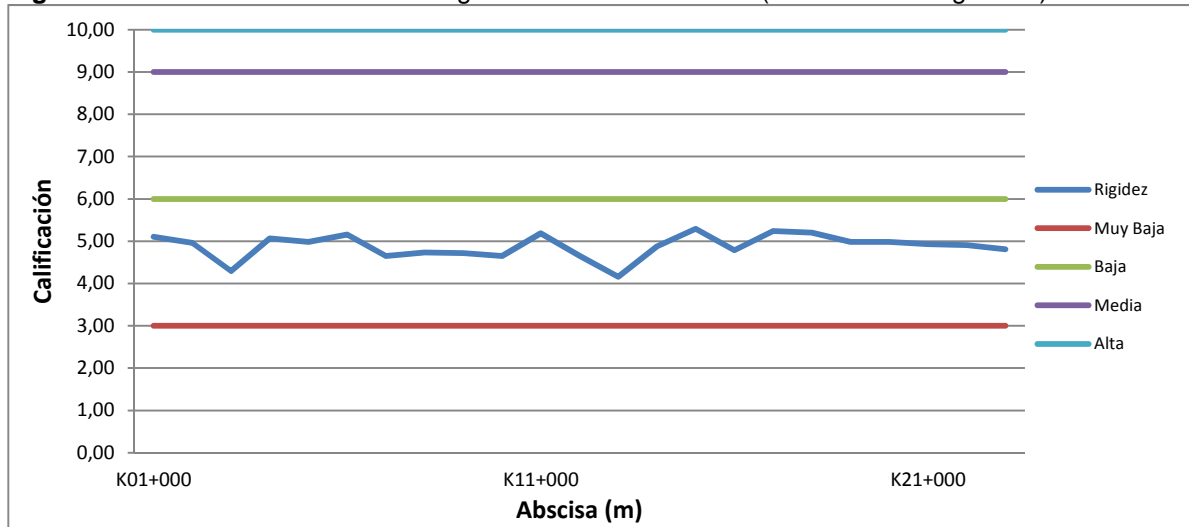


Figura 5-46: Resultados evaluación deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

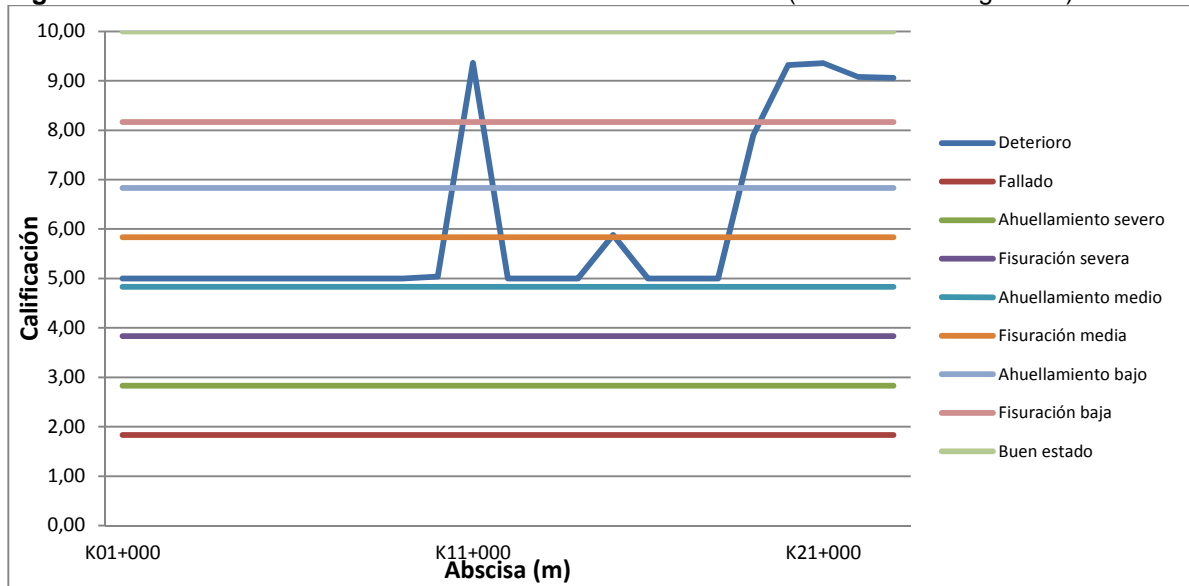


Figura 5-47: Resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

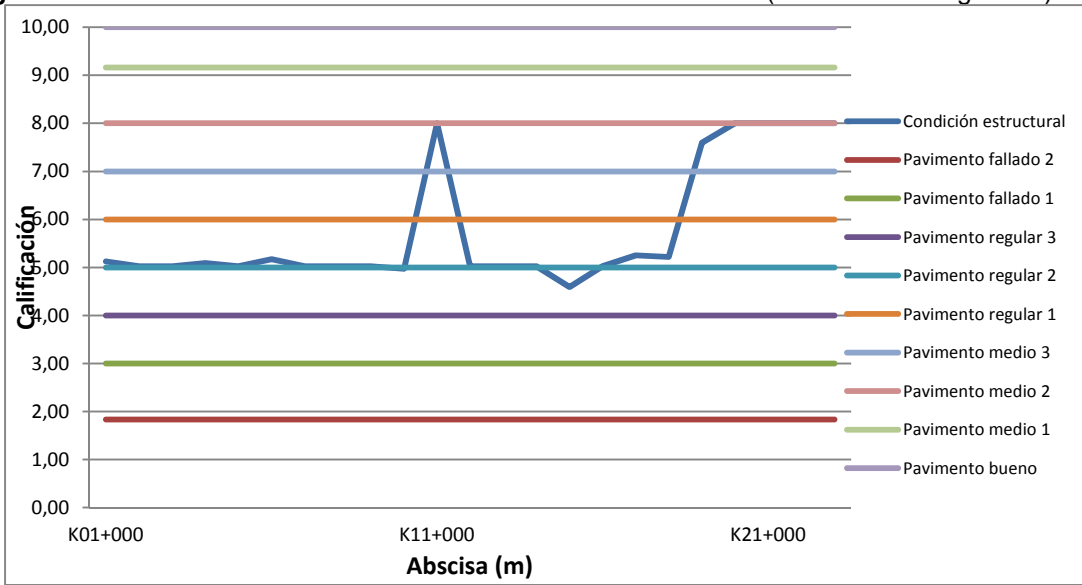
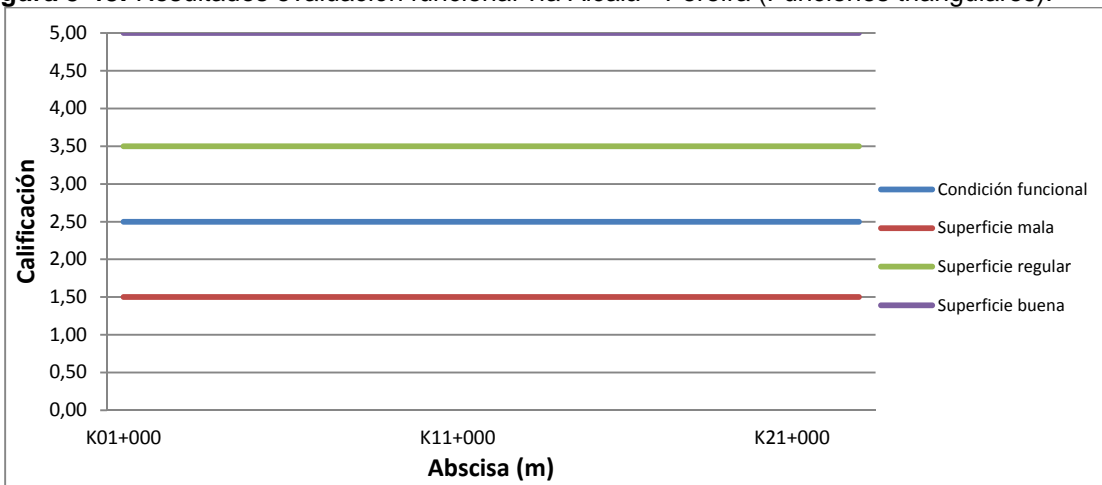


Figura 5-48: Resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

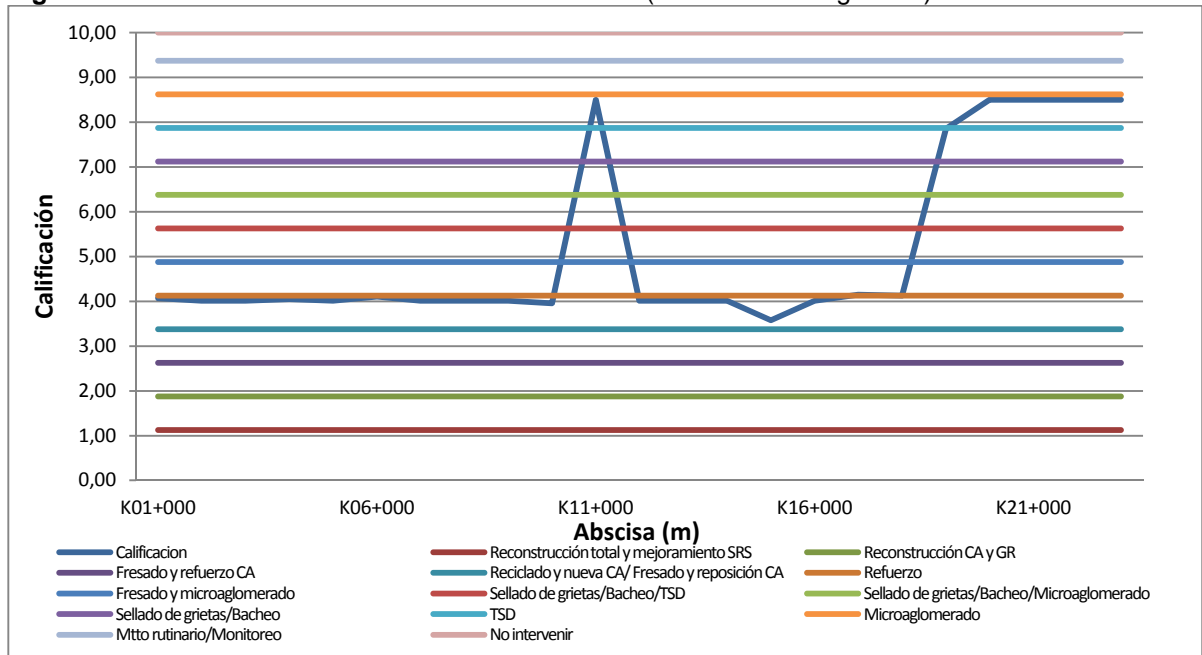


De las gráficas anteriores se pudo apreciar que al igual que con las funciones trapezoidales, el comportamiento de la evaluación por rigidez fue uniforme, con clasificación de rigidez baja. De igual forma, los resultados de la evaluación estructural fueron determinados por la variación en la condición de deterioro.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue uniforme, con valor de 2,50 y superficie regular.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-49 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo C se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-49: Resultados decisión vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).



En la gráfica anterior se puede apreciar que existió una tendencia en el tipo de intervención recomendada para la vía, similar a los resultados obtenidos en la evaluación con funciones trapezoidales. En la zona inicial (K0+000 al K18+000) predominaron las intervenciones enfocadas en la parte estructural con recomendaciones de refuerzo. En el tramo restante, las intervenciones fueron de carácter superficial con tratamientos superficiales y microaglomerado.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Alcalá - Pereira, con los resultados obtenidos con las funciones triangulares.

Para el caso de esta vía, no se utilizaron las calificaciones de rigidez y funcional para el análisis de secciones homogéneas, ya que estas no presentaron una variación apreciable. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-50: Diferencias acumuladas por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

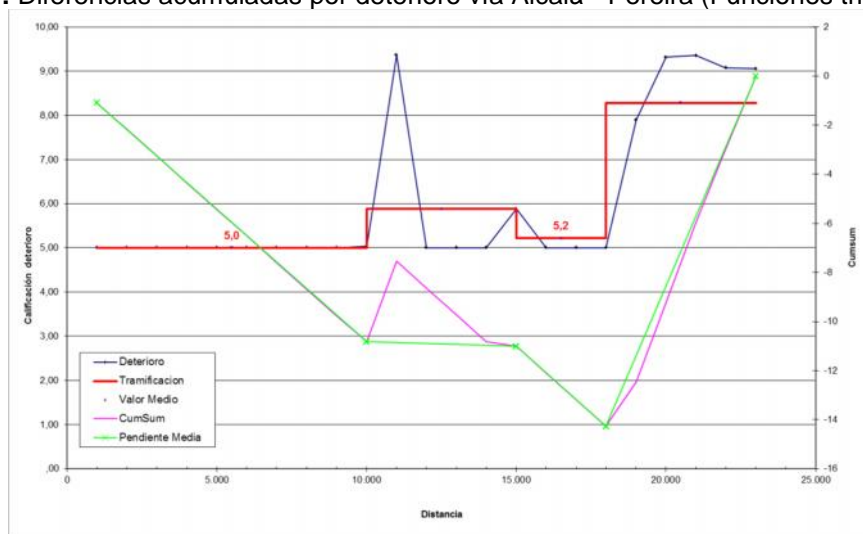


Tabla 5-13: Sectores homogéneos por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K10+000	10.000	5,0	0,0	0,00
K10+000	K15+000	5.000	5,9	1,7	0,30
K15+000	K18+000	3.000	5,2	0,4	0,08
K18+000	K23+000	5.000	8,3	1,7	0,20

Figura 5-51: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

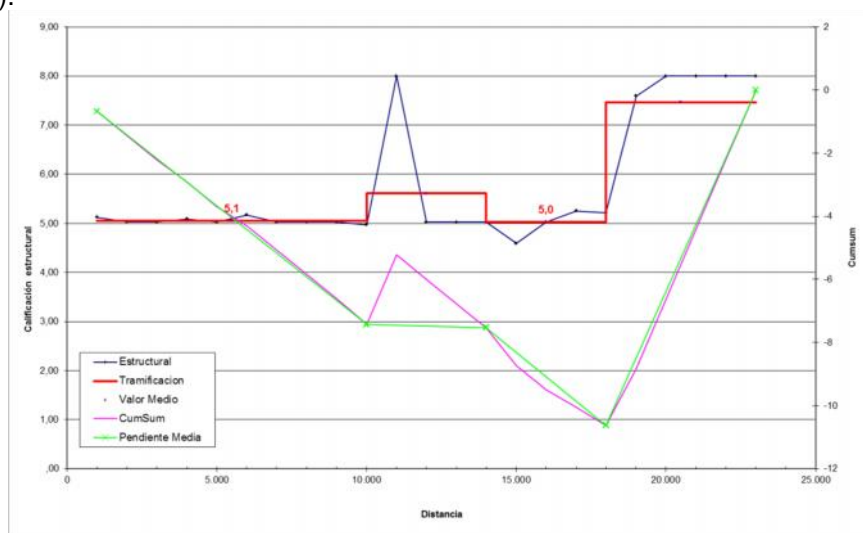


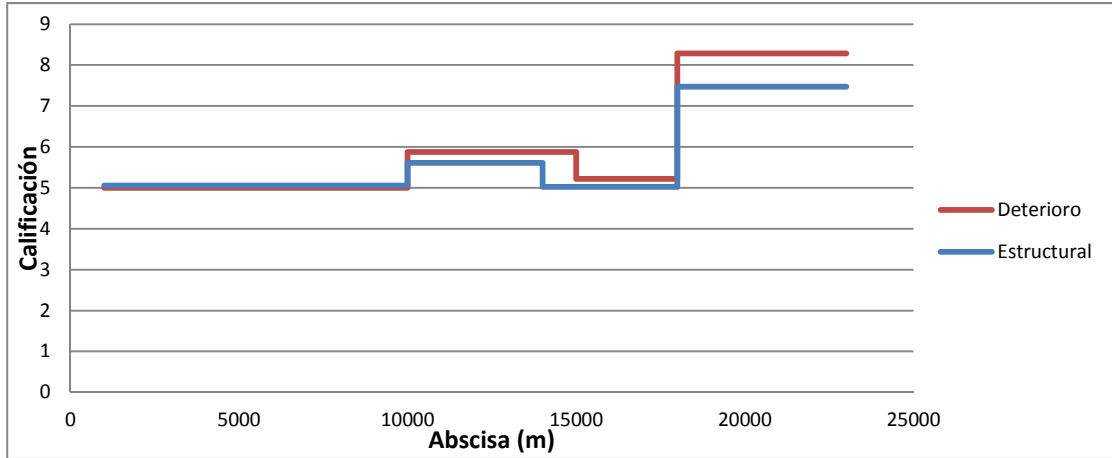
Tabla 5-14: Sectores homogéneos por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K10+000	10.000	5,1	0,1	0,01
K10+000	K14+000	4.000	5,6	1,3	0,24
K14+000	K18+000	4.000	5,0	0,3	0,05

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K18+000	K23+000	5.000	7,5	1,1	0,15

En la Figura 5-52 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-52: Comparativo sectorización vía Alcalá - Pereira (Funciones triangulares).



La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fue igual, con excepción de la zona central el K10+000 y el K18+000, donde los dos sectores encontrados difieren. Para efectos de evaluación y gestión, sería conveniente el uso de la sectorización de carácter estructural. Se puede concluir que la sectorización realizada con los datos obtenidos, da resultados muy precisos, con poca variación cuando se usan diferentes calificaciones y mostrando correspondencia con los parámetros evaluados en el pavimento.

5.3.3 Funciones combinadas

De la Figura 5-53 hasta la Figura 5-56 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo C se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-53: Resultados evaluación rigidez vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

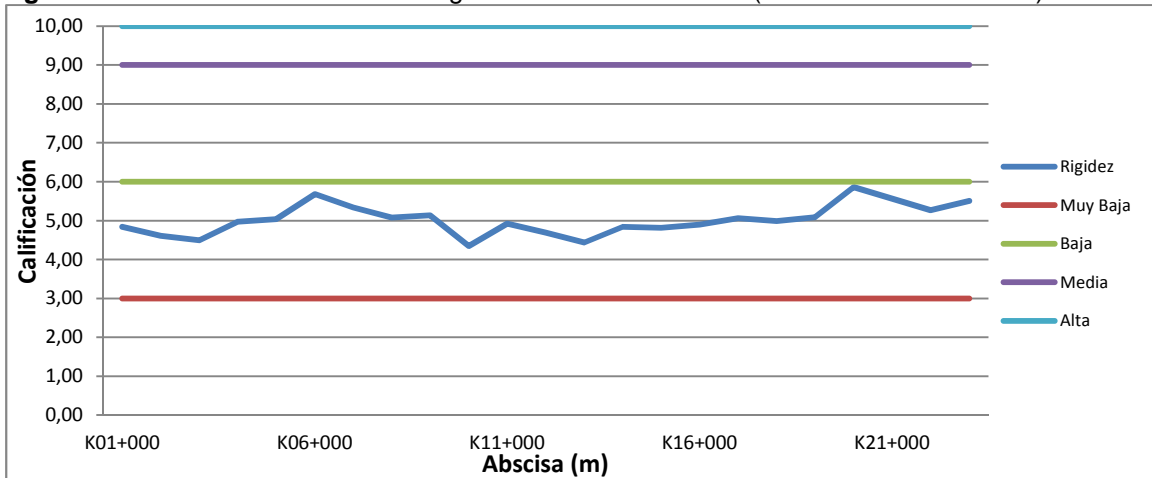


Figura 5-54: Resultados evaluación deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

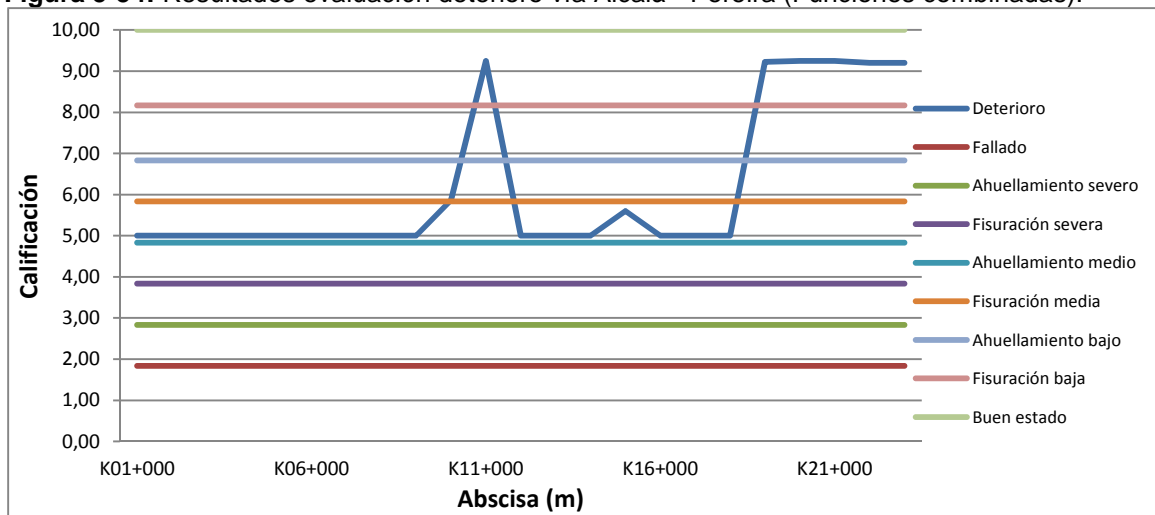


Figura 5-55: Resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

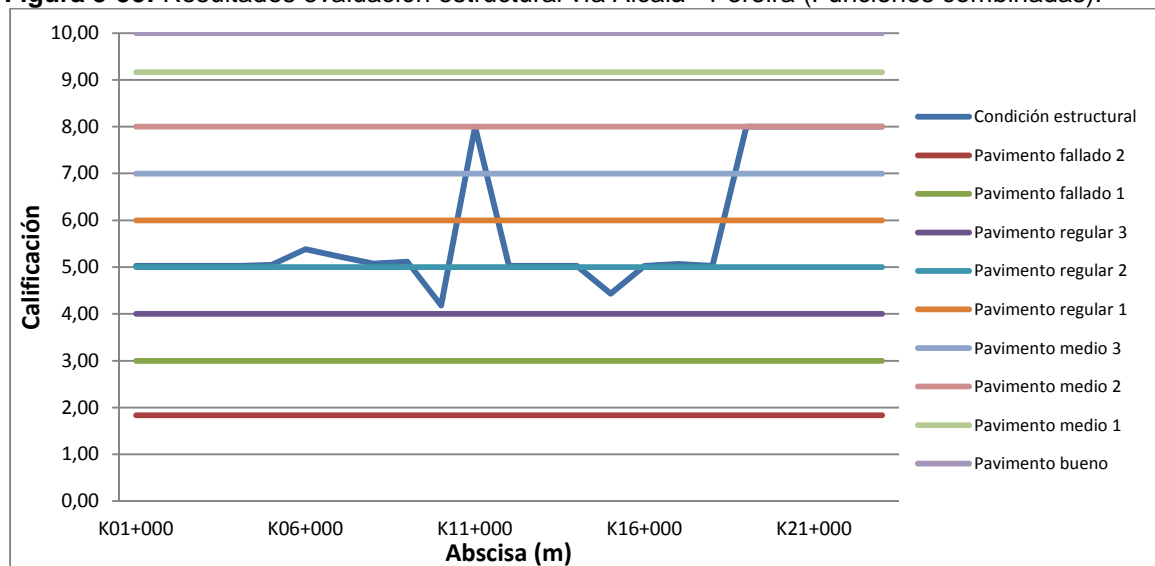
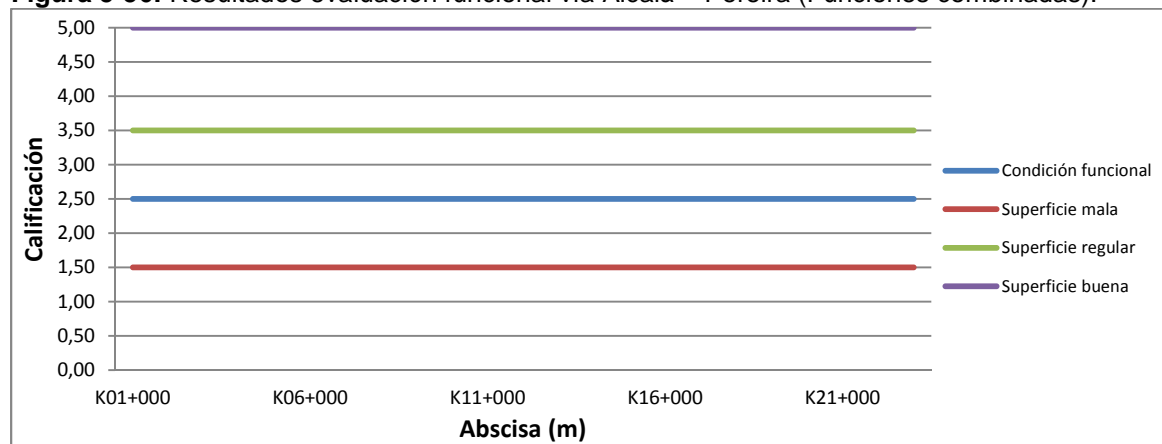


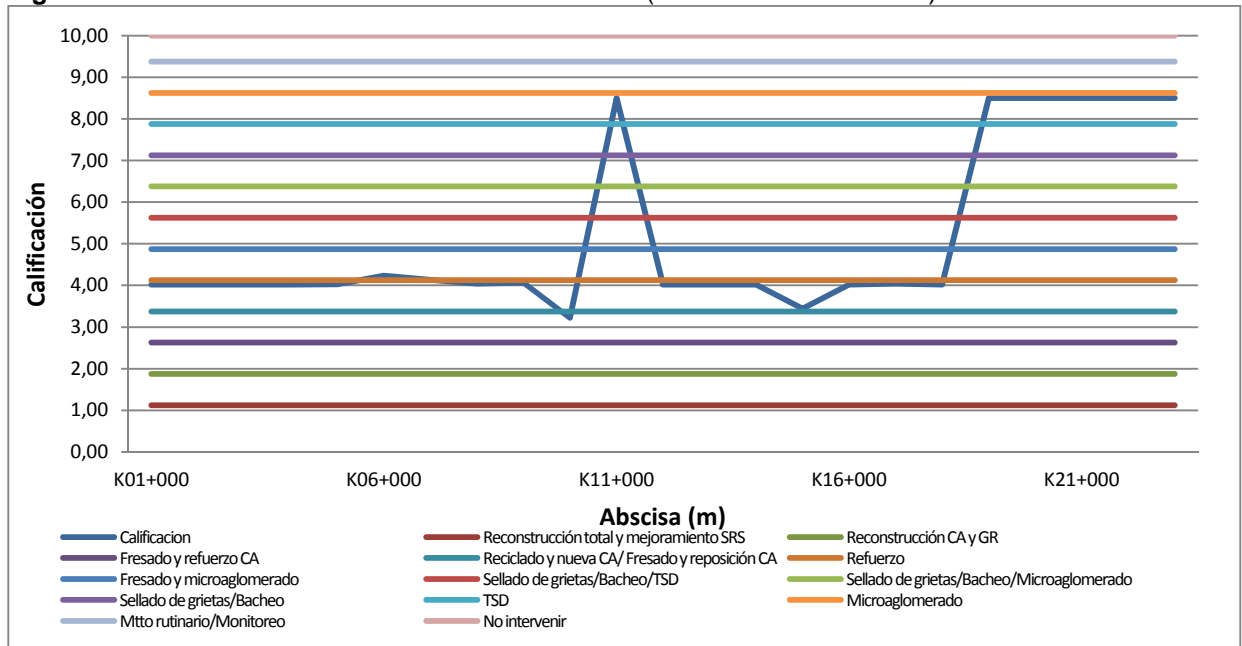
Figura 5-56: Resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).



De las gráficas anteriores se puede apreciar que para el uso de las funciones combinadas, el comportamiento de la evaluación por rigidez y funcional fue similar a cuando se usan funciones de una sola forma, es decir, con poca variación en los resultados. Los resultados de la evaluación estructural fueron determinados por la condición de deterioro, con valores que oscilan entre 4 y 8.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-57 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo C se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-57: Resultados decisión vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).



En la gráfica anterior se puede apreciar que existió una tendencia en el tipo de intervención recomendada para la vía, similar a los resultados obtenidos en la evaluación con funciones de una sola forma. La zona inicial, comprendida entre el K0+000 y el K18+000 requirió intervenciones estructurales, de tipo refuerzo, reciclado y nueva CA/ fresado y reposición CA. En la parte final (entre el K18+000 al K23+000), las intervenciones requeridas fueron del tipo funcional, específicamente la colocación de microaglomerado.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Alcalá - Pereira, con los resultados obtenidos con las funciones triangulares.

Para el caso de esta vía, no se utilizaron la calificación de rigidez y funcional para el análisis de secciones homogéneas, ya que estas presentaron un comportamiento uniforme. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-58: Diferencias acumuladas por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

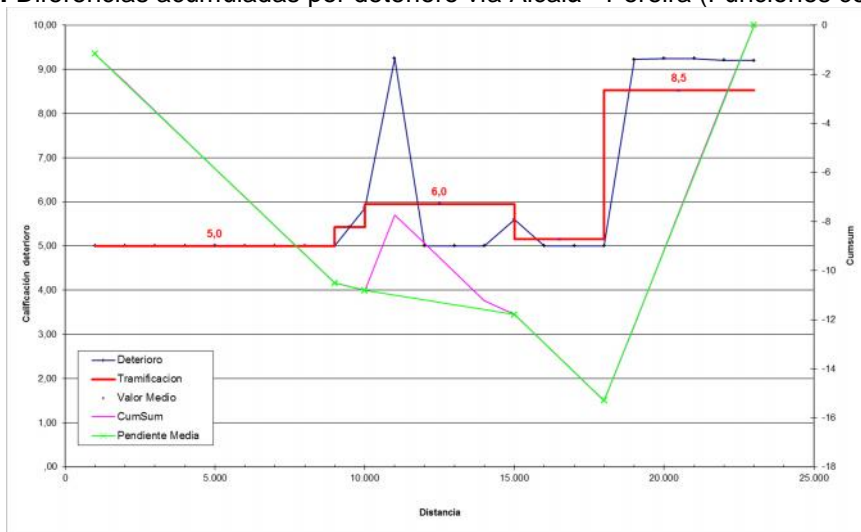


Tabla 5-15: Sectores homogéneos por deterioro vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K9+000	9.000	5,0	0,0	0,00
K9+000	K10+000	1.000	5,4	0,6	0,11
K10+000	K15+000	5.000	6,0	1,7	0,28
K15+000	K18+000	3.000	5,2	0,3	0,06
K18+000	K23+000	5.000	8,5	1,7	0,20

Figura 5-59: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

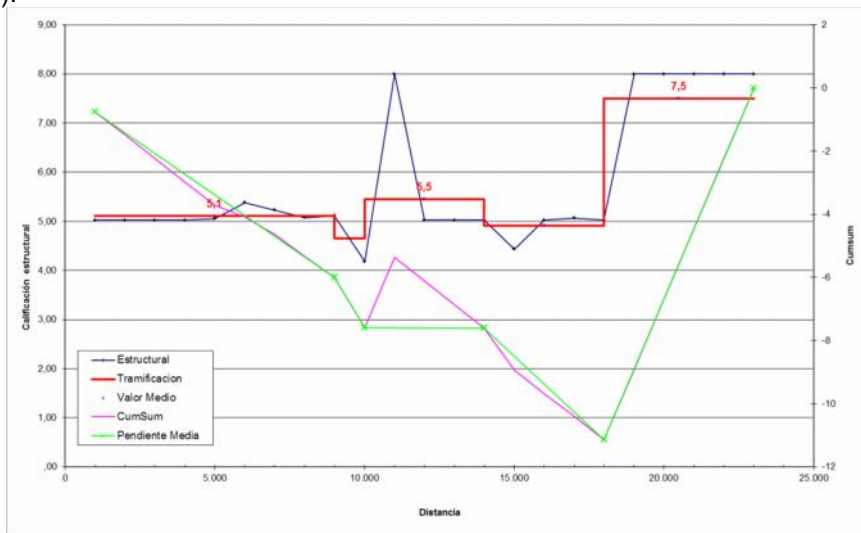


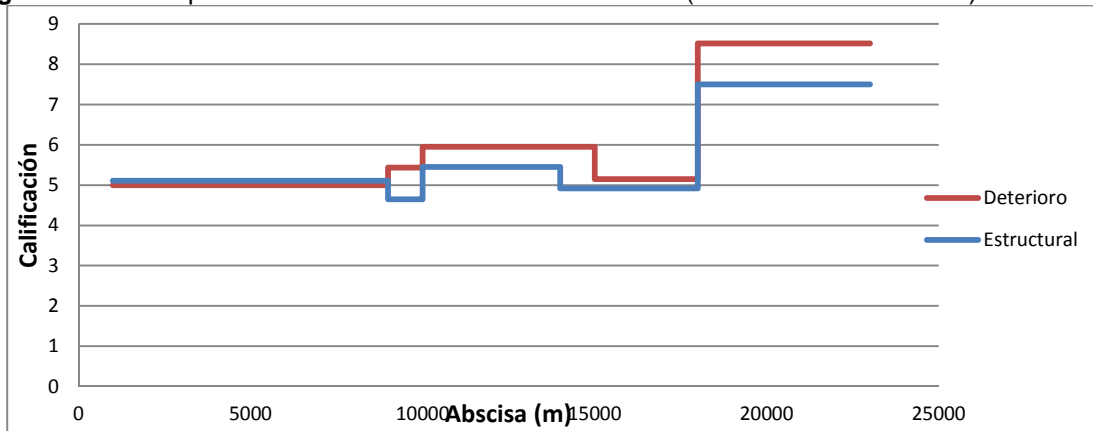
Tabla 5-16: Sectores homogéneos por condición estructural vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K9+000	9.000	5,1	0,1	0,02
K9+000	K10+000	1.000	4,6	0,7	0,14

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K10+000	K14+000	4.000	5,5	1,5	0,27
K14+000	K18+000	4.000	4,9	0,3	0,06
K18+000	K23+000	5.000	7,5	1,2	0,16

En la Figura 5-60 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-60: Comparativo sectorización vía Alcalá - Pereira (Funciones combinadas).

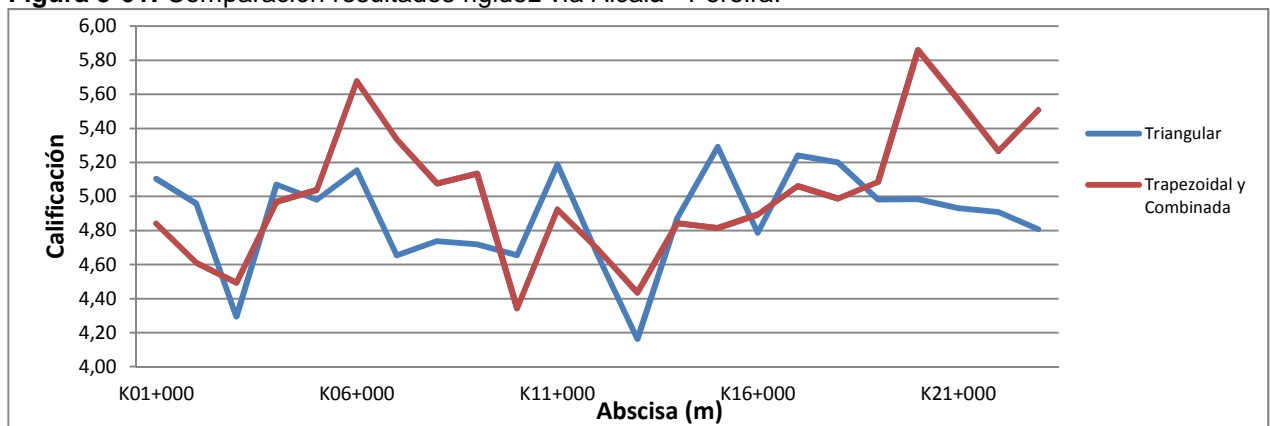


Al igual que lo obtenido con las funciones de una sola forma, la sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fue similar; con diferencia entre el K10+000 y el K18+000, donde los dos sectores obtenidos difieren. Se puede concluir que la sectorización realizada con los datos obtenidos, da resultados muy precisos, con poca variación cuando se usan diferentes calificaciones y mostrando correspondencia con los parámetros evaluados en el pavimento.

5.3.4 Comparación de resultados

A continuación se realiza la comparación de los resultados obtenidos con los SID evaluados, haciendo énfasis en la influencia de los tres tipos de funciones de pertenencia empleadas: trapezoidal, triangular y combinada. A continuación se presenta la variación de los resultados de rigidez para cada caso.

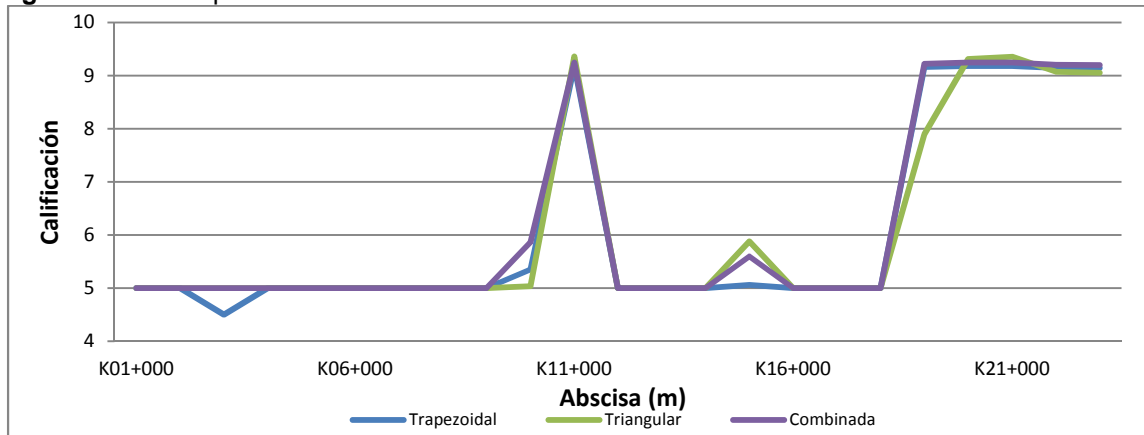
Figura 5-61: Comparación resultados rigidez vía Alcalá - Pereira.



En la evaluación de la rigidez del pavimento, se obtuvieron resultados similares para las funciones trapezoidales y combinadas, aunque en este caso la variación a lo largo del tramo fue apreciable. Los valores presentaron poca dispersión, oscilando entre 4,16 y 5,86. Para todas las funciones la clasificación de rigidez fue baja, lo que demuestra que la influencia del tipo de función en la calificación por rigidez no fue significativa.

A continuación se presenta la variación de los resultados de deterioro para cada caso.

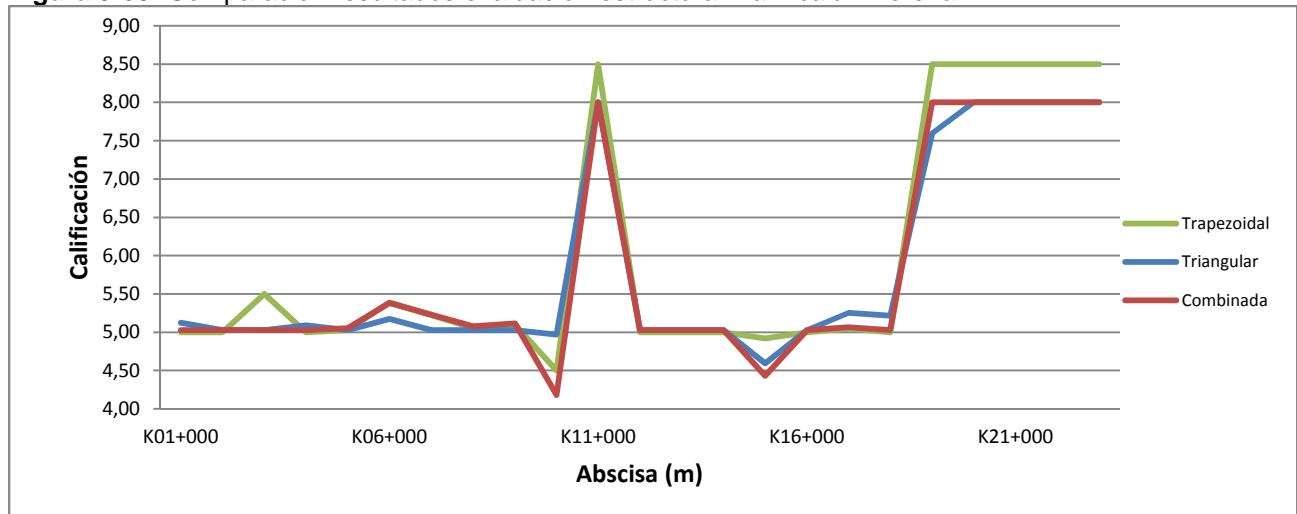
Figura 5-62: Comparación resultados deterioro vía Alcalá - Pereira.



En la evaluación de deterioro del pavimento, se observó que los resultados obtenidos con las diferentes funciones de pertenencia presentaron poca variación y una tendencia de comportamiento similar. Entre el K18+000 y el K19+000 se tiene que los resultados de las funciones triangulares suelen ser menores que las demás funciones. En general, la comparación de valores de deterioro obtenidos con las diferentes funciones presentó pocas diferencias, siendo estas apreciables en sectores específicos de la vía, por ejemplo el K3+000, K11+000, K15+000.

A continuación se presenta la variación de los resultados de evaluación estructural para cada caso.

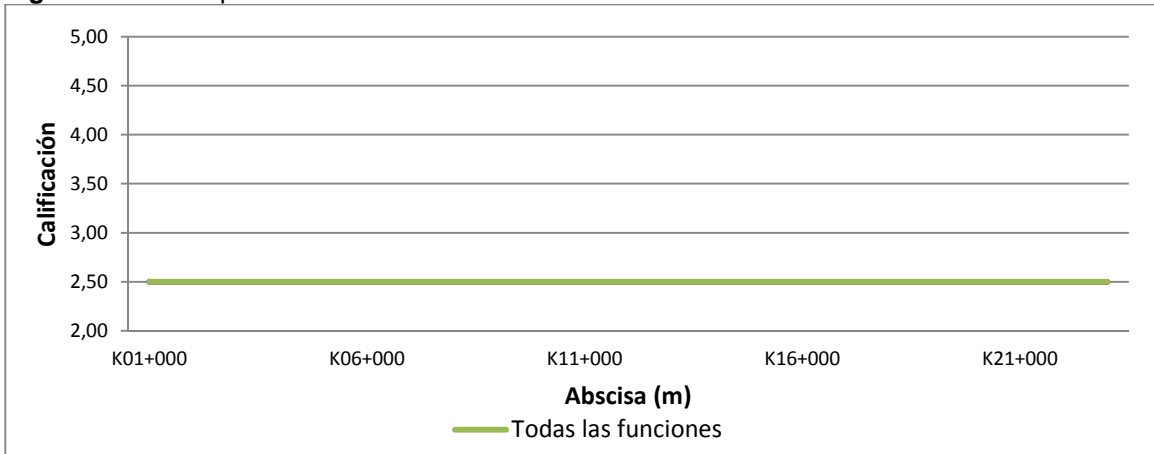
Figura 5-63: Comparación resultados evaluación estructural vía Alcalá - Pereira.



En la evaluación estructural se observó que el comportamiento de la calificación estructural fue similar a la variación de deterioro, tendencia que ya se ha observado en las evaluaciones realizadas. El comportamiento de los resultados fue similar en todos los casos, con los menores valores dados por las funciones combinadas en la mayoría de las secciones.

A continuación se presenta la variación de los resultados de evaluación funcional para cada caso.

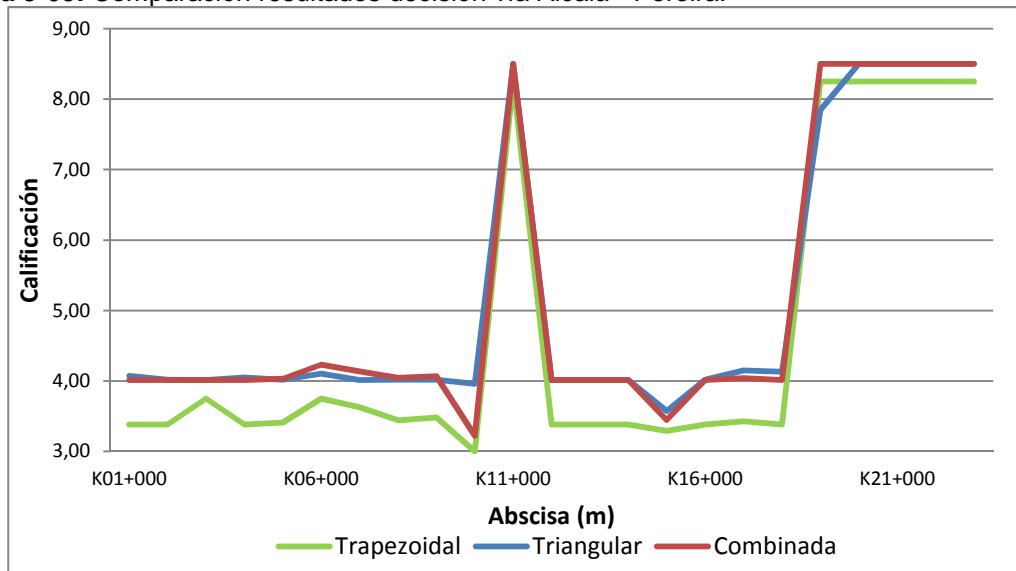
Figura 5-64: Comparación resultados evaluación funcional vía Alcalá - Pereira.



Para este caso la calificación obtenida para todas las funciones fue igual, con un valor de 2,50 y clasificación de superficie regular, indicativo de que no existió influencia del tipo de función empleada para este caso.

A continuación se presenta la variación de los resultados de decisión para cada caso.

Figura 5-65: Comparación resultados decisión vía Alcalá - Pereira.



Los resultados del SID decisión, enfocados a definir las estrategias de intervención requeridas para los sectores de vía evaluados, presentaron una tendencia similar a lo

largo de la vía, para todos los tipos de funciones de pertenencia utilizados. Del K0+000 al K18+000, las estrategias recomendadas fueron principalmente el refuerzo de la carpeta existente, con excepción del sector entre el K10+000 y el K11+000, donde la deficiencia principal fue funcional y se recomendó una capa de microaglomerado. De igual forma, del K18+000 al K23+000 se obtuvieron calificaciones altas (mayores a 8), lo que dio como resultados intervenciones funcionales del tipo microaglomerado y TSD (tratamiento superficial doble).

Cabe destacar que para esta vía se obtuvo concordancia en las estrategias propuestas en todos los sectores, es decir, con los tres tipos de funciones empleadas se recomendó el mismo tipo de intervención (estructural o funcional). Con los sistemas con funciones trapezoidales y combinadas se obtuvieron las mismas intervenciones para el pavimento, mientras que con las funciones triangulares solo se obtuvieron propuestas diferentes en los sectores K9+000 – K10+000, K14+000 – K15+000 y K18+000 – K19+000. El sistema basado en funciones trapezoidales fue más conservador, con recomendación de mayores intervenciones para el pavimento.

5.4 Resultados vía Armenia - Cartago

Con base en la información de parámetros de condición del pavimento flexible de la vía, se realiza la evaluación usando los sistemas de inferencia difusos diseñados, utilizando la herramienta MATLAB®.

5.4.1 Funciones trapezoidales

De la Figura 5-66 a la Figura 5-69 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo C se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-66: Resultados evaluación rigidez vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

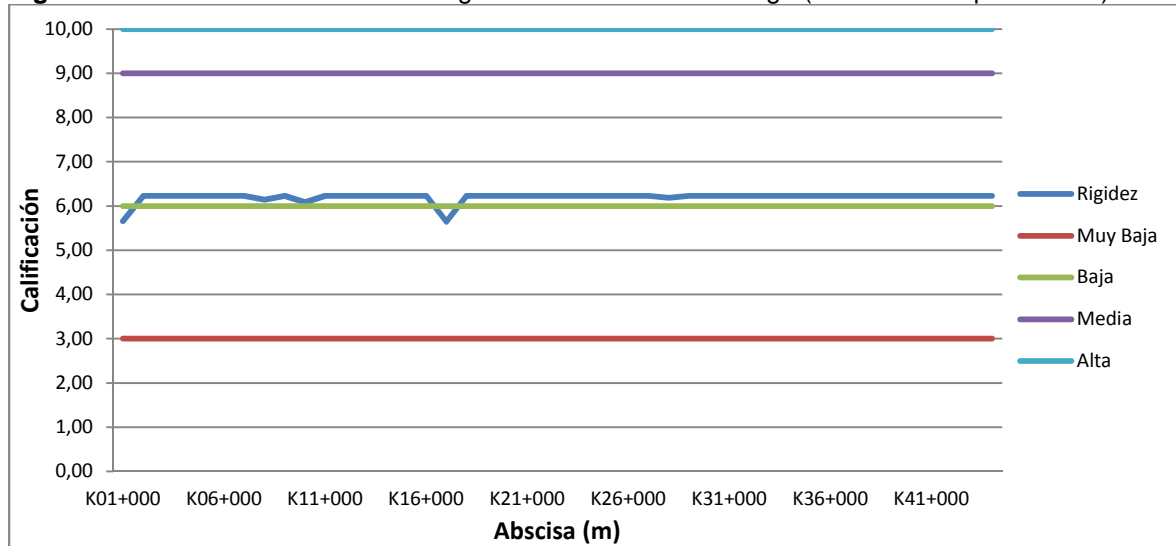


Figura 5-67: Resultados evaluación deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

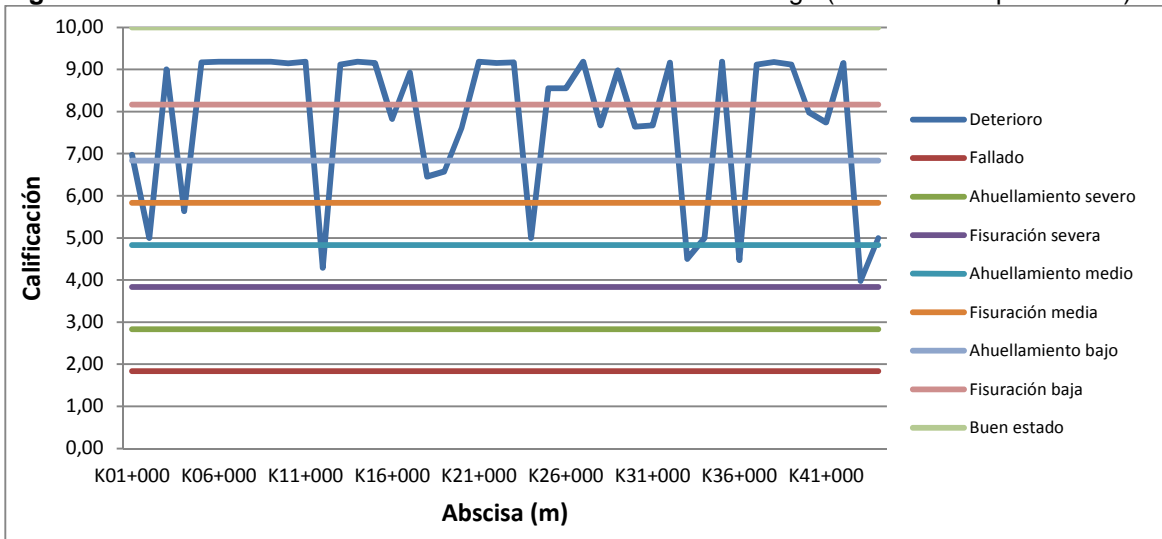


Figura 5-68: Resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

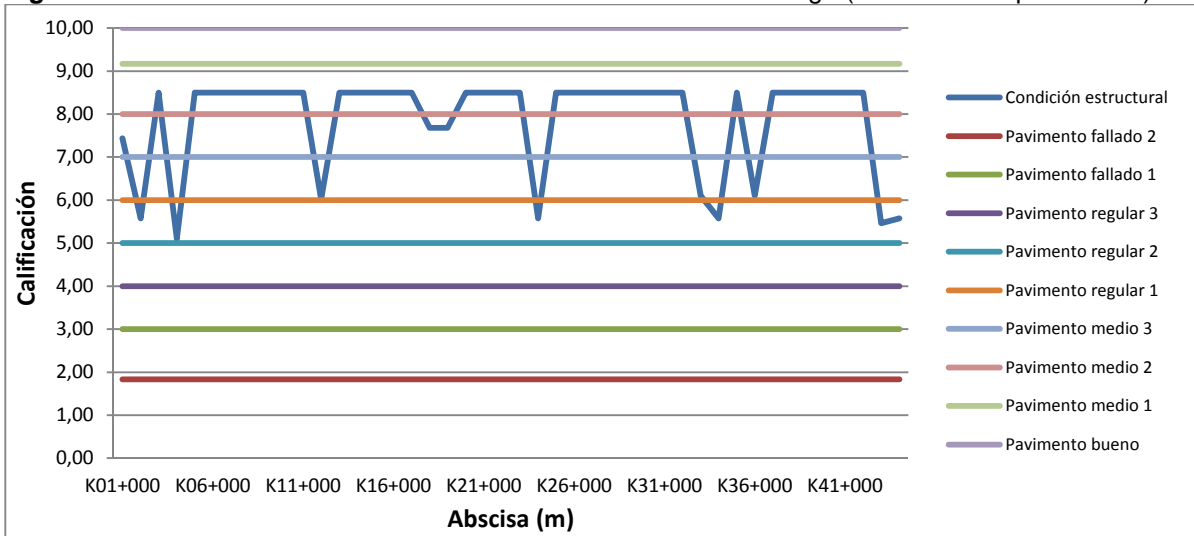
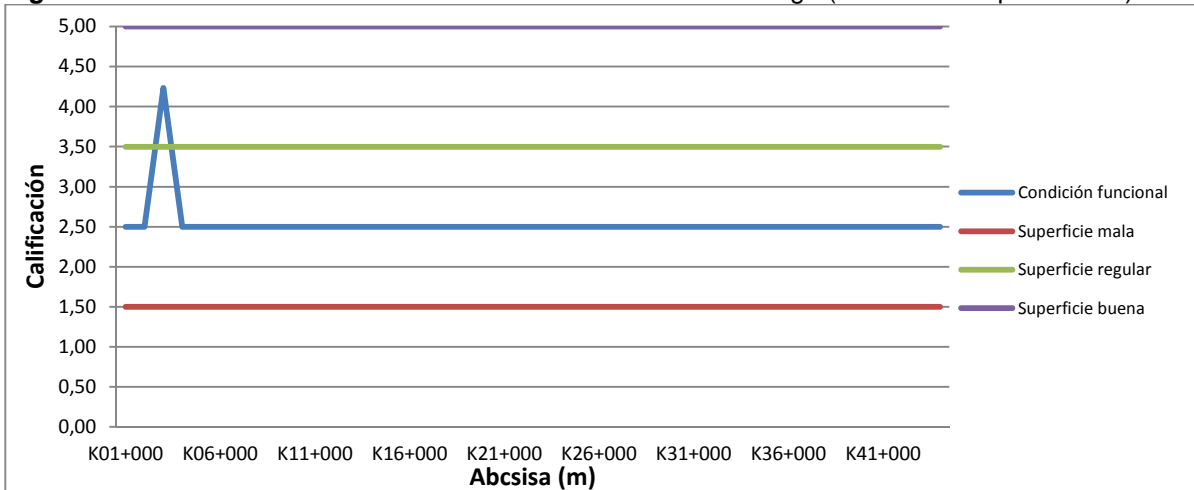


Figura 5-69: Resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

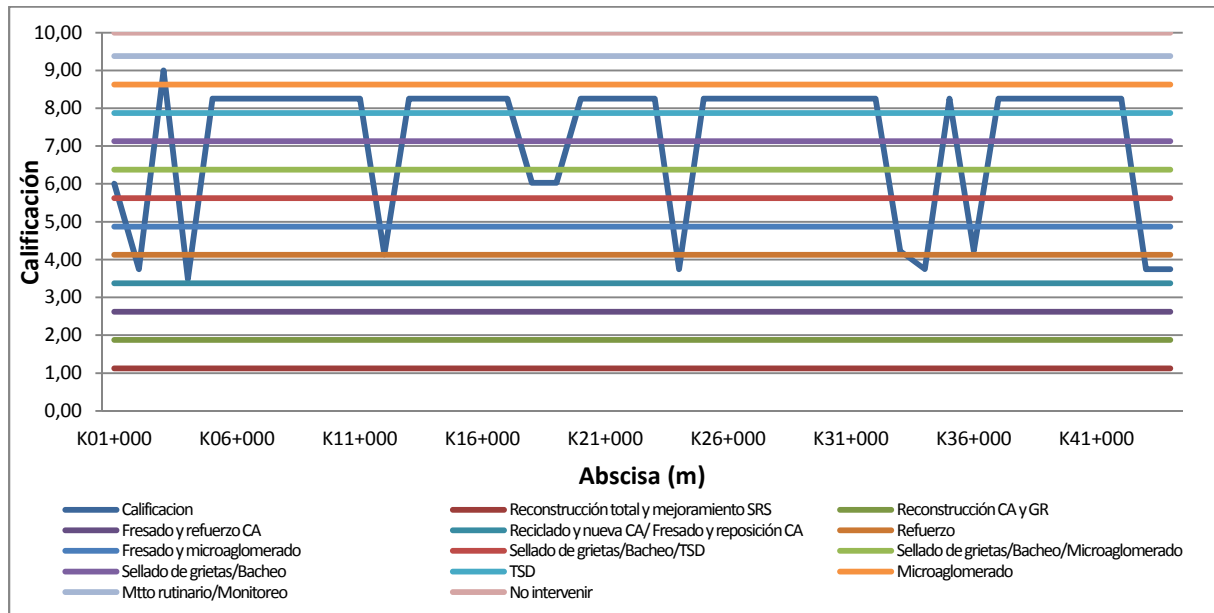


De las gráficas anteriores se observó que los resultados de la evaluación estructural estuvieron determinados por la condición de deterioro, ya que la rigidez es principalmente media a lo largo del todo el tramo. Los resultados de deterioro mostraron una variación importante, lo cual influyó directamente en los resultados de la evaluación estructural.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue uniforme a lo largo de todo el tramo, con calificaciones de superficie regular. Solo se presentó una excepción en el sector comprendido entre el K2+000 y el K3+000, con calificación de superficie buena.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-70 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo D se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-70: Resultados decisión vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).



En la gráfica anterior se puede apreciar que los resultados de intervenciones recomendadas para la vía fueron variables, obteniendo principalmente intervenciones funcionales (microaglomerado con otras actividades como bacheo y sellado de grietas) con sectores intermedios que requieren intervenciones estructurales, principalmente la colocación de un refuerzo de la carpeta existente.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

Con base en los resultados obtenidos de la condición del pavimento utilizando el sistema propuesto, fue posible determinar sectores de comportamiento homogéneo a lo largo de la vía. Este tipo de análisis es de vital importancia en la gestión vial, ya que facilita las labores de seguimiento del comportamiento de los tramos y optimiza las intervenciones y trabajos necesarios.

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Armenia – Cartago para los resultados obtenidos.

Para el caso de esta vía, no se utilizaron las calificaciones de rigidez y funcional para el análisis de secciones homogéneas, ya que estos resultados fueron uniformes a lo largo de toda la vía. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-71: Diferencias acumuladas por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

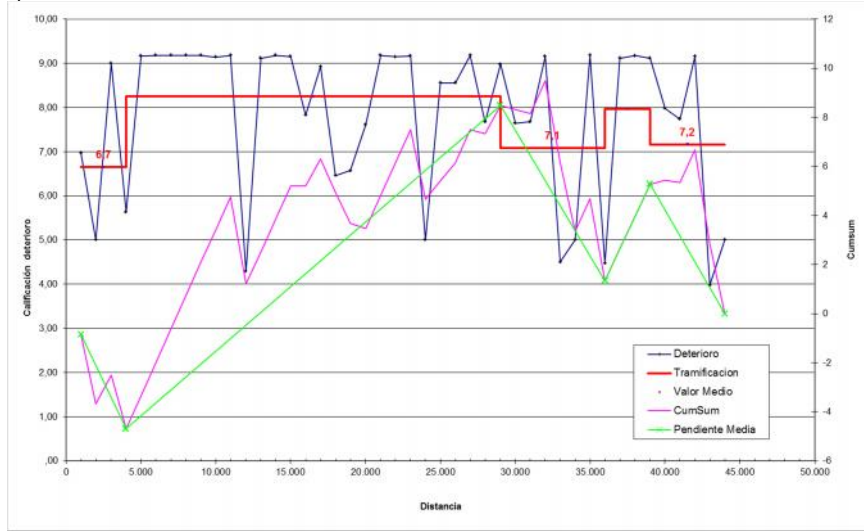


Tabla 5-17: Sectores homogéneos por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K4+000	4.000	6,7	1,8	0,27
K4+000	K29+000	25.000	8,2	1,5	0,18
K29+000	K36+000	7.000	7,1	2,1	0,30
K36+000	K39+000	3.000	8,0	2,3	0,29
K39+000	K44+000	5.000	7,2	2,2	0,30

Figura 5-72: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

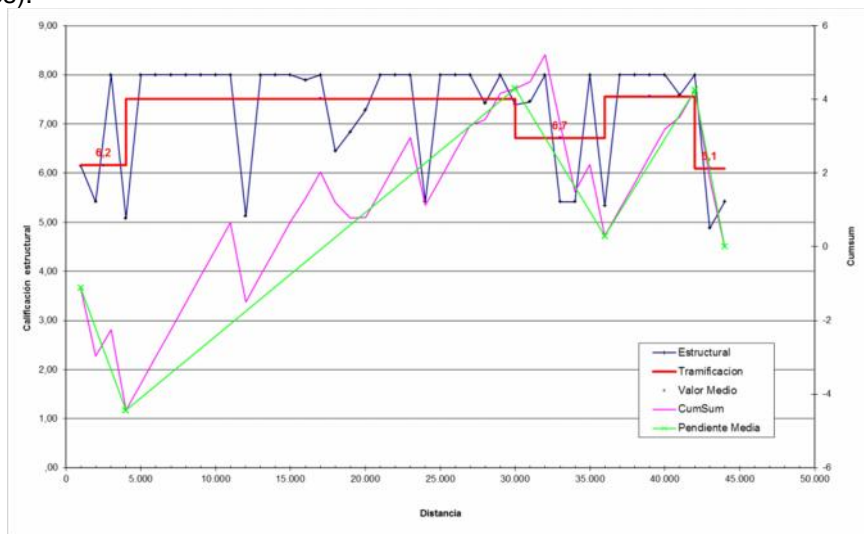
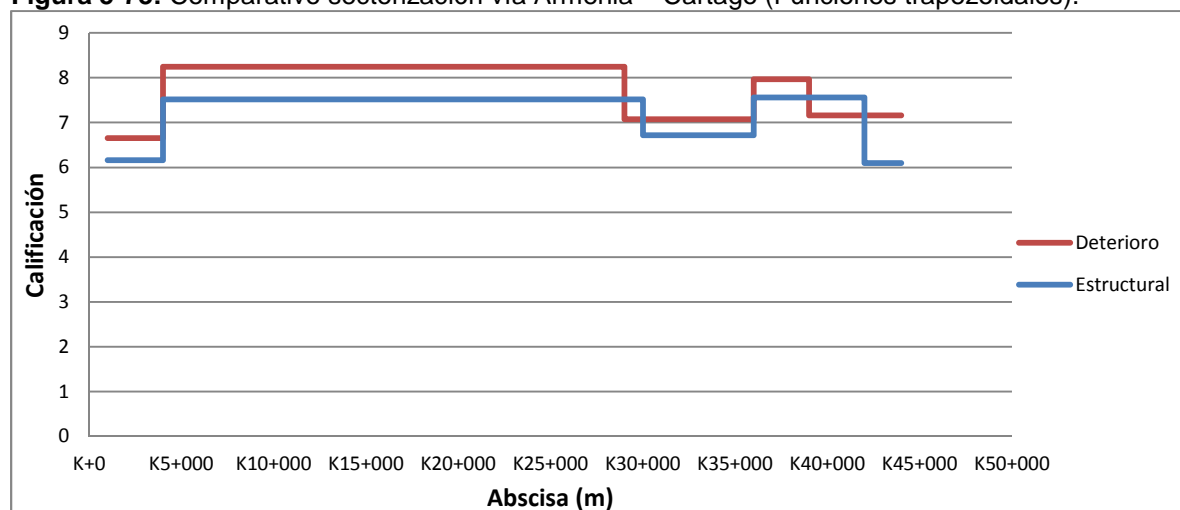


Tabla 5-18: Sectores homogéneos por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).

Abscisa Inicial	Abscisa Inicial	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K4+000	4.000	6,2	1,3	0,21
K4+000	K30+000	26.000	7,5	0,9	0,12
K30+000	K36+000	6.000	6,7	1,3	0,19
K36+000	K42+000	6.000	7,6	1,0	0,13
K42+000	K44+000	2.000	6,1	1,7	0,27

En la Figura 5-73 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-73: Comparativo sectorización vía Armenia – Cartago (Funciones trapezoidales).



La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural fue similar hasta el K36+000. En el tramo final (K36+000 – K44+000) se obtuvieron dos sectores homogéneos para cada criterio, los cuales difirieron en la longitud, siendo más uniforme los obtenidos por deterioro. Se observa gran similitud en la sectorización obtenida, con lo que se puede concluir que los resultados obtenidos del modelo ofrecen gran precisión y representatividad con relación a los parámetros medidos en el pavimento.

5.4.2 Funciones triangulares

De la Figura 5-74 a la Figura 5-77 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo D se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-74: Resultados evaluación rigidez vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

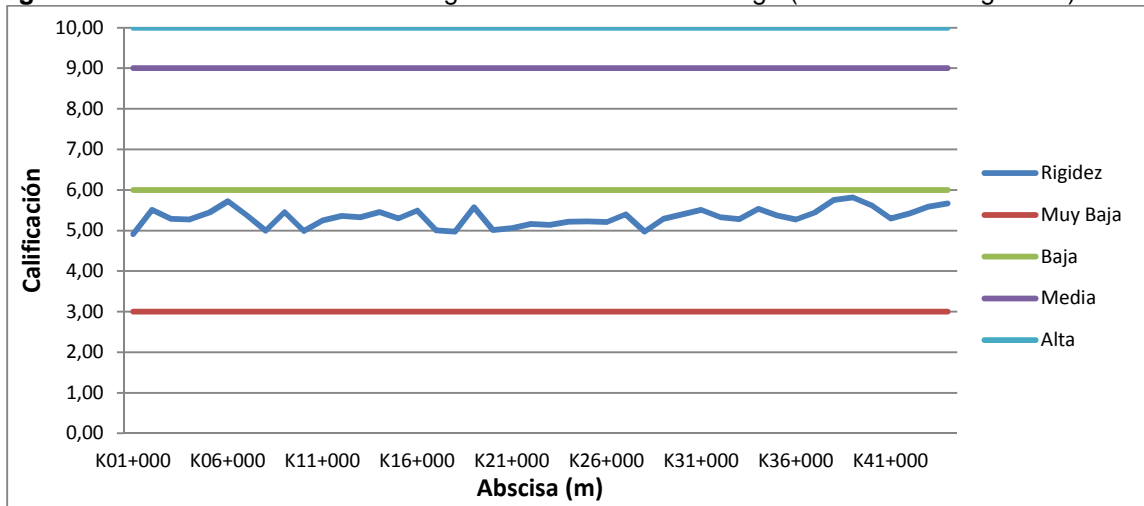


Figura 5-75: Resultados evaluación deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

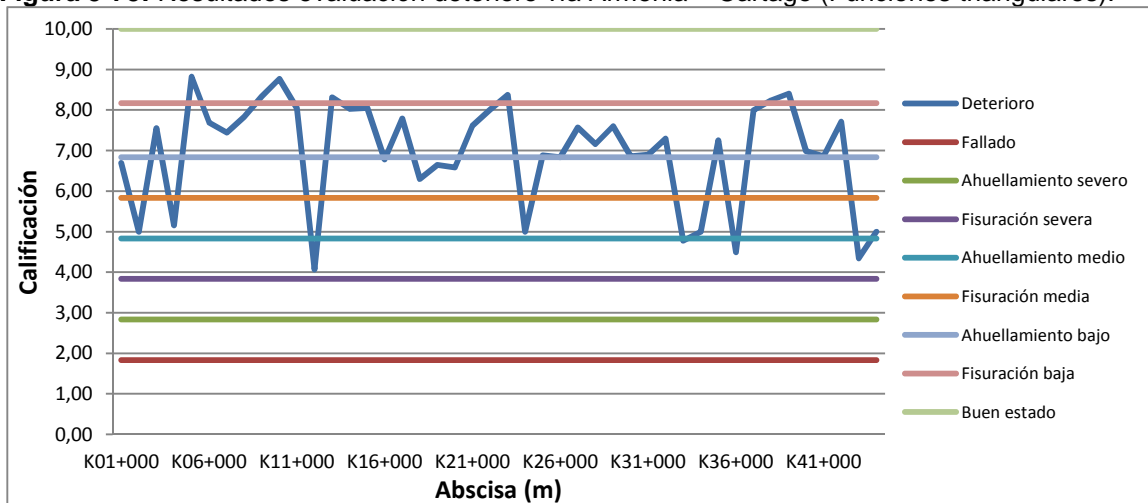


Figura 5-76: Resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

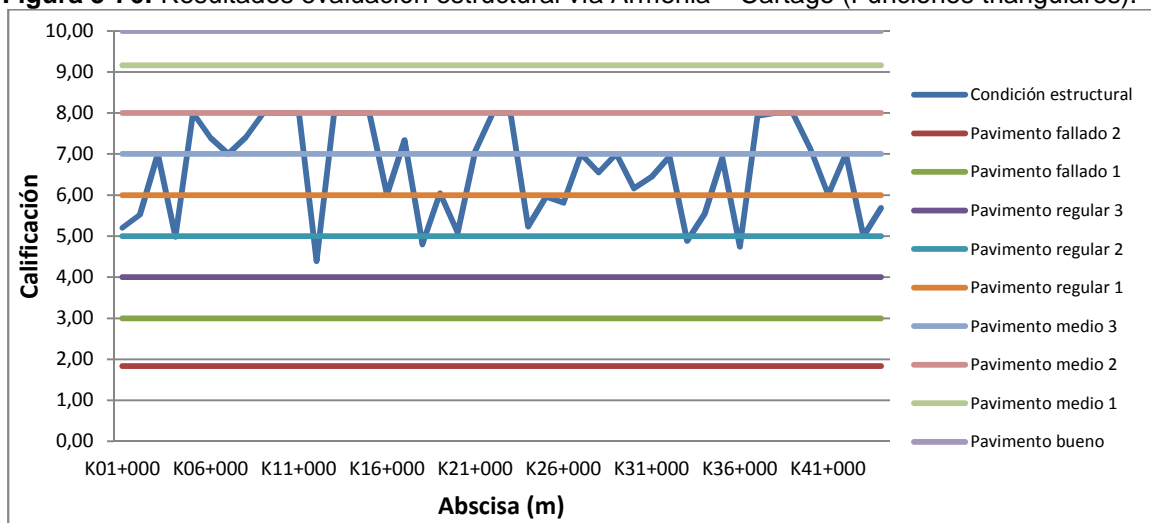
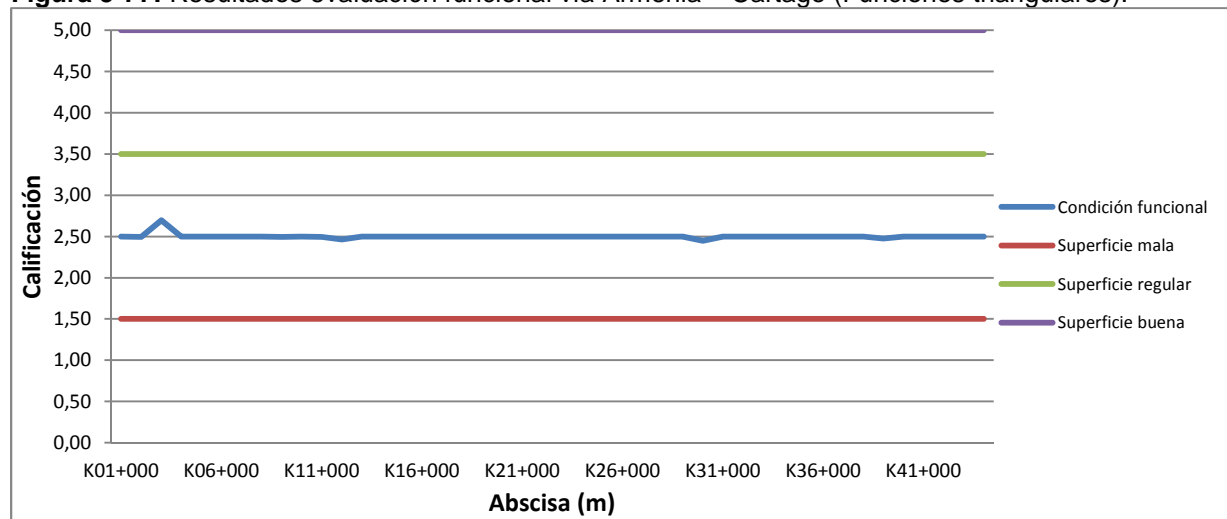


Figura 5-77: Resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

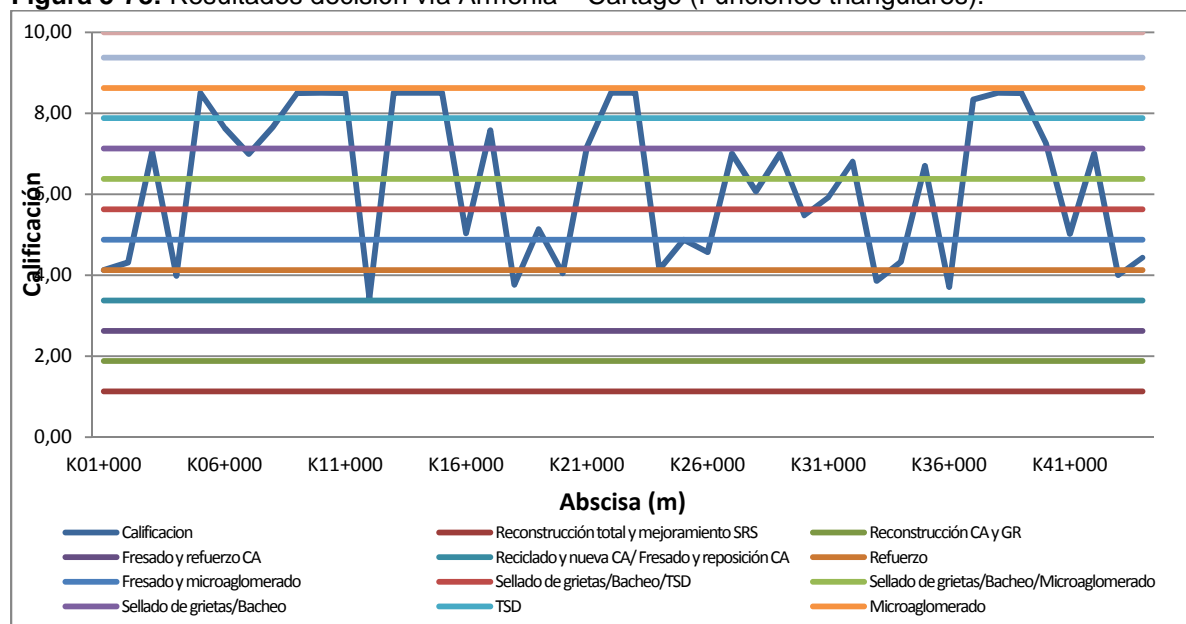


De las gráficas anteriores se puede apreciar que al igual que con las funciones trapezoidales, el comportamiento de la evaluación por rigidez fue uniforme, pero en este caso, la clasificación de rigidez es baja. De igual forma, los resultados de la evaluación estructural estuvieron influenciados principalmente por la variación en la condición de deterioro.

Con relación a la evaluación funcional, la condición fue igualmente uniforme, con valores cercanos a 2,50.

Con base en los resultados anteriores, se evalúa mediante el $SID_{decisión}$ las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-78 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo D se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-78: Resultados decisión vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).



En la gráfica anterior se observa que los resultados de las intervenciones presentaron una mayor variabilidad con relación a los obtenidos con funciones trapezoidales. En este caso se obtuvieron más sectores que requieren intervenciones tipo refuerzo.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Alcalá - Pereira, con los resultados obtenidos con las funciones triangulares.

Para el caso de esta vía, no se utilizaron las calificaciones de rigidez y funcional para el análisis de secciones homogéneas, ya que estas no presentaron una variación apreciable. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-79: Diferencias acumuladas por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

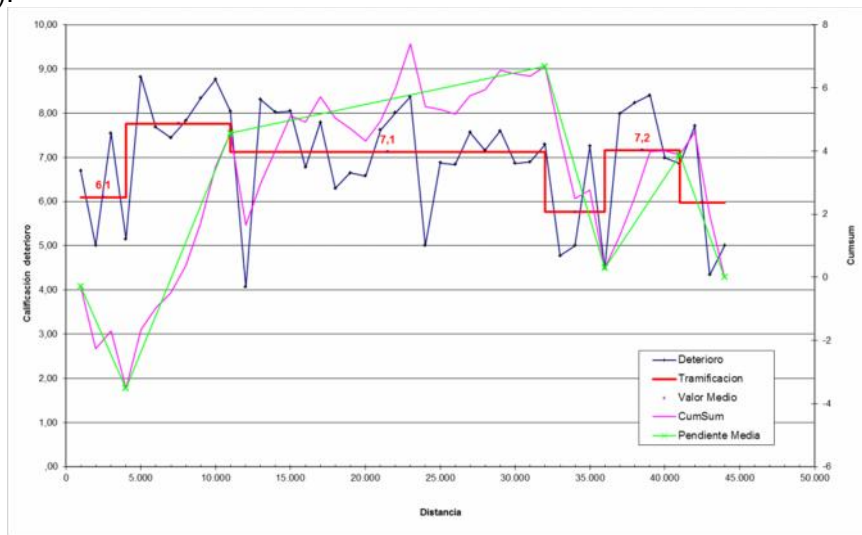


Tabla 5-19: Sectores homogéneos por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K4+000	4.000	6,1	1,2	0,20
K4+000	K11+000	7.000	7,8	1,2	0,15
K11+000	K32+000	21.000	7,1	1,0	0,15
K32+000	K36+000	4.000	5,8	1,4	0,24
K36+000	K41+000	5.000	7,2	1,5	0,20
K41+000	K44+000	3.000	6,0	1,6	0,26

Figura 5-80: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

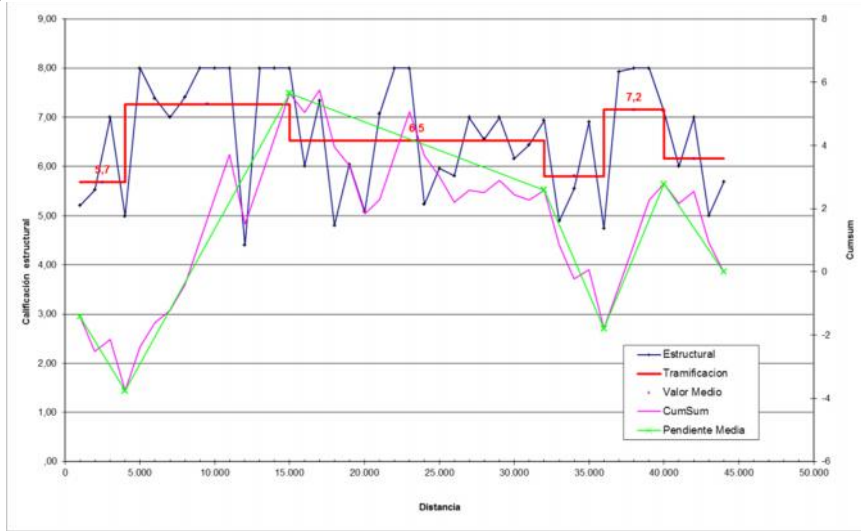
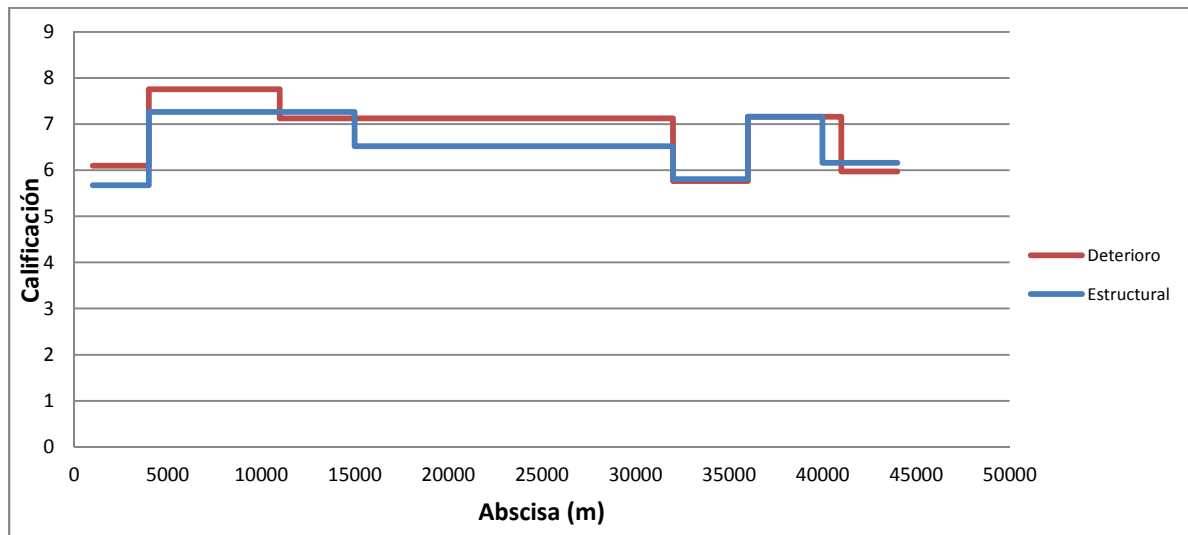


Tabla 5-20: Sectores homogéneos por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K4+000	4.000	5,7	0,9	0,16
K4+000	K15+000	11.000	7,3	1,3	0,17
K15+000	K32+000	17.000	6,5	1,0	0,15
K32+000	K36+000	4.000	5,8	1,1	0,18
K36+000	K40+000	4.000	7,2	1,4	0,20
K40+000	K44+000	4.000	6,2	0,9	0,15

En la Figura 5-81 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-81: Comparativo sectorización vía Armenia – Cartago (Funciones triangulares).



La sectorización obtenida por la calificación de deterioro y estructural difirió entre el K4+000 y el K32+000, así como entre el K36+000 y el K44+000, donde se obtuvo el mismo número de sectores con distinta longitud. . Se observa gran similitud en la sectorización obtenida, con lo que se puede concluir que los resultados obtenidos del modelo ofrecen gran precisión y representatividad con relación a los parámetros medidos en el pavimento.

5.4.3 Funciones combinadas

De la Figura 5-82 a la Figura 5-85 se presentan los resultados para cada uno de los SID's diseñados. En el Anexo D se muestran las tablas con la información completa con los datos de entrada y resultados para cada sector de 1 km de longitud.

Figura 5-82: Resultados evaluación rigidez vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

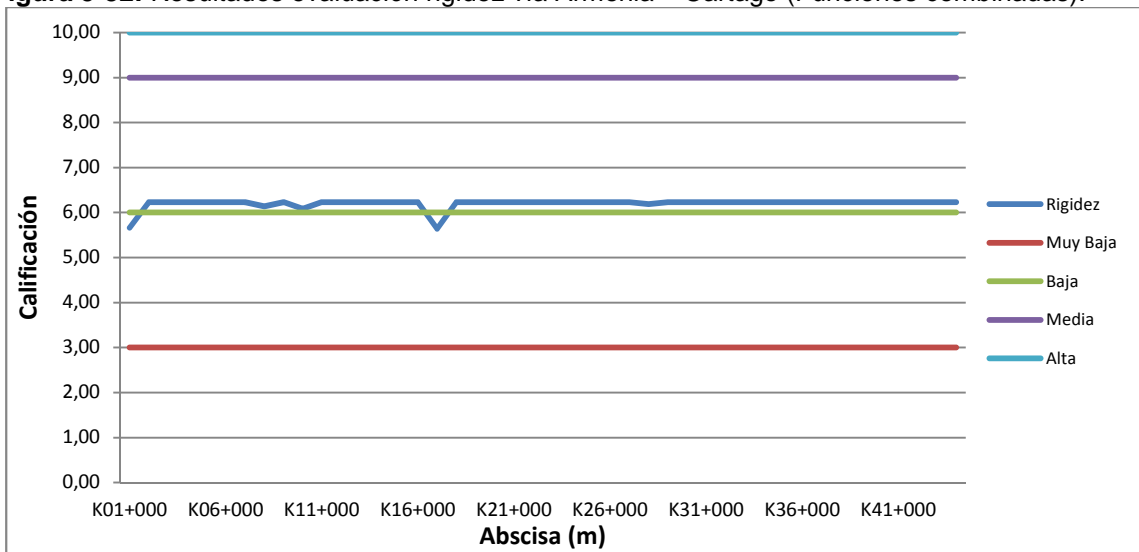


Figura 5-83: Resultados evaluación deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

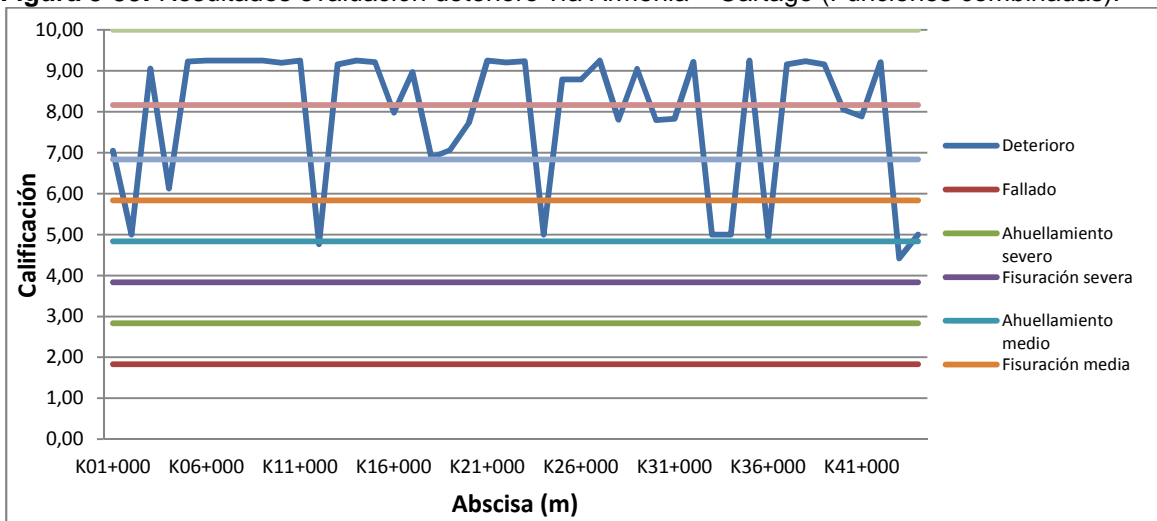


Figura 5-84: Resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

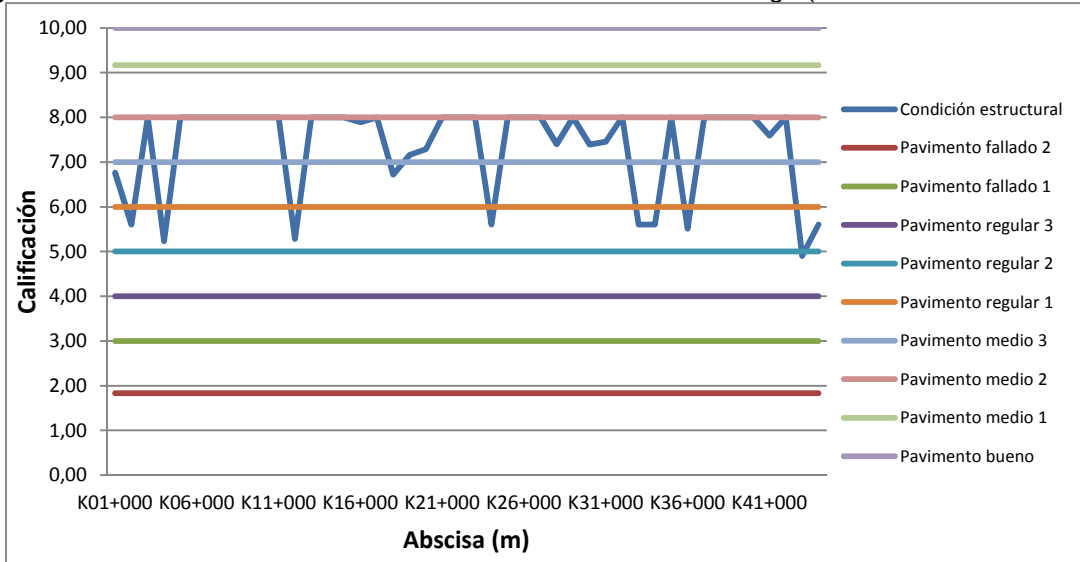
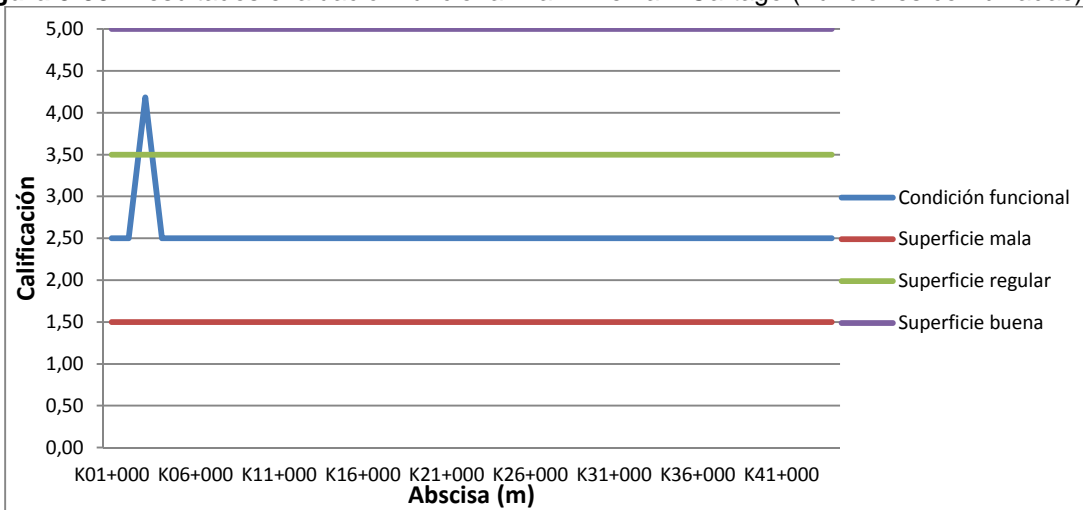


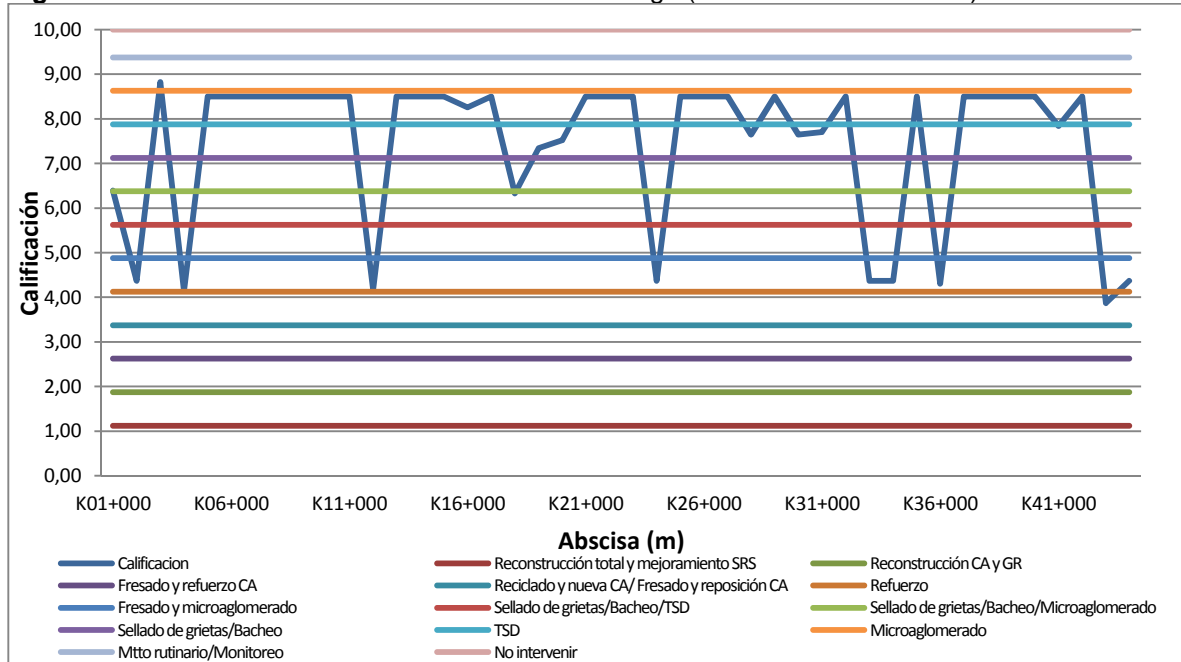
Figura 5-85: Resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).



De las gráficas anteriores se puede apreciar que para el uso de las funciones combinadas, el comportamiento de la evaluación por rigidez y funcional fue similar a cuando se usan funciones de una sola forma, es decir, con poca variación en los resultados. Los resultados de la evaluación estructural estuvieron determinados por la condición de deterioro, con valores que oscilan entre 5 y 8.

Con base en los resultados anteriores, se evaluó mediante el SID_{decisión} las alternativas para cada sector de 1 km de longitud. En la Figura 5-86 se presentan las calificaciones totales obtenidas. En el Anexo D se muestran los resultados completos de intervenciones recomendadas para cada kilómetro.

Figura 5-86: Resultados decisión vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).



Para el uso de funciones combinadas, los resultados fueron iguales a los obtenidos con funciones trapezoidales, donde se dieron menos sectores que requirieron intervenciones de refuerzo y se obtuvieron sectores más largos de vía con intervención para restaurar la buena condición funcional.

▪ **Análisis de sectores homogéneos**

A continuación se presenta el análisis de sectores homogéneos para la vía Alcalá - Pereira, con los resultados obtenidos con las funciones triangulares.

Para el caso de esta vía, no se utilizaron la calificación de rigidez y funcional para el análisis de secciones homogéneas, ya que estas presentaron un comportamiento uniforme. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Figura 5-87: Diferencias acumuladas por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

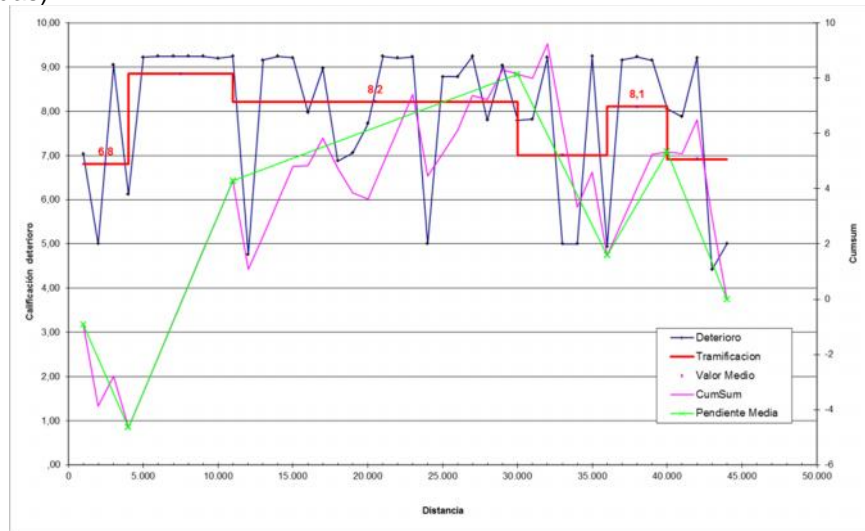


Tabla 5-21: Sectores homogéneos por deterioro vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K4+000	4.000	6,8	1,7	0,25
K4+000	K11+000	7.000	8,8	1,1	0,12
K11+000	K30+000	19.000	8,2	1,4	0,17
K30+000	K36+000	6.000	7,0	2,0	0,28
K36+000	K40+000	4.000	8,1	1,8	0,23
K40+000	K44+000	4.000	6,9	2,1	0,30

Figura 5-88: Diferencias acumuladas por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

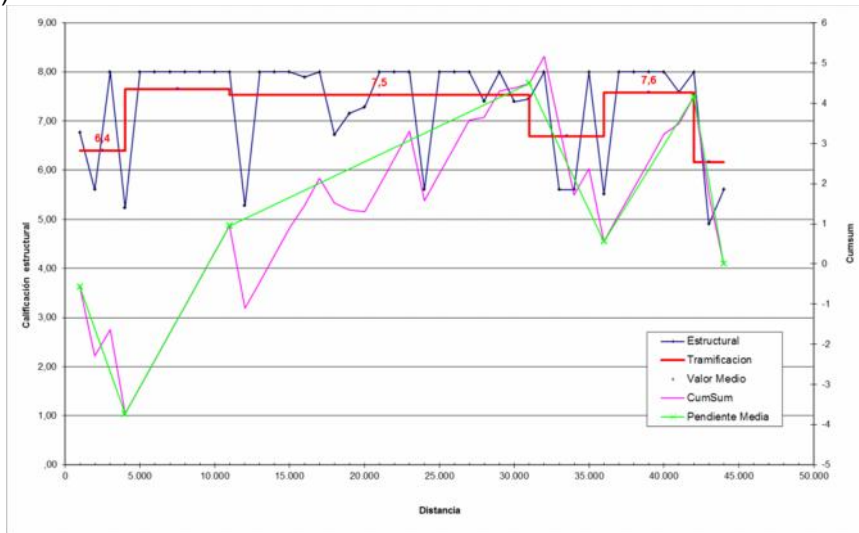
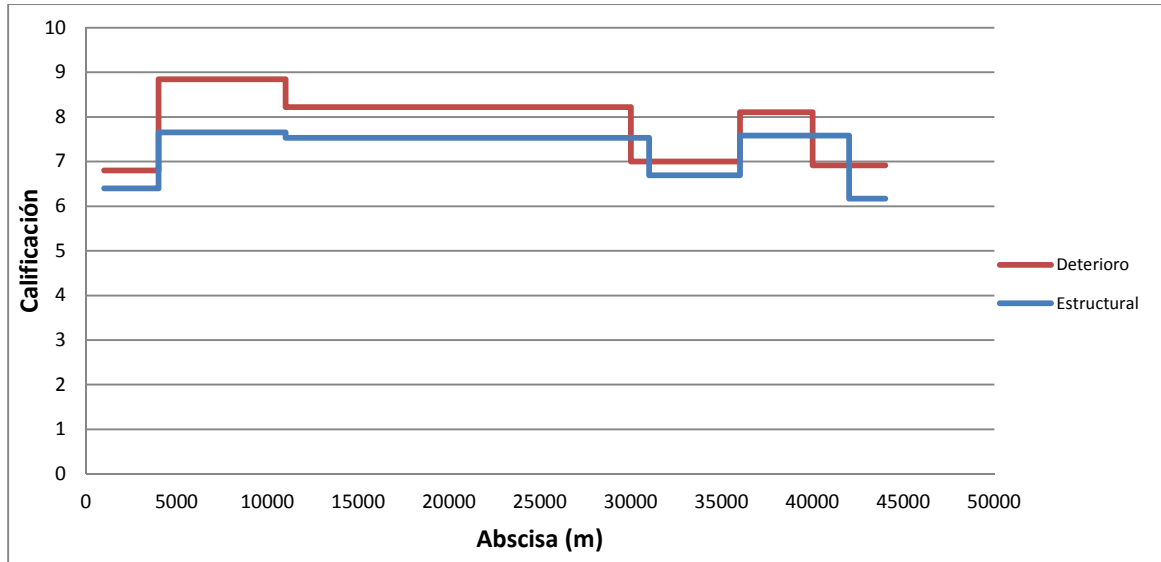


Tabla 5-22: Sectores homogéneos por condición estructural vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud (m)	Valor Medio	Desv. típica	Coefficiente de variación
K0+000	K4+000	4.000	6,4	1,3	0,20
K4+000	K11+000	7.000	7,7	1,0	0,13
K11+000	K31+000	20.000	7,5	0,8	0,10
K31+000	K36+000	5.000	6,7	1,2	0,19
K36+000	K42+000	6.000	7,6	0,9	0,12
K42+000	K44+000	2.000	6,2	1,6	0,26

En la Figura 5-89 se presenta la comparación de la sectorización obtenida para cada uno de los criterios evaluados.

Figura 5-89: Comparativo sectorización vía Armenia – Cartago (Funciones combinadas).

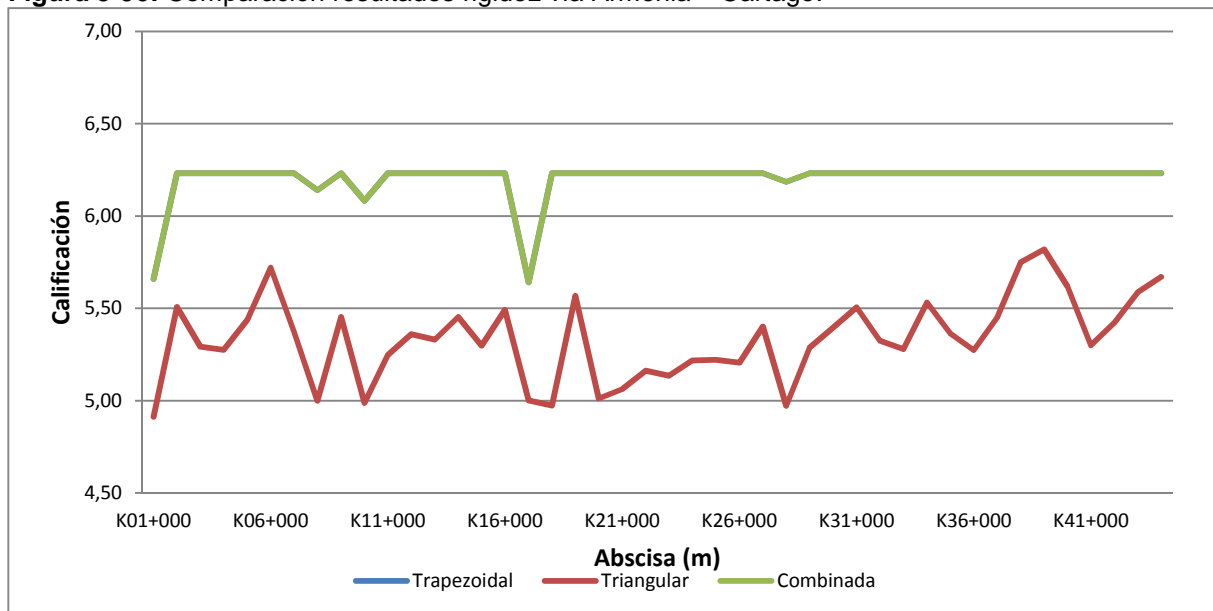


La sectorización obtenida fue igual hasta el K30+000, abscisa a partir de la cual se obtuvieron el mismo número de sectores homogéneos, con diferentes longitudes. Se observa gran similitud en la sectorización obtenida, con lo que se puede concluir que los resultados obtenidos del modelo ofrecen gran precisión y representatividad con relación a los parámetros medidos en el pavimento.

5.4.4 Comparación de resultados

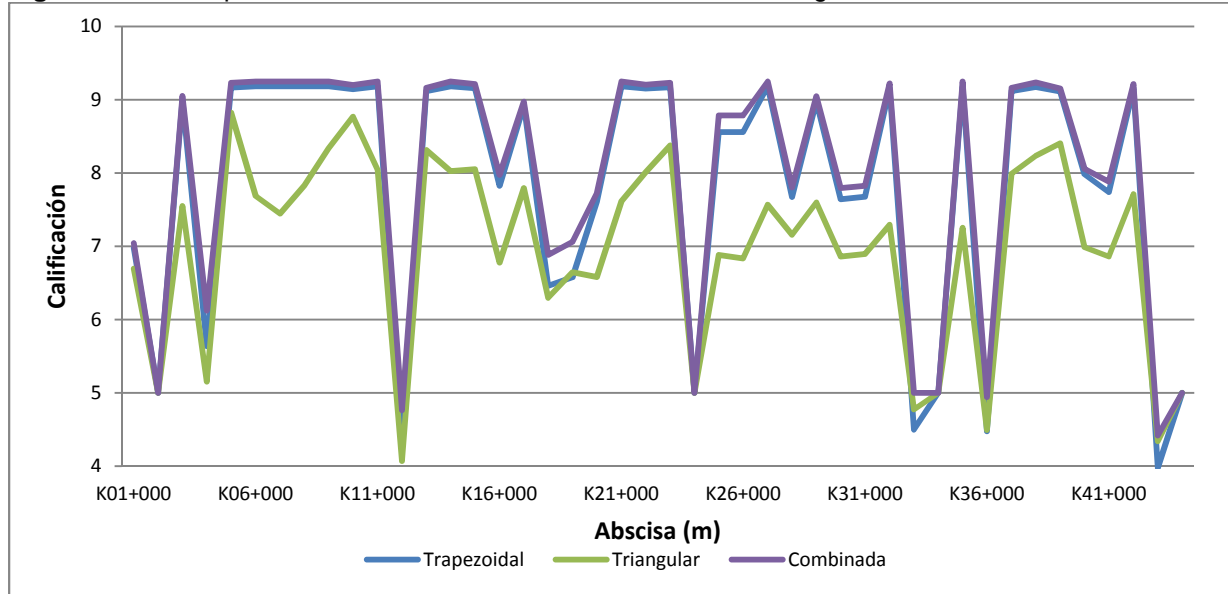
A continuación se realiza la comparación de los resultados obtenidos con los SID evaluados, haciendo énfasis en la influencia de los tres tipos de funciones de pertenencia empleadas: trapezoidal, triangular y combinada. Inicialmente se presentan los resultados de rigidez.

Figura 5-90: Comparación resultados rigidez vía Armenia – Cartago.



En la evaluación de la rigidez del pavimento, se obtuvieron resultados similares para las funciones trapezoidales y combinadas, con una baja dispersión en los valores, oscilando entre 5,64 y 6,23; cabe destacar que en la mayor parte de la vía, la calificación fue de 6,23. Cuando se emplearon las funciones triangulares, los valores fueron más heterogéneos, aunque su dispersión también es baja, oscilando entre 4,91 y 5,82. En esta vía, la clasificación por rigidez obtenida por las funciones triangulares fue más conservadora (baja), mientras que para las funciones trapezoidales y combinadas fue media. En la Figura 5-91 se muestra la comparación para los resultados de deterioro.

Figura 5-91: Comparación resultados deterioro vía Armenia – Cartago.



En la evaluación de deterioro del pavimento, se observó que los resultados obtenidos con las diferentes funciones de pertenencia presentaron alta variación, con intercalación de sectores en buen y mal estado. Los resultados obtenidos con funciones trapezoidales y combinadas fueron mayores y con una tendencia similar entre ellos. Al igual que la calificación por rigidez, las funciones triangulares fueron más conservadoras, con menores calificaciones por deterioro en la mayoría de la vía evaluada. En la Figura 5-92 se muestra la comparación para los resultados de deterioro.

En la evaluación estructural se observó que las mayores calificaciones por condición estructural se obtuvieron con la evaluación de funciones trapezoidales. Las funciones combinadas dieron como resultado valores intermedios, con la misma tendencia que la trapezoidal y poca variación. Los resultados con funciones triangulares fueron los más conservadores, con una variación importante con relación a las funciones trapezoidales, especialmente entre el K16+000 y el K32+000. De igual forma, para las funciones triangulares, se apreció una variación del comportamiento a lo largo del tramo, con cambios en la calificación entre sectores adyacentes. En la Figura 5-93 se muestra la comparación para los resultados de deterioro.

Figura 5-92: Comparación resultados evaluación estructural vía Armenia – Cartago.

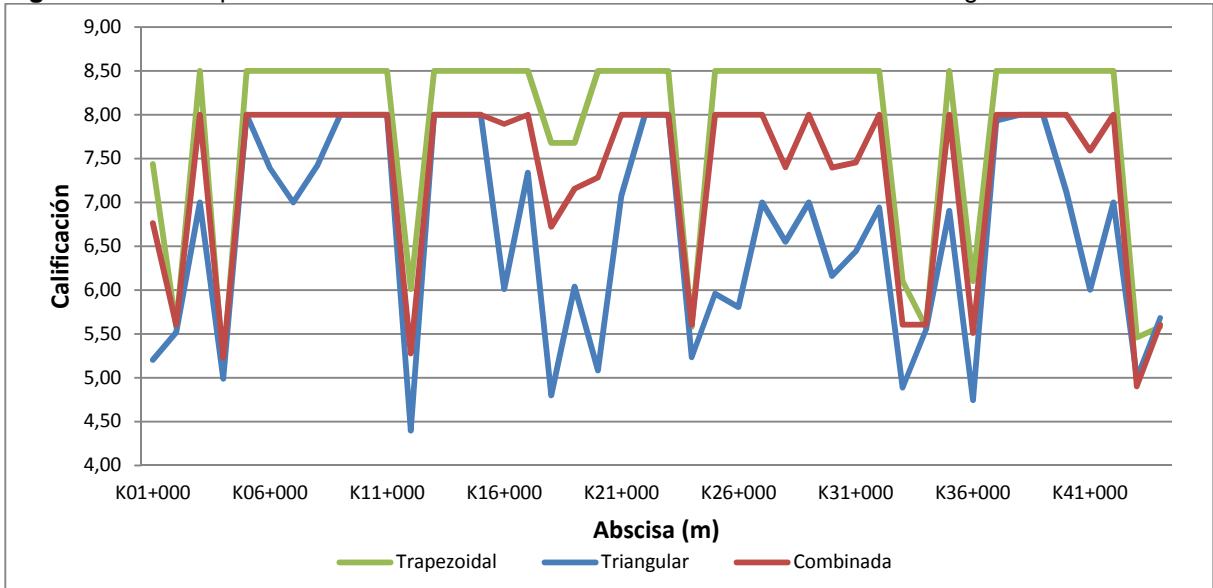
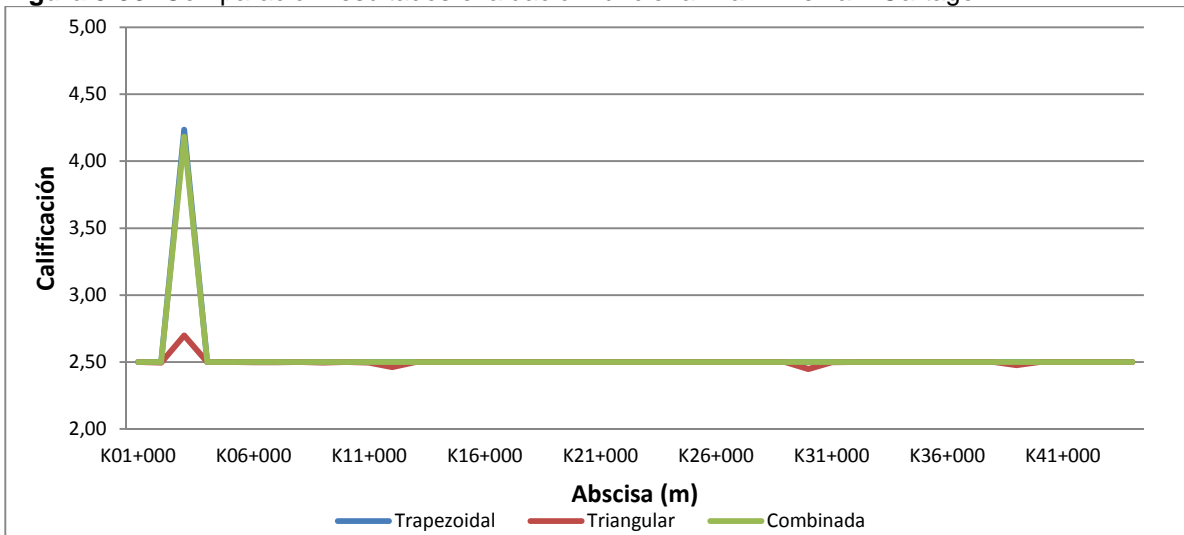
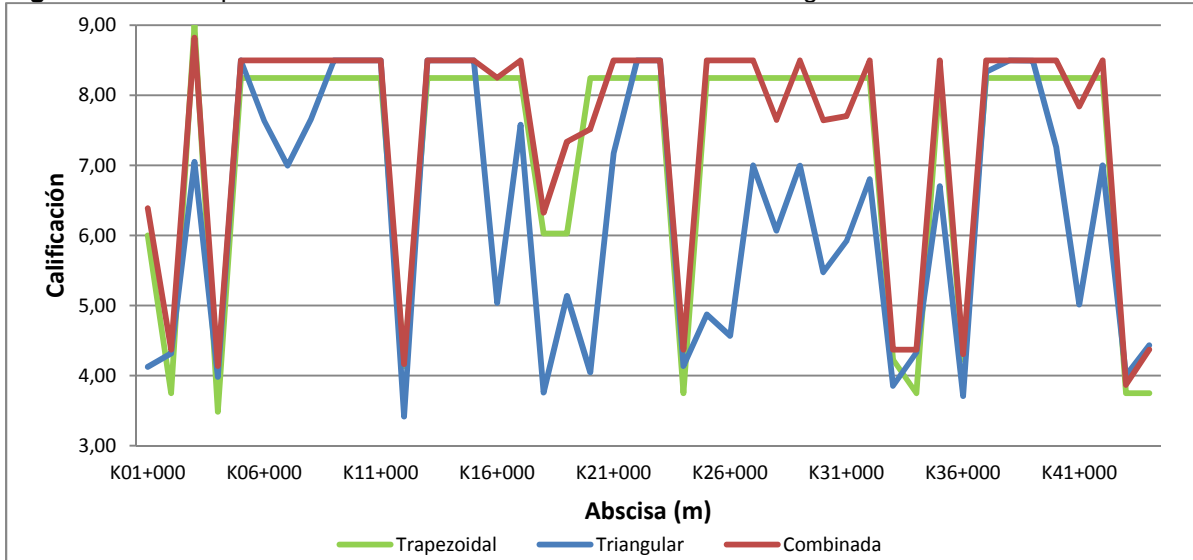


Figura 5-93: Comparación resultados evaluación funcional vía Armenia – Cartago.



Para este caso la calificación obtenida para todas las funciones presentó una variación mínima, con excepción del K3+000, donde la evaluación con funciones trapezoidales y combinadas da una superficie buena, mientras que el uso de funciones trapezoidales dio como resultado una condición de superficie regular. En este punto la variación de la calificación fue de 1,48; mientras que para el resto del tramo no superó 0,04. En la Figura 5-94 se muestra la comparación para los resultados de deterioro.

Figura 5-94: Comparación resultados decisión vía Armenia – Cartago.



Los resultados del SID decisión, enfocados a definir las estrategias de intervención requeridas para los sectores de vía evaluados, presentaron una alta variabilidad, con la mayoría de recomendaciones enfocadas a restaurar la condición o estado funcional de la vía. En esta vía se mantuvo la tendencia de menores calificaciones para el SID con funciones triangulares, lo que arrojó mayores intervenciones tendientes a mejorar la condición estructural del pavimento.

En el sector intermedio de la vía (K4+000 – K32+000) predominaron las intervenciones funcionales (microaglomerado, sellado de grietas, bacheo), con sectores intermedios requiriendo intervención estructural. Para el caso de las funciones triangulares, se obtuvieron dos sectores de deficiencia estructural; mientras que para las demás funciones, se obtuvieron solo dos. De los 44 sectores de 1 km evaluados, en 37 se obtuvo concordancia en las estrategias propuestas, es decir, con los tres tipos de funciones empleadas se recomendó el mismo tipo de intervención (estructural o funcional). Esto representó aproximadamente el 84% de la vía. En los 7 sectores restantes (16%) se obtuvieron diferencias en las intervenciones propuestas para cada tipo de función, con tendencia de resultado similar para las funciones trapezoidales y combinadas. El sistema con funciones triangulares arrojó resultados más conservadores en la evaluación, y por ende, se refleja en solicitud de mayores intervenciones en el pavimento.

5.5 Análisis de la sectorización obtenida

A continuación se presenta una comparación de los resultados obtenidos en la sectorización de cada una de las vías, por las diferentes funciones de pertenencia seleccionadas.

Tabla 5-23: Comparación sectorización Hoyo rico - Caucasia

Criterio evaluado	Número de sectores		
	Trapezoidal	Triangular	Combinada
Deterioro	10	7	8
Estructural	5	7	8
Funcional	5	6	6

Tabla 5-24: Comparación sectorización Alcalá - Pereira

Criterio evaluado	Número de sectores		
	Trapezoidal	Triangular	Combinada
Deterioro	3	4	5
Estructural	4	4	5

Tabla 5-25: Comparación sectorización Armenia - Cartago

Criterio evaluado	Número de sectores		
	Trapezoidal	Triangular	Combinada
Deterioro	5	6	6
Estructural	5	6	6

De los resultados presentados en las tablas anteriores, se observa que para el número de sectores obtenidos es muy similar cuando se emplea el mismo criterio, con excepción de la evaluación por deterioro para la vía Hoyo rico – Caucasia. Para los demás casos, la variación presentada es de +/- un sector homogéneo. Se presentó mayor coincidencia en los resultados de las funciones triangulares y combinada, existiendo mayor variación en el resultado cuando se sectorizó con los resultados de la evaluación por funciones trapezoidales. Se puede concluir que los resultados presentan un excelente nivel de confiabilidad para efectos de evaluación de pavimentos.

6 Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló una herramienta computacional basada en los principios y fundamentos de la Lógica Difusa, que permitió la evaluación de la condición estructural y funcional de pavimentos flexibles en servicio, y la definición de las estrategias de mantenimiento e intervención más convenientes, de acuerdo al estado existente del pavimento.

La revisión de la literatura nacional e internacional sobre gestión de pavimentos permitió la identificación de las variables más importantes y más utilizadas para evaluar la condición estructural y funcional. Con el fin de manejar dichas variables, tanto cuantitativas como cualitativas, se logró definir rangos de comportamiento y clasificaciones, adaptadas al medio colombiano.

El modelo de gestión propuesto permitió integrar la información de los parámetros estructurales y funcionales de pavimentos flexibles más utilizados en el medio colombiano, en un sistema de gestión capaz de identificar las capas del pavimento que presentan deficiencias. A partir de este resultado, se definieron las intervenciones más usuales en nuestro medio, expresadas en forma lingüística y numérica, según el tipo de problema existente en el pavimento y enfocada a la capa del pavimento que presenta daño estructural o funcional.

El algoritmo desarrollado en el programa MATLAB®, permitió el manejo de una base de datos con información proveniente de ensayos no destructivos del pavimento, con gran rapidez y excelentes niveles de confiabilidad; de esta forma, se logra la optimización de los recursos empleados en el proceso de toma de decisiones de mantenimiento y conservación de pavimentos. Se destaca la ventaja que ofrece este tipo de modelos, en cuanto a la posibilidad de adicionar o eliminar parámetros que se consideren importantes o irrelevantes para ciertos casos de aplicación.

El modelo de gestión propuesto consistió en cinco sistemas de inferencia difusos (SID), para la evaluación de la rigidez, deterioro, condición estructural, condición funcional y toma de decisión de intervención. Con el propósito de aplicar dichos sistemas, se tomó como caso de estudio tres vías ubicadas en el centro de Colombia con información disponible de mediciones estructurales y funcionales: Hoyo rico – Cauca, Alcalá – Pereira y Armenia - Cartago. Para efectos de comparación de resultados, se trabajaron con tres tipos de funciones de pertenencia para los SID: trapezoidales, triangulares y combinadas (combinación de las dos primeras).

Para las vías estudiadas, la evaluación de condición por rigidez con funciones de pertenencia trapezoidal y combinadas, dio resultados muy similares, con clasificaciones uniformes (generalmente bajas) y poca dispersión en los resultados a lo largo de la vía. Cuando se usaron funciones triangulares, los resultados presentaron mayor dispersión, obteniendo una calificación por rigidez que oscila entre media y baja.

En la evaluación por condición de deterioro, se obtuvieron resultados variables en la calificación. La base de esta fueron los daños superficiales, que mostraron una variación considerable a lo largo de la vía, lo cual logró ser capturado de manera bastante precisa en esta evaluación. Para este caso, la diferencia entre las funciones de pertenencia utilizadas radica en que con las funciones triangulares se obtuvieron valores menores de la calificación comparada con las funciones trapezoidales y combinadas.

En todas las vías evaluadas, la calificación estructural (que resulta de la combinación de la rigidez y el deterioro) estuvo determinada por los resultados del deterioro, ya que como se anotó anteriormente, los resultados de la rigidez fueron principalmente uniformes. Por lo tanto, la variación de la calificación estructural a lo largo del tramo fue similar en comportamiento a la que se obtuvo por deterioro y la tendencia en los valores fue igual; es decir, con las funciones triangulares se obtienen los valores menores.

La poca sensibilidad en los resultados de la rigidez, parece estar asociada con los rangos dentro de los cuales se registraron las deflexiones y demás parámetros derivados, en los casos de estudio analizados. Al parecer estas mediciones reflejan unos umbrales muy estrechos, con tendencia a reflejar desempeños medios a bajos, según los referentes internacionales aplicados para este trabajo final. Se optó por asumir estos referentes, por considerar que manejan estándares más exigentes a los de nuestro medio.

En cuanto a la calificación funcional, el parámetro de regularidad (IRI) fue el de mayor incidencia, debido a que se tienen pocos daños de carácter funcional en los pavimentos evaluados. La tendencia general fueron calificaciones de superficie regular por este concepto, con excepción de la vía Hoyo rico – Caucasia, en la cual se tuvieron calificaciones de superficie buena en los tramos comprendidos entre el K0+000 – K50+000 y el K150+000 – K222+000, especialmente cuando se emplearon las funciones trapezoidal y combinada. Se confirmó la tendencia de menores calificaciones con el empleo de funciones triangulares en esta evaluación.

En la definición de las estrategias de intervención del pavimento (basada en los resultados de la condición estructural y funcional) se obtuvieron resultados de gran variación para las vías Hoyo rico – Caucasia y Armenia – Cartago, con predominio de secciones con intervención encaminada a restaurar la condición funcional, intercaladas con secciones de deficiencia a nivel estructural. Para la vía Alcalá – Pereira, la condición predominante fue la de baja capacidad estructural, por lo que las intervenciones obtenidas fueron del tipo refuerzo de la carpeta, principalmente. Se concluye que con las funciones triangulares se obtuvieron resultados más conservadores o pesimistas, es decir, se tuvieron calificaciones menores que demandaron intervenciones de carácter estructural en el pavimento. Los resultados de las intervenciones arrojadas por los sistemas con funciones trapezoidales y combinadas fueron muy similares.

Comparando el tipo de intervención obtenida (ya sea estructural o funcional) con cada tipo de función de pertenencia, se observó que la consistencia en los resultados es alta. Para la vía Hoyo rico – Caucasia, se obtuvo una similitud en el tipo de intervención propuesta en 177 de los 222 km evaluados, representando aproximadamente el 80% de la vía. En la vía Alcalá – Pereira, se obtuvo una coincidencia en toda la vía, es decir, con los tres tipos de funciones empleadas se recomendó el mismo tipo de intervención

(estructural o funcional). Para la vía Armenia – Cartago, se obtuvo el mismo tipo de intervención en el 84% de la longitud de la vía.

Uno de los principales aportes de este trabajo fue que los resultados obtenidos de la evaluación de los sistemas de inferencia difusos (SID), permitieron definir sectores homogéneos para las vías en estudio con muy buenos niveles de confianza. Se adoptó la recomendación del INVIAS, en el sentido de que el coeficiente de variación de los datos en un tramo fuera inferior a 0,30; con el fin de garantizar la consistencia y validez estadística.

Este ejercicio resultó bastante interesante en especial en la vía Hoyo rico – Caucaasia, donde las sectorizaciones obtenidas por deterioro y condición estructural fueron similares, con algunas variaciones menores en longitud. Este resultado fue consistente con toda la evaluación, ya que como se ha anotado anteriormente, la variación del deterioro condicionó el resultado de la evaluación estructural. La sectorización con resultados de la evaluación funcional fue diferente, especialmente con sectores definidos al principio y final de la vía, donde los resultados obtenidos fueron de superficie buena.

Para los otros dos tramos viales, donde la rigidez y condición funcional mostraron resultados con poca dispersión en la mayoría de los casos, no se pudo obtener una sectorización definida por LD. El método empleado para sectorizar fue el de aproximaciones sucesivas, recomendado por AASHTO [1].

Para la vía Alcalá – Pereira, los resultados de sectorización con los diferentes tipos de funciones de pertenencia presentaron similitudes, con diferencias mínimas de longitudes (de 1 km) en el sector central (del K10+000 al K18+000). En la vía Armenia – Cartago, la sectorización fue bastante uniforme en los primeros 30 km, con variación en los últimos 14 km, donde se obtuvo el mismo número de sectores homogéneos pero con diferentes longitudes.

En términos generales, con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que los modelos basados en la Lógica Difusa desarrollados, pueden ser empleados como una herramienta para optimizar el proceso de evaluación de la condición de pavimentos y de toma de decisiones de mantenimiento y conservación, pues además de integrar variables cualitativas y cuantitativas de condición funcional y estructural de un pavimento, permite la sistematización del conocimiento experto y de la práctica profesional.

6.2 Recomendaciones

El modelo aquí desarrollado puede ser utilizado con buen nivel de confianza para realizar caracterización de vías en servicio a partir de parámetros estructurales y funcionales y para la toma de decisiones de conservación y rehabilitación, de manera muy eficiente, en términos de precisión, rapidez y bajo costo computacional.

Adicionalmente, estos sistemas basados en la inteligencia artificial tienen una alta capacidad de adaptación. Gracias al desarrollo del algoritmo en un medio amigable y de código abierto, como lo es la interfaz de MATLAB®, es posible realizar ajustes tendientes a lograr un modelo cada vez más robusto (mediante la adición o eliminación de parámetros).

En este sentido, se recomienda la consideración de otros parámetros estructurales y funcionales del pavimento, que puedan tener relevancia en la evaluación de condición y en los resultados esperados de intervenciones en otros casos de estudio.

De la misma forma, se puede extender el análisis de sensibilidad de los resultados con base en los diferentes tipos de funciones de pertenencia, empleando otras funciones de forma no convencional, por ejemplo, las Gaussianas.

Dada la poca sensibilidad que mostró el sistema en la clasificación de la rigidez, se recomienda, para futuras investigaciones, estudiar otros umbrales o rangos de clasificación de los parámetros considerados en la evaluación de la rigidez.

Con el modelo desarrollado y su respectivo algoritmo, se puede generar un programa computacional que permita automatizar el proceso de entrada de datos y obtención de salida, con una interface gráfica más fácil de manipular para cualquier usuario.

Es fundamental anotar que la precisión y representatividad de los resultados obtenidos con este tipo de modelos, es altamente dependiente de la calidad de la información de mediciones disponible, y del conocimiento y experiencia que tenga el analista en la gestión de pavimentos.

Bibliografía

1. AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for design of pavement structures*.
2. Arliansyah, J., Maruyama, T., & Takahashi, O. (2003). A development of fuzzy pavement condition assesment. *JSCE*, (746), 275–285.
3. Barrantes R., Loría L., S. D. y P. J. (2008). *Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices para la Red Vial Nacional*. San José, Costa Rica.
4. Beltrán, G. (2012). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles con métodos de inteligencia artificial y auscultación no destructiva*. Universidad Nacional Autónoma De México.
5. Bianchini, A. (2012). Fuzzy representation of pavement condition for efficient pavement management. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27(8), 608–619.
6. Demir, F. (2005). A new way of prediction elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1531–1538.
7. Dernoncourt, Franck. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, (January), 109–153.
8. Florez Muñoz, F. (2001). *Conservación de carreteras nacionales en colombia, un ejemplo a seguir*. Universidad Nacional De Colombia. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
9. Golroo, A., & Tighe, S. L. (2009). Fuzzy set approach to condition assessments of novel sustainable pavements in the Canadian climate. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(5), 754–764.
10. Haas, R. (2001). Reinventing the (pavement management) wheel. *5th Annual Conference on Managing Pavements*.
11. Horak, E., & Emery, S. (2006). Falling weight deflectometer bowl parameters as analysis tool for pavement structural evaluations. In *22nd Australian road research board international conference*.
12. INVIAS. (1998). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*.
13. INVIAS. (2014). *Consultoría jurídica, financiera y técnica – definición programa de mantenimiento sostenible (PMS) red vial primaria nacional no concesionada a cargo del Instituto Nacional de Vías – INVIAS*.
14. Koduru, H. K., Xiao, F., Amirkhanian, S. N., & Juang, C. H. (2010). Using fuzzy logic and expert system approaches in evaluating flexible pavement distress: case study. *Journal of Transportation Engineering*, 136(2), 149–157.
15. Kucukvar, M., Gumus, S., Egilmez, G., & Tatari, O. (2014). Ranking the sustainability performance of pavements: An intuitionistic fuzzy decision making method. *Automation in Construction*, 40, 33–43. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580513002306>
16. Leekwijck, W. Van, & Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*, 108(2), 159–178. [http://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00337-0](http://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00337-0)
17. Mahmood, M., Rahman, M., Nolle, L., & Mathavan, S. (2013). A fuzzy logic approach for pavement section classification. *International Journal of Pavement*

- Research and Technology*, 6(5), 620–626.
18. Mamdani, E. ., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13.
 19. Mia, M. N. U., Henning, T. F. P., Costello, S. B., & Foster, G. (2015). Application of fuzzy logic based risk analysis to identify the moisture damage potential in flexible road pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 8(5), 325–336.
 20. Ministerio de Transporte, & INVIAS. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, 103.
 21. Ministerio de Transporte, & INVIAS. (2008). Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, (1), 1–5.
 22. Moazami, D., Behbahani, H., & Muniandy, R. (2011). Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads using fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12869–12879.
 23. National cooperative highway research program. (2004). *Pavement management applications using geographic information systems. Transportation research*.
 24. Peterson, D. E. (1987). *National cooperative highway research program synthesis of highway practice 135: Pavement management practices*.
 25. Pontificia Universidad Javeriana, & Ministerio de Transporte. (2007). *Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)*.
 26. Sánchez Sabogal, F. (2001). Gestión de la conservación vial en Colombia. 14 *Congreso Mundial de La Carretera De La Irf*.
 27. Universidad Nacional de Colombia, & INVIAS. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*.
 28. Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets, 353(3), 338–353.

A. Anexo: Algoritmos desarrollados

SID TRAPEZOIDAL

RIGIDEZ Y DETERIORO

[System]
Name='Rigidez_Deterioro'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=11
NumOutputs=2
NumRules=139
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

ESTRUCTURAL

[System]
Name='SID Estructural(trapezoidal)'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=32
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

FUNCIONAL

[System]
Name='Trapezoidal(entrada y salida)'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=7
NumOutputs=1
NumRules=66
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

DECISION

[System]
Name='SID Decision (trapezoidal)'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

SID TRAPEZOIDAL

RIGIDEZ Y DETERIORO

[Rules]
10001000000,40(1):1
10003000000,40(1):1
10002000000,30(1):1
10001000000,30(1):1
20004000000,40(1):1
20003000000,40(1):1
20002000000,30(1):1
20001000000,30(1):1
30004000000,30(1):1
30003000000,30(1):1
30002000000,20(1):1
30001000000,20(1):1
40004000000,20(1):1
40003000000,20(1):1
40002000000,10(1):1
40001000000,10(1):1
11000000000,40(1):1
21000000000,40(1):1
31000000000,30(1):1
41000000000,20(1):1
12000000000,30(1):1
22000000000,30(1):1
32000000000,20(1):1
42000000000,20(1):1
13000000000,20(1):1
23000000000,10(1):1
33000000000,10(1):1
43000000000,10(1):1
10100000000,40(1):1
20100000000,40(1):1
30100000000,30(1):1
40100000000,10(1):1
10200000000,30(1):1
20200000000,30(1):1
30200000000,20(1):1
40200000000,20(1):1
10300000000,20(1):1
20300000000,10(1):1
30300000000,10(1):1
40300000000,10(1):1
10010000000,40(1):1
20010000000,40(1):1
30010000000,30(1):1
40010000000,20(1):1
10020000000,30(1):1
20020000000,30(1):1
30020000000,20(1):1
40020000000,20(1):1
10030000000,20(1):1
20030000000,10(1):1
30030000000,10(1):1
40030000000,10(1):1
10000000300,40(1):1
20000000300,40(1):1
30000000300,30(1):1
40000000300,20(1):1
10000000200,30(1):1
20000000200,30(1):1
30000000200,20(1):1
40000000200,20(1):1
10000000100,20(1):1
20000000100,10(1):1
30000000100,10(1):1
40000000100,10(1):1
10000000010,40(1):1
20000000010,40(1):1
30000000010,30(1):1
40000000010,20(1):1
10000000020,30(1):1
20000000020,30(1):1
30000000020,20(1):1
40000000020,20(1):1
10000000010,20(1):1
20000000010,10(1):1
30000000010,10(1):1
40000000010,10(1):1
10000000003,40(1):1
20000000003,40(1):1
30000000003,30(1):1
40000000003,20(1):1
10000000002,30(1):1
20000000002,30(1):1
30000000002,20(1):1
40000000002,20(1):1
10000000001,20(1):1
20000000001,10(1):1
30000000001,10(1):1
40000000001,10(1):1
01000000300,40(1):1
02000000300,40(1):1
03000000300,30(1):1
01000000200,30(1):1
02000000200,30(1):1
03000000200,20(1):1
01000000100,20(1):1
02000000100,10(1):1
03000000100,10(1):1
00100000030,40(1):1
00200000030,40(1):1
00300000030,30(1):1
00100000020,30(1):1
00200000020,30(1):1
00300000020,20(1):1
00100000010,20(1):1
00200000010,10(1):1
00300000010,10(1):1
00010000003,40(1):1
00020000003,40(1):1
00030000003,30(1):1
00010000002,30(1):1
00020000002,30(1):1
00030000002,20(1):1
00010000001,20(1):1
00020000001,10(1):1
00030000001,10(1):1
0000010000,08(1):1
0000021000,08(1):1
0000010100,08(1):1
0000020100,08(1):1
0000031000,06(1):1
0000030100,06(1):1
0000012000,07(1):1
0000010200,07(1):1
0000022000,05(1):1
0000032000,05(1):1

ESTRUCTURAL

FUNCIONAL

2010000,3(1):1
2001000,3(1):1
2000100,3(1):1
2000010,3(1):1
2000001,3(1):1
1300000,2(1):1
1030000,2(1):1
1003000,2(1):1
1000300,2(1):1
1000030,2(1):1
1000003,2(1):1
1200000,3(1):1
1020000,3(1):1
1002000,3(1):1
1001000,3(1):1
1000100,3(1):1
1000010,3(1):1
1000001,3(1):1

DECISION

SID TRAPEZOIDAL

RIGIDEZ Y DETERIORO
00000202000,05(1):1
00000302000,05(1):1
00000130000,03(1):1
00000230000,03(1):1
00000103000,03(1):1
00000203000,03(1):1
00000330000,04(1):1
00000303000,04(1):1
00000410000,04(1):1
00000401000,04(1):1
00000420000,02(1):1
00000402000,02(1):1
00000430000,01(1):1
00000403000,01(1):1

ESTRUCTURAL

FUNCIONAL

DECISION

SID TRIANGULAR

RIGIDEZ Y DETERIORO

[System]
Name='Triangular_GR_Nmedío'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=11
NumOutputs=2
NumRules=139
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='D0'
Range=[0 1,13]
NumMFs=4
MF1='Baja':trimf,[0 0 0.708]
MF2='Moderada':trimf,[0 0.708 0.833]
MF3='Alta':trimf,[0.708 0.833 1.129]
MF4='Muy_alta':trimf,[0.833 1.13 1.13]

[Input2]
Name='BL'
Range=[0 0,4]
NumMFs=3
MF1='Adecuada':trimf,[0 0 0.25]
MF2='En_resgo':trimf,[0.2 0.3 0.4]
MF3='Grave':trimf,[0.31 0.4 0.4]

[Input3]
Name='MLI'
Range=[0 0,2]
NumMFs=3
MF1='Adecuada':trimf,[0 0 0.13]
MF2='En_resgo':trimf,[0.1 0.15 0.2]
MF3='Grave':trimf,[0.17 0.2 0.2]

[Input4]
Name='LLI'
Range=[0 0,1]
NumMFs=3
MF1='Adecuada':trimf,[0 0 0.07]
MF2='En_resgo':trimf,[0.05 0.075 0.1]
MF3='Grave':trimf,[0.08 0.1 0.1]

[Input5]
Name='SN'
Range=[0 100]
NumMFs=4
MF1='Mala':trimf,[0 0 80]
MF2='Regular':trimf,[0 80 90]
MF3='Buena':trimf,[80 90 100]
MF4='Muy_buena':trimf,[90 100 100]

[Input6]
Name='Ahuellamiento'
Range=[0 35]
NumMFs=4
MF1='Muy_buena':trimf,[0 0 10]
MF2='Buena':trimf,[0 10 20]
MF3='Regular':trimf,[10 20 35]
MF4='Mala':trimf,[20 35 35]

[Input7]
Name='FL'
Range=[0 20]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trimf,[0 0 5]
MF2='Medio':trimf,[0 5 20]
MF3='Alto':trimf,[5 20 20]

[Input8]
Name='PC'
Range=[0 20]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trimf,[0 0 5]
MF2='Medio':trimf,[0 5 20]
MF3='Alto':trimf,[15 20 20]

[Input9]
Name='Modulo_CA'
Range=[0 15000]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trimf,[0 0 3550]
MF2='Medio':trimf,[1775 3550 9275]
MF3='Alto':trimf,[3550 15000 15000]

[Input10]
Name='Modulo_GR'
Range=[0 400]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trimf,[0 0 213]
MF2='Medio':trimf,[106.5 213 306.5]
MF3='Alto':trimf,[213 400 400]

[Input11]
Name='Modulo_SRS'
Range=[0 80]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trimf,[0 0 35]
MF2='Medio':trimf,[17.5 35 57.5]
MF3='Alto':trimf,[35 80 80]

[Output1]
Name='Rigidez'
Range=[0 10]
NumMFs=4
MF1='Muy_baja':trimf,[0 0 3]
MF2='Baja':trimf,[2 4 6]
MF3='Media':trimf,[5 7 9]
MF4='Alta':trimf,[8 10 10]

[Output2]
Name='Deterioro'
Range=[0 10]
NumMFs=8
MF1='Falla':trimf,[0 0 3]
MF2='Ahuellamiento_severo':trimf,[2 3 4]
MF3='Fisuracion_severa':trimf,[3 4 5]
MF4='Ahuellamiento_medio':trimf,[4 5 6]
MF5='Fisuracion_media':trimf,[5 6 7]
MF6='Ahuellamiento_bajo':trimf,[6 7 8]
MF7='Fisuracion_baja':trimf,[7 8 9]
MF8='Buen_estado':trimf,[8 10 10]

ESTRUCTURAL

[System]
Name='SID Estructural (triangular)'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=32
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='Rigidez'
Range=[0 10]
NumMFs=4
MF1='Muy_baja':trimf,[0 0 3]
MF2='Baja':trimf,[2 4 6]
MF3='Media':trimf,[5 7 9]
MF4='Alta':trimf,[8 10 10]

[Input2]
Name='Deterioro'
Range=[0 10]
NumMFs=8
MF1='Falla':trimf,[0 0 3]
MF2='Ahuellamiento_severo':trimf,[2 3 4]
MF3='Fisuracion_severa':trimf,[3 4 5]
MF4='Buen_estado':trimf,[8 10 10]
MF5='Ahuellamiento_medio':trimf,[4 5 6]
MF6='Fisuracion_media':trimf,[5 6 7]
MF7='Ahuellamiento_bajo':trimf,[6 7 8]
MF8='Fisuracion_baja':trimf,[7 8 9]

[Output1]
Name='Estructural'
Range=[0 10]
NumMFs=9
MF1='Pavimento_fallado_2':trimf,[0 0 2]
MF2='Pavimento_regular_2':trimf,[3 4 5]
MF3='Pavimento_medio_1':trimf,[7 8 9]
MF4='Pavimento_fallado_1':trimf,[1 2 3]
MF5='Pavimento_regular_3':trimf,[2 3 4]
MF6='Pavimento_regular_1':trimf,[4,02645502845503 5.02]
MF7='Pavimento_medio_3':trimf,[5 6 7]
MF8='Pavimento_medio_2':trimf,[6 7 8]
MF9='Pavimento_bueno':trimf,[8 10 10]

[Rules]
4, 4, 9 (1) : 1
4, 8, 3 (1) : 1
4, 6, 8 (1) : 1
4, 3, 7 (1) : 1
4, 2, 3 (1) : 1
4, 5, 7 (1) : 1
4, 2, 7 (1) : 1
4, 1, 2 (1) : 1
3, 4, 3 (1) : 1
3, 8, 3 (1) : 1
3, 6, 6 (1) : 1
3, 3, 2 (1) : 1
3, 7, 3 (1) : 1
3, 5, 7 (1) : 1
3, 2, 7 (1) : 1
3, 1, 2 (1) : 1
2, 4, 3 (1) : 1
2, 8, 3 (1) : 1
2, 6, 2 (1) : 1
2, 3, 2 (1) : 1
2, 7, 7 (1) : 1
2, 5, 6 (1) : 1
2, 2, 5 (1) : 1
2, 1, 5 (1) : 1
1, 4, 3 (1) : 1
1, 8, 3 (1) : 1
1, 6, 2 (1) : 1
1, 3, 4 (1) : 1
1, 7, 6 (1) : 1
1, 5, 4 (1) : 1
1, 2, 1 (1) : 1
1, 1, 1 (1) : 1

FUNCIONAL

[System]
Name='Trapezoidal(sin friccion)'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=7
NumOutputs=1
NumRules=66
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='IRI'
Range=[0 5,6]
NumMFs=4
MF1='Muy_buena':trapmf,[0 0 2.5 2.83]
MF2='Buena':trapmf,[2.5 2.83 3.17 3.5]
MF3='Regular':trapmf,[3.17 3.5 4.17 4.8311]
MF4='Mala':trapmf,[4.47 4.831 5.6 5.6]

[Input2]
Name='FT'
Range=[0 50]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input3]
Name='FB'
Range=[0 50]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input4]
Name='OP'
Range=[0 50]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input5]
Name='DC'
Range=[0 50]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input6]
Name='PU'
Range=[0 50]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input7]
Name='EX'
Range=[0 50]
NumMFs=3
MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Output1]
Name='Funcional'
Range=[0 5]
NumMFs=3
MF1='Mala':trimf,[0 0 2.5]
MF2='Regular':trimf,[0 2.5 5]
MF3='Buena':trimf,[2.5 5 5]

[Rules]
4 3 0 0 0 0, 1 (1) : 1
4 2 0 0 0 0, 1 (1) : 1
4 0 3 0 0 0, 1 (1) : 1
4 0 2 0 0 0, 1 (1) : 1
4 0 0 3 0 0, 1 (1) : 1
4 0 0 0 2 0, 1 (1) : 1
4 0 0 0 0 3, 1 (1) : 1
4 0 0 0 0 2, 1 (1) : 1
4 0 0 0 0 0, 2 (1) : 1
4 0 0 1 0 0, 2 (1) : 1
4 0 0 0 1 0, 2 (1) : 1
4 0 0 0 0 1, 2 (1) : 1
3 0 0 0 0 0, 1 (1) : 1
3 2 0 0 0 0, 1 (1) : 1
3 0 3 0 0 0, 1 (1) : 1
3 0 2 0 0 0, 1 (1) : 1
3 0 0 3 0 0, 1 (1) : 1
3 0 0 0 2 0, 1 (1) : 1
3 0 0 0 0 3, 1 (1) : 1
3 0 0 0 0 2, 1 (1) : 1
3 0 0 1 0 0, 2 (1) : 1
3 0 0 0 1 0, 2 (1) : 1
3 0 0 0 0 1, 2 (1) : 1
2 0 0 0 0 3, 2 (1) : 1
2 0 0 0 0 2, 2 (1) : 1
2 0 0 0 0 0, 3 (1) : 1
2 0 0 0 0 0, 3 (1) : 1
2 0 0 2 0 0, 3 (1) : 1
2 0 0 0 0 0, 3 (1) : 1
2 1 0 0 0 0, 3 (1) : 1
2 1 0 0 0 0, 3 (1) : 1

DECISION

[System]
Name='SID Decision (Triangular)'
Type='mandani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='Estructural'
Range=[0 10]
NumMFs=9
MF1='Pavimento_fallado_2':trimf,[0 0 2]
MF2='Pavimento_fallado_1':trimf,[1 2 3]
MF3='Pavimento_regular_3':trimf,[2 3 4]
MF4='Pavimento_regular_2':trimf,[3 4 5]
MF5='Pavimento_regular_1':trimf,[4 5 6]
MF6='Pavimento_medio_3':trimf,[5 6 7]
MF7='Pavimento_medio_2':trimf,[6 7 8]
MF8='Pavimento_medio_1':trimf,[7 8 9]
MF9='Pavimento_bueno':trimf,[8 10 10]

[Input2]
Name='Funcional'
Range=[0 5]
NumMFs=3
MF1='Superficie_mala':trimf,[0 0 2.5]
MF2='Superficie_regular':trimf,[0 2.5 5]
MF3='Superficie_buena':trimf,[2.5 5 5]

[Output1]
Name='Decisión'
Range=[0 10]
NumMFs=13
MF1='Reconstruccion_total_y_mejoramiento_SRS':trimf,[0 0 1.5]
MF2='Reconstruccion_CA_y_GR':trimf,[1 1.5 2]
MF3='Fresado_y_refuerzo_CA':trimf,[1.5 2 2.5]
MF4='Reciclado_y_nuevaCA/Fresado_y_nueva_CA':trimf,[2 3 4]
MF5='Refuerzo':trimf,[3 4 5]
MF6='Fresado_y_microaglomerado':trimf,[4 5 5.5]
MF7='Sellado_de_grietas/Bacheo/TSD':trimf,[5 6 7]
MF8='Sellado_de_grietas/Bacheo/Microaglomerado':trimf,[6 5 7 7.5]
MF9='Sellado_de_grietas/Bacheo':trimf,[7 7.5 8]
MF10='TSD':trimf,[7.5 8 8.5]
MF11='Microaglomerado':trimf,[8 8.5 9]
MF12='Mito_rutinario/Monitoreo':trimf,[8.5 9 9.5]
MF13='No_intervenir':trimf,[9 10 10]

[Rules]
9, 3, 13 (1) : 1
9, 2, 11 (1) : 1
9, 1, 10 (1) : 1
8, 3, 12 (1) : 1
8, 2, 11 (1) : 1
8, 1, 10 (1) : 1
7, 3, 9 (1) : 1
7, 2, 8 (1) : 1
7, 1, 7 (1) : 1
6, 3, 6 (1) : 1
6, 2, 6 (1) : 1
6, 1, 6 (1) : 1
5, 3, 5 (1) : 1
5, 2, 5 (1) : 1
5, 1, 5 (1) : 1
4, 3, 4 (1) : 1
4, 2, 4 (1) : 1
4, 1, 4 (1) : 1
3, 3, 3 (1) : 1
3, 2, 3 (1) : 1
3, 1, 3 (1) : 1
2, 3, 2 (1) : 1
2, 2, 2 (1) : 1
2, 1, 2 (1) : 1
1, 3, 1 (1) : 1
1, 2, 1 (1) : 1
1, 1, 1 (1) : 1

SID TRIANGULAR

RIGIDEZ Y DETERIORO

[Rules]
10001000000,40(1):1
10003000000,40(1):1
10002000000,30(1):1
10001000000,30(1):1
20004000000,40(1):1
20003000000,40(1):1
20002000000,30(1):1
20001000000,30(1):1
30004000000,30(1):1
30003000000,30(1):1
30002000000,20(1):1
30001000000,20(1):1
40004000000,20(1):1
40003000000,20(1):1
40002000000,10(1):1
40001000000,10(1):1
11000000000,40(1):1
21000000000,40(1):1
31000000000,30(1):1
41000000000,20(1):1
12000000000,30(1):1
22000000000,30(1):1
32000000000,20(1):1
42000000000,20(1):1
13000000000,20(1):1
23000000000,10(1):1
33000000000,10(1):1
43000000000,10(1):1
10100000000,40(1):1
20100000000,40(1):1
30100000000,30(1):1
40100000000,10(1):1
10200000000,30(1):1
20200000000,30(1):1
30200000000,20(1):1
40200000000,20(1):1
10300000000,20(1):1
20300000000,10(1):1
30300000000,10(1):1
40300000000,10(1):1
10010000000,40(1):1
20010000000,40(1):1
30010000000,30(1):1
40010000000,20(1):1
10020000000,30(1):1
20020000000,30(1):1
30020000000,20(1):1
40020000000,20(1):1
10030000000,20(1):1
20030000000,10(1):1
30030000000,10(1):1
40030000000,10(1):1
1000000300,40(1):1
2000000300,40(1):1
3000000300,30(1):1
4000000300,20(1):1
1000000200,30(1):1
2000000200,30(1):1
3000000200,20(1):1
4000000200,20(1):1
1000000100,20(1):1
2000000100,10(1):1
3000000100,10(1):1
4000000100,10(1):1
1000000010,40(1):1
2000000010,40(1):1
3000000010,30(1):1
4000000010,20(1):1
1000000020,30(1):1
2000000020,30(1):1
3000000020,20(1):1
4000000020,20(1):1
1000000010,20(1):1
2000000010,10(1):1
3000000010,10(1):1
4000000010,10(1):1
1000000003,40(1):1
2000000003,40(1):1
3000000003,30(1):1
4000000003,20(1):1
1000000002,30(1):1
2000000002,30(1):1
3000000002,20(1):1
4000000002,20(1):1
1000000001,20(1):1
2000000001,10(1):1
3000000001,10(1):1
4000000001,10(1):1
0100000300,40(1):1
0200000300,40(1):1
0300000300,30(1):1
0100000200,30(1):1
0200000200,30(1):1
0300000200,20(1):1
0100000100,20(1):1
0200000100,10(1):1
0300000100,10(1):1
0010000030,40(1):1
0020000030,40(1):1
0030000030,30(1):1
0010000020,30(1):1
0020000020,30(1):1
0030000020,20(1):1
0010000010,20(1):1
0020000010,10(1):1
0030000010,10(1):1
0001000003,40(1):1
0002000003,40(1):1
0003000003,30(1):1
0001000002,30(1):1
0002000002,30(1):1
0003000002,20(1):1
0001000001,20(1):1
0002000001,10(1):1
0003000001,10(1):1
0000010000,08(1):1
0000021000,08(1):1
0000010100,08(1):1
0000020100,08(1):1
0000031000,06(1):1
0000030100,06(1):1
0000012000,07(1):1
0000010200,07(1):1
0000022000,05(1):1
0000032000,05(1):1

ESTRUCTURAL

FUNCIONAL

2010000,3(1):1
2001000,3(1):1
2000100,3(1):1
2000010,3(1):1
2000001,3(1):1
1300000,2(1):1
1030000,2(1):1
1003000,2(1):1
1000300,2(1):1
1000030,2(1):1
1000003,2(1):1
1200000,3(1):1
1020000,3(1):1
1002000,3(1):1
1001000,3(1):1
1000100,3(1):1
1000010,3(1):1
1000001,3(1):1

DECISION

SID TRIANGULAR

RIGIDEZ Y DETERIORO
00000202000,05(1):1
00000302000,05(1):1
00000130000,03(1):1
00000230000,03(1):1
00000103000,03(1):1
00000203000,03(1):1
00000330000,04(1):1
00000303000,04(1):1
00000410000,04(1):1
00000401000,04(1):1
00000420000,02(1):1
00000402000,02(1):1
00000430000,01(1):1
00000403000,01(1):1

ESTRUCTURAL

FUNCIONAL

DECISION

SID COMBINADO

RIGIDEZ Y DETERIORO

[System]
 Name='Trapezoidal_GR_Nmedios'
 Type='mandani'
 Version=2.0
 NumInputs=11
 NumOutputs=2
 NumRules=139
 AndMethod='min'
 OrMethod='max'
 ImpMethod='min'
 AggMethod='max'
 DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
 Name='D0'
 Range=[0 1,13]
 NumMFs=4
 MF1='Baja':trapmf,[0 0 0.354 0.708]
 MF2='Moderada':trapmf,[0.354 0.708 0.7705 0.833]
 MF3='Alta':trapmf,[0.7705 0.833 0.981 1.129]
 MF4='Muy_alta':trimf,[0.981 1.13 1.13]

[Input2]
 Name='BL'
 Range=[0 0.5]
 NumMFs=3
 MF1='Adecuada':trapmf,[0 0 0.1 0.2]
 MF2='En_resgo':trapmf,[0.2 0.27 0.33 0.4]
 MF3='Grave':trapmf,[0.33 0.4 0.5 0.5]

[Input3]
 Name='MLI'
 Range=[0 0.25]
 NumMFs=3
 MF1='Adecuada':trapmf,[0 0 0.1 0.13]
 MF2='En_resgo':trapmf,[0.1 0.13 0.17 0.2]
 MF3='Grave':trapmf,[0.17 0.2 0.25 0.25]

[Input4]
 Name='LLI'
 Range=[0 0.15]
 NumMFs=3
 MF1='Adecuada':trapmf,[0 0 0.05 0.067]
 MF2='En_resgo':trapmf,[0.05 0.067 0.083 0.1]
 MF3='Grave':trapmf,[0.083 0.1 0.15 0.15]

[Input5]
 Name='SN'
 Range=[0 110]
 NumMFs=4
 MF1='Mala':trapmf,[0 0 80 83.3]
 MF2='Regular':trapmf,[80 83.33 86.67 90]
 MF3='Buena':trapmf,[86.67 90 93.33 96.67]
 MF4='Muy_buena':trapmf,[93.33 96.67 110 110]

[Input6]
 Name='Ahuellamiento'
 Range=[0 36]
 NumMFs=4
 MF1='Muy_buena':trapmf,[0 0 10 13.33]
 MF2='Buena':trapmf,[10 13.33 16.67 20]
 MF3='Regular':trapmf,[16.67 20 25 30]
 MF4='Mala':trapmf,[25 30 36 36]

[Input7]
 Name='FL'
 Range=[0 20]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 5 10]
 MF2='Medio':trapmf,[5 10 15 20]
 MF3='Alto':trapmf,[15 20 20 20]

[Input8]
 Name='PC'
 Range=[0 20]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 5 10]
 MF2='Medio':trapmf,[5 10 15 20]
 MF3='Alto':trapmf,[15 20 20 20]

[Input9]
 Name='Modulo_CA'
 Range=[0 15000]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 2130 3550]
 MF2='Medio':trapmf,[2000 3550 7100 10650]
 MF3='Alto':trapmf,[7100 10650 15000 15000]

[Input10]
 Name='Modulo_GR'
 Range=[0 400]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 106 213]
 MF2='Medio':trapmf,[106 213 248.5 284]
 MF3='Alto':trapmf,[248.5 284 400 400]

[Input11]
 Name='Modulo_SRS'
 Range=[0 80]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 21 35]
 MF2='Medio':trapmf,[21 35 42.5 50]
 MF3='Alto':trapmf,[42.5 50 80 80]

[Output1]
 Name='Rigidez'
 Range=[0 10]
 NumMFs=4
 MF1='Muy_baja':trapmf,[0 0 2 4]
 MF2='Baja':trapmf,[2 4 5 7]
 MF3='Media':trapmf,[5 7 8 10]
 MF4='Alta':trimf,[8 10 10]

[Output2]
 Name='Deterioro'
 Range=[0 10]
 NumMFs=8
 MF1='Falla':trapmf,[0 0 1 3]
 MF2='Ahuellamiento_severo':trimf,[2 3 4]
 MF3='Fisuracion_severa':trimf,[3 4 5]
 MF4='Ahuellamiento_medio':trimf,[4 5 6]
 MF5='Fisuracion_media':trimf,[5 6 7]
 MF6='Ahuellamiento_bajo':trimf,[6 7 8]
 MF7='Fisuracion_baja':trimf,[7 8 9]
 MF8='Buen_estado':trapmf,[8 9 10 10]

ESTRUCTURAL

[System]
 Name='SID Estructural (triangular)'
 Type='mandani'
 Version=2.0
 NumInputs=2
 NumOutputs=1
 NumRules=32
 AndMethod='min'
 OrMethod='max'
 ImpMethod='min'
 AggMethod='max'
 DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
 Name='Rigidez'
 Range=[0 10]
 NumMFs=4
 MF1='Muy_baja':trimf,[0 0 3]
 MF2='Baja':trimf,[2 4 6]
 MF3='Media':trimf,[5 7 9]
 MF4='Alta':trimf,[8 10 10]

[Input2]
 Name='Deterioro'
 Range=[0 10]
 NumMFs=8
 MF1='Fallado':trimf,[0 0 3]
 MF2='Ahuellamiento_severo':trimf,[2 3 4]
 MF3='Fisuracion_severa':trimf,[3 4 5]
 MF4='Buen_estado':trimf,[8 10 10]
 MF5='Ahuellamiento_medio':trimf,[4 5 6]
 MF6='Fisuracion_media':trimf,[5 6 7]
 MF7='Ahuellamiento_bajo':trimf,[6 7 8]
 MF8='Fisuracion_baja':trimf,[7 8 9]

[Output1]
 Name='Estructural'
 Range=[0 10]
 NumMFs=9
 MF1='Pavimento_fallado_2':trimf,[0 0 2]
 MF2='Pavimento_regular_2':trimf,[3 4 5]
 MF3='Pavimento_medio_1':trimf,[7 8 9]
 MF4='Pavimento_fallado_1':trimf,[1 2 3]
 MF5='Pavimento_regular_3':trimf,[2 3 4]
 MF6='Pavimento_regular_1':trimf,[4,02645502645503 5.02]
 MF7='Pavimento_medio_3':trimf,[5 6 7]
 MF8='Pavimento_medio_2':trimf,[6 7 8]
 MF9='Pavimento_bueno':trimf,[8 10 10]

[Rules]
 4, 4, 9 (1) : 1
 4, 8, 3 (1) : 1
 4, 6, 8 (1) : 1
 4, 3, 7 (1) : 1
 4, 2, 3 (1) : 1
 4, 5, 7 (1) : 1
 4, 2, 7 (1) : 1
 4, 1, 2 (1) : 1
 3, 4, 3 (1) : 1
 3, 8, 3 (1) : 1
 3, 6, 6 (1) : 1
 3, 3, 2 (1) : 1
 3, 7, 3 (1) : 1
 3, 5, 7 (1) : 1
 3, 2, 7 (1) : 1
 3, 1, 2 (1) : 1
 2, 4, 3 (1) : 1
 2, 8, 3 (1) : 1
 2, 6, 2 (1) : 1
 2, 3, 2 (1) : 1
 2, 7, 7 (1) : 1
 2, 5, 6 (1) : 1
 2, 2, 5 (1) : 1
 2, 1, 5 (1) : 1
 1, 4, 3 (1) : 1
 1, 8, 3 (1) : 1
 1, 6, 2 (1) : 1
 1, 3, 4 (1) : 1
 1, 7, 6 (1) : 1
 1, 5, 4 (1) : 1
 1, 2, 1 (1) : 1
 1, 1, 1 (1) : 1
 Range=[0 15000]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 2130 3550]
 MF2='Medio':trapmf,[2000 3550 7100 10650]
 MF3='Alto':trapmf,[7100 10650 15000 15000]

[Input10]
 Name='Modulo_GR'
 Range=[0 400]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 106 213]
 MF2='Medio':trapmf,[106 213 248.5 284]
 MF3='Alto':trapmf,[248.5 284 400 400]

[Input11]
 Name='Modulo_SRS'
 Range=[0 80]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 21 35]
 MF2='Medio':trapmf,[21 35 42.5 50]
 MF3='Alto':trapmf,[42.5 50 80 80]

[Output1]
 Name='Rigidez'
 Range=[0 10]
 NumMFs=4
 MF1='Muy_baja':trapmf,[0 0 2 4]
 MF2='Baja':trapmf,[2 4 5 7]
 MF3='Media':trapmf,[5 7 8 10]
 MF4='Alta':trimf,[8 10 10]

[Output2]
 Name='Deterioro'
 Range=[0 10]
 NumMFs=8
 MF1='Falla':trapmf,[0 0 1 3]
 MF2='Ahuellamiento_severo':trimf,[2 3 4]
 MF3='Fisuracion_severa':trimf,[3 4 5]
 MF4='Ahuellamiento_medio':trimf,[4 5 6]
 MF5='Fisuracion_media':trimf,[5 6 7]
 MF6='Ahuellamiento_bajo':trimf,[6 7 8]
 MF7='Fisuracion_baja':trimf,[7 8 9]
 MF8='Buen_estado':trapmf,[8 9 10 10]

FUNCIONAL

[System]
 Name='Trapezoidal(sin friccion)'
 Type='mandani'
 Version=2.0
 NumInputs=7
 NumOutputs=1
 NumRules=66
 AndMethod='min'
 OrMethod='max'
 ImpMethod='min'
 AggMethod='max'
 DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
 Name='IRI'
 Range=[0 5.6]
 NumMFs=4
 MF1='Muy_buena':trapmf,[0 0 2.5 2.83]
 MF2='Buena':trapmf,[2.5 2.83 3.17 3.5]
 MF3='Regular':trapmf,[3.17 3.5 4.17 4.831]
 MF4='Mala':trapmf,[4.47 4.831 5.6 5.6]

[Input2]
 Name='FT'
 Range=[0 50]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
 MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
 MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input3]
 Name='FB'
 Range=[0 50]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
 MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
 MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input4]
 Name='OP'
 Range=[0 50]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
 MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
 MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input5]
 Name='DC'
 Range=[0 50]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
 MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
 MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input6]
 Name='PU'
 Range=[0 50]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
 MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
 MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Input7]
 Name='EX'
 Range=[0 50]
 NumMFs=3
 MF1='Bajo':trapmf,[0 0 15 26.67]
 MF2='Medio':trapmf,[15 26.67 38.33 50]
 MF3='Alto':trapmf,[38.33 50 50 50]

[Output1]
 Name='Funcional'
 Range=[0 5]
 NumMFs=3
 MF1='Mala':trimf,[0 0 2.5]
 MF2='Regular':trimf,[0 2.5 5]
 MF3='Buena':trimf,[2.5 5 5]

[Rules]
 4 3 0 0 0 0, 1 (1) : 1
 4 2 0 0 0 0, 1 (1) : 1
 4 0 3 0 0 0, 1 (1) : 1
 4 0 2 0 0 0, 1 (1) : 1
 4 0 0 3 0 0, 1 (1) : 1
 4 0 0 0 2 0, 1 (1) : 1
 4 0 0 0 0 3, 1 (1) : 1
 4 0 0 0 0 2, 1 (1) : 1
 4 1 0 0 0 0, 2 (1) : 1
 4 0 1 0 0 0, 2 (1) : 1
 4 0 0 1 0 0, 2 (1) : 1
 4 0 0 0 1 0, 2 (1) : 1
 4 0 0 0 0 1, 2 (1) : 1
 3 0 0 0 0 0, 1 (1) : 1
 3 2 0 0 0 0, 1 (1) : 1
 3 0 3 0 0 0, 1 (1) : 1
 3 0 2 0 0 0, 1 (1) : 1
 3 0 0 3 0 0, 1 (1) : 1
 3 0 0 0 2 0, 1 (1) : 1
 3 0 0 0 0 3, 1 (1) : 1
 3 0 1 0 0 0, 2 (1) : 1
 3 0 0 1 0 0, 2 (1) : 1
 3 0 0 0 1 0, 2 (1) : 1
 3 0 0 0 0 1, 2 (1) : 1
 2 0 0 0 0 0, 2 (1) : 1
 2 0 0 0 3 0, 2 (1) : 1
 2 0 0 0 0 3, 2 (1) : 1
 2 0 2 0 0 0, 3 (1) : 1
 2 0 0 2 0 0, 3 (1) : 1
 2 0 0 0 2 0, 3 (1) : 1
 2 1 0 0 0 0, 3 (1) : 1

DECISION

[System]
 Name='SID Decision (Triangular)'
 Type='mandani'
 Version=2.0
 NumInputs=2
 NumOutputs=1
 NumRules=27
 AndMethod='min'
 OrMethod='max'
 ImpMethod='min'
 AggMethod='max'
 DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
 Name='Estructural'
 Range=[0 10]
 NumMFs=9
 MF1='Pavimento_fallado_2':trimf,[0 0 2]
 MF2='Pavimento_fallado_1':trimf,[1 2 3]
 MF3='Pavimento_regular_3':trimf,[2 3 4]
 MF4='Pavimento_regular_2':trimf,[3 4 5]
 MF5='Pavimento_regular_1':trimf,[4 5 6]
 MF6='Pavimento_medio_3':trimf,[5 6 7]
 MF7='Pavimento_medio_2':trimf,[6 7 8]
 MF8='Pavimento_medio_1':trimf,[7 8 9]
 MF9='Pavimento_bueno':trimf,[8 10 10]

[Input2]
 Name='Funcional'
 Range=[0 5]
 NumMFs=3
 MF1='Superficie_mala':trimf,[0 0 2.5]
 MF2='Superficie_regular':trimf,[0 2.5 5]
 MF3='Superficie_buena':trimf,[2.5 5 5]

[Output1]
 Name='Decisión'
 Range=[0 10]
 NumMFs=13
 MF1='Reconstruccion_total_y_mejoramiento_SRS':trimf,[0 0 1.5]
 MF2='Reconstruccion_CA_y_GR':trimf,[1 1.5 2]
 MF3='Fresado_y_refuerzo_CA':trimf,[1.5 2 2.5]
 MF4='Reciclado_y_nuevaCA/Fresado_y_nueva_CA':trimf,[2 3 4]
 MF5='Refuerzo':trimf,[3 4 5]
 MF6='Fresado_y_microaglomerado':trimf,[4 5 5.5]
 MF7='Sellado_de_grietas/Bacheo/TSD':trimf,[5 6 7]
 MF8='Sellado_de_grietas/Bacheo/Microaglomerado':trimf,[6.5 7 7.5]
 MF9='Sellado_de_grietas/Bacheo':trimf,[7 7.5 8]
 MF10='TSD':trimf,[7.5 8 8.5]
 MF11='Microaglomerado':trimf,[8 8.5 9]
 MF12='Mito_rutinario/Monitoreo':trimf,[8.5 9 9.5]
 MF13='No_intervenir':trimf,[9 10 10]

[Rules]
 9, 3, 13 (1) : 1
 9, 2, 11 (1) : 1
 9, 1, 10 (1) : 1
 8, 3, 12 (1) : 1
 8, 2, 11 (1) : 1
 8, 1, 10 (1) : 1
 7, 3, 9 (1) : 1
 7, 2, 8 (1) : 1
 7, 1, 7 (1) : 1
 6, 3, 6 (1) : 1
 6, 2, 6 (1) : 1
 6, 1, 6 (1) : 1
 5, 3, 5 (1) : 1
 5, 2, 5 (1) : 1
 5, 1, 5 (1) : 1
 4, 3, 4 (1) : 1
 4, 2, 4 (1) : 1
 4, 1, 4 (1) : 1
 3, 3, 3 (1) : 1
 3, 2, 3 (1) : 1
 3, 1, 3 (1) : 1
 2, 3, 2 (1) : 1
 2, 2, 2 (1) : 1
 2, 1, 2 (1) : 1
 1, 3, 1 (1) : 1
 1, 2, 1 (1) : 1
 1, 1, 1 (1) : 1

SID COMBINADO

RIGIDEZ Y DETERIORO

00000202000,05(1):1
00000302000,05(1):1
00000130000,03(1):1
00000230000,03(1):1
00000103000,03(1):1
00000230000,03(1):1
00000330000,04(1):1
00000303000,04(1):1
00000410000,04(1):1
00000401000,04(1):1
00000420000,02(1):1
00000402000,02(1):1
00000430000,01(1):1
00000403000,01(1):1

ESTRUCTURAL

00000202000,05(1):1
00000302000,05(1):1
00000130000,03(1):1
00000230000,03(1):1
00000103000,03(1):1
00000203000,03(1):1
00000330000,04(1):1
00000303000,04(1):1
00000410000,04(1):1
00000401000,04(1):1
00000420000,02(1):1
00000402000,02(1):1
00000430000,01(1):1
00000403000,01(1):1

FUNCIONAL

DECISION

**B. Anexo: Resultados tramo Hoyo
rico – Caucasia**

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K01+000	K02+000	6,11	Media	4,50	Ahuellamiento medio	6,05	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,17	Fresado y microaglomerado
K02+000	K03+000	6,11	Media	5,12	Fisuración media	5,41	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K03+000	K04+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K04+000	K05+000	6,11	Media	7,48	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K05+000	K06+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,31	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K06+000	K07+000	6,11	Media	9,04	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K07+000	K08+000	6,11	Media	9,07	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K08+000	K09+000	6,11	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,59	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K09+000	K10+000	6,11	Media	8,01	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K10+000	K11+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K11+000	K12+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K12+000	K13+000	6,11	Media	7,31	Fisuración baja	8,35	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K13+000	K14+000	6,11	Media	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,31	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K14+000	K15+000	6,11	Media	5,00	Fisuración media	5,54	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K15+000	K16+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K16+000	K17+000	6,11	Media	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K17+000	K18+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K18+000	K19+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K19+000	K20+000	6,11	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,59	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K20+000	K21+000	6,11	Media	8,96	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K21+000	K22+000	6,11	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,59	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K22+000	K23+000	6,11	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,59	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K23+000	K24+000	6,11	Media	9,12	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K24+000	K25+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K25+000	K26+000	6,11	Media	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,31	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K26+000	K27+000	6,11	Media	9,12	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K27+000	K28+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K28+000	K29+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K29+000	K30+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K30+000	K31+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K31+000	K32+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K32+000	K33+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K33+000	K34+000	6,11	Media	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K34+000	K35+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K35+000	K36+000	6,11	Media	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,16	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K36+000	K37+000	6,11	Media	8,89	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K37+000	K38+000	6,11	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K38+000	K39+000	6,11	Media	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K39+000	K40+000	6,07	Media	4,50	Ahuellamiento medio	6,03	Pavimento medio 3	4,24	Superficie buena	4,15	Fresado y microaglomerado
K40+000	K41+000	6,07	Media	9,11	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K41+000	K42+000	6,07	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K42+000	K43+000	6,07	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,31	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K43+000	K44+000	6,07	Media	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K44+000	K45+000	6,07	Media	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K45+000	K46+000	6,07	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,55	Pavimento medio 2	4,22	Superficie buena	6,75	Sellado de grietas/Bacheo
K46+000	K47+000	6,07	Media	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K47+000	K48+000	6,07	Media	9,11	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K48+000	K49+000	6,00	Baja	6,78	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	4,16	Superficie buena	6,75	Sellado de grietas/Bacheo
K49+000	K50+000	6,00	Baja	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K50+000	K51+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K51+000	K52+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K52+000	K53+000	6,00	Baja	8,96	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K53+000	K54+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K54+000	K55+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K55+000	K56+000	6,00	Baja	6,29	Ahuellamiento bajo	7,26	Pavimento medio 2	3,97	Superficie buena	6,48	Sellado de grietas/Bacheo
K56+000	K57+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K57+000	K58+000	6,00	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,12	Refuerzo
K58+000	K59+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K59+000	K60+000	6,00	Baja	5,24	Fisuración media	5,19	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,59	Refuerzo
K60+000	K61+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K61+000	K62+000	6,00	Baja	4,01	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K62+000	K63+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K63+000	K64+000	6,00	Baja	6,09	Ahuellamiento bajo	6,53	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,50	Fresado y microaglomerado
K64+000	K65+000	6,00	Baja	6,41	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K65+000	K66+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K66+000	K67+000	6,00	Baja	7,48	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K67+000	K68+000	6,00	Baja	4,84	Fisuración media	5,68	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,76	Refuerzo
K68+000	K69+000	6,00	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K69+000	K70+000	6,00	Baja	4,83	Ahuellamiento medio	5,69	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,78	Refuerzo
K70+000	K71+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K71+000	K72+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K72+000	K73+000	6,00	Baja	5,00	Fisuración media	5,50	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K73+000	K74+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K74+000	K75+000	6,00	Baja	5,00	Fisuración media	5,50	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K75+000	K76+000	6,00	Baja	5,00	Fisuración media	5,50	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K76+000	K77+000	6,00	Baja	7,44	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K77+000	K78+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K78+000	K79+000	6,00	Baja	9,07	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K79+000	K80+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K80+000	K81+000	6,00	Baja	4,92	Fisuración media	5,58	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K81+000	K82+000	6,00	Baja	5,00	Fisuración media	5,50	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K82+000	K83+000	6,00	Baja	8,21	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K83+000	K84+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K84+000	K85+000	6,00	Baja	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K85+000	K86+000	6,00	Baja	5,00	Fisuración media	5,50	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K86+000	K87+000	6,00	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,50	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K87+000	K88+000	6,00	Baja	8,72	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K88+000	K89+000	6,00	Baja	7,31	Fisuración baja	8,34	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K89+000	K90+000	5,84	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K90+000	K91+000	5,84	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,38	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K91+000	K92+000	5,84	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,93	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,05	Refuerzo
K92+000	K93+000	5,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K93+000	K94+000	5,84	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K94+000	K95+000	5,84	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,38	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K95+000	K96+000	5,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K96+000	K97+000	5,84	Baja	6,57	Ahuellamiento bajo	7,38	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K97+000	K98+000	5,84	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,38	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K98+000	K99+000	5,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K99+000	K100+000	5,84	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,93	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,05	Refuerzo

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K100+000	K101+000	5,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K101+000	K102+000	5,84	Baja	6,10	Ahuellamiento bajo	6,47	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,50	Fresado y microaglomerado
K102+000	K103+000	5,84	Baja	3,56	Fisuración severa	4,50	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,00	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K103+000	K104+000	5,84	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,38	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K104+000	K105+000	5,84	Baja	5,49	Fisuración media	4,93	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,31	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K105+000	K106+000	5,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K106+000	K107+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K107+000	K108+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	4,24	Superficie buena	3,75	Refuerzo
K108+000	K109+000	5,87	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K109+000	K110+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K110+000	K111+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K111+000	K112+000	5,87	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,94	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,06	Refuerzo
K112+000	K113+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K113+000	K114+000	5,87	Baja	6,37	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K114+000	K115+000	5,87	Baja	6,19	Ahuellamiento bajo	6,76	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,73	Fresado y microaglomerado
K115+000	K116+000	5,87	Baja	5,27	Fisuración media	5,08	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,46	Refuerzo
K116+000	K117+000	5,87	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K117+000	K118+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	3,31	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K118+000	K119+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K119+000	K120+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K120+000	K121+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K121+000	K122+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K122+000	K123+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K123+000	K124+000	5,87	Baja	5,52	Fisuración media	4,94	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,32	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K124+000	K125+000	5,87	Baja	3,50	Fisuración severa	4,50	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,00	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K125+000	K126+000	5,87	Baja	4,81	Ahuellamiento medio	5,67	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K126+000	K127+000	5,87	Baja	3,63	Fisuración severa	4,50	Pavimento regular 2	4,24	Superficie buena	3,00	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K127+000	K128+000	5,87	Baja	5,20	Fisuración media	5,20	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,60	Refuerzo
K128+000	K129+000	5,87	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,94	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,06	Refuerzo
K129+000	K130+000	5,87	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K130+000	K131+000	5,87	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K131+000	K132+000	5,87	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,94	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,06	Refuerzo
K132+000	K133+000	5,87	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K133+000	K134+000	5,87	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K134+000	K135+000	5,87	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K135+000	K136+000	5,87	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K136+000	K137+000	5,87	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K137+000	K138+000	5,87	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	6,75	Sellado de grietas/Bacheo
K138+000	K139+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K139+000	K140+000	5,87	Baja	5,00	Fisuración media	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K140+000	K141+000	5,87	Baja	5,52	Fisuración media	4,94	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,32	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K141+000	K142+000	5,87	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K142+000	K143+000	5,87	Baja	5,61	Fisuración media	4,94	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,32	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K143+000	K144+000	5,76	Baja	5,00	Fisuración media	5,42	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K144+000	K145+000	5,76	Baja	6,50	Ahuellamiento bajo	7,32	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	5,97	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K145+000	K146+000	5,76	Baja	5,00	Fisuración media	5,42	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K146+000	K147+000	5,76	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K147+000	K148+000	5,76	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,90	Pavimento regular 1	3,97	Superficie buena	4,01	Refuerzo
K148+000	K149+000	5,76	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,31	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K149+000	K150+000	5,76	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K150+000	K151+000	5,76	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K151+000	K152+000	5,76	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,17	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K152+000	K153+000	5,76	Baja	7,26	Fisuración baja	8,15	Pavimento medio 1	4,17	Superficie buena	8,32	Microaglomerado
K153+000	K154+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,30	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K154+000	K155+000	6,31	Media	5,00	Fisuración media	5,61	Pavimento regular 1	4,22	Superficie buena	3,75	Refuerzo
K155+000	K156+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K156+000	K157+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K157+000	K158+000	6,31	Media	5,42	Fisuración media	5,14	Pavimento regular 1	4,24	Superficie buena	3,53	Refuerzo
K158+000	K159+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K159+000	K160+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K160+000	K161+000	6,31	Media	7,12	Fisuración baja	7,77	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,43	Sellado de grietas/Bacheo
K161+000	K162+000	6,31	Media	8,41	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K162+000	K163+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K163+000	K164+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K164+000	K165+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,85	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K165+000	K166+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K166+000	K167+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,31	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K167+000	K168+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,17	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K168+000	K169+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K169+000	K170+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K170+000	K171+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K171+000	K172+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K172+000	K173+000	6,31	Media	5,61	Fisuración media	5,14	Pavimento regular 1	4,22	Superficie buena	3,53	Refuerzo
K173+000	K174+000	6,31	Media	5,33	Fisuración media	5,14	Pavimento regular 1	4,17	Superficie buena	3,53	Refuerzo
K174+000	K175+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,16	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K175+000	K176+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K176+000	K177+000	6,31	Media	7,95	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	4,17	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K177+000	K178+000	6,31	Media	8,28	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K178+000	K179+000	6,31	Media	8,51	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K179+000	K180+000	6,31	Media	5,00	Fisuración media	5,61	Pavimento regular 1	4,24	Superficie buena	3,75	Refuerzo
K180+000	K181+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K181+000	K182+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,17	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K182+000	K183+000	6,31	Media	6,90	Fisuración baja	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,00	Sellado de grietas/Bacheo
K183+000	K184+000	6,31	Media	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K184+000	K185+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,17	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K185+000	K186+000	6,31	Media	8,34	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K186+000	K187+000	6,31	Media	8,12	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K187+000	K188+000	6,31	Media	7,98	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	4,16	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K188+000	K189+000	6,31	Media	8,64	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K189+000	K190+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K190+000	K191+000	6,31	Media	5,88	Ahuellamiento bajo	6,21	Pavimento medio 3	4,17	Superficie buena	4,34	Fresado y microaglomerado
K191+000	K192+000	6,31	Media	5,00	Fisuración media	5,61	Pavimento regular 1	3,31	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K192+000	K193+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K193+000	K194+000	6,31	Media	6,71	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,30	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K194+000	K195+000	6,31	Media	8,54	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K195+000	K196+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K196+000	K197+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	3,97	Superficie buena	8,98	Mtto rutinario/Monitoreo
K197+000	K198+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,17	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K198+000	K199+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K199+000	K200+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,17	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K200+000	K201+000	6,31	Media	8,34	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K201+000	K202+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,22	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K202+000	K203+000	6,31	Media	7,71	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K203+000	K204+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K204+000	K205+000	6,53	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,92	Pavimento medio 2	2,85	Superficie regular	6,91	Sellado de grietas/Bacheo
K205+000	K206+000	6,31	Media	8,34	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K206+000	K207+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K207+000	K208+000	6,31	Media	6,17	Ahuellamiento bajo	6,92	Pavimento medio 3	4,24	Superficie buena	5,40	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K208+000	K209+000	6,31	Media	8,96	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K209+000	K210+000	6,31	Media	8,54	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K210+000	K211+000	6,31	Media	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K211+000	K212+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K212+000	K213+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	4,17	Superficie buena	7,02	Sellado de grietas/Bacheo
K213+000	K214+000	6,31	Media	8,96	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K214+000	K215+000	6,31	Media	7,52	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K215+000	K216+000	6,31	Media	7,12	Fisuración baja	7,77	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,14	TSD
K216+000	K217+000	6,31	Media	8,74	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K217+000	K218+000	6,31	Media	7,17	Fisuración baja	7,88	Pavimento medio 2	4,24	Superficie buena	7,49	TSD
K218+000	K219+000	6,31	Media	7,26	Fisuración baja	8,16	Pavimento medio 1	4,22	Superficie buena	8,35	Microaglomerado
K219+000	K220+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	3,31	Superficie regular	6,68	Sellado de grietas/Bacheo
K220+000	K221+000	6,31	Media	6,50	Ahuellamiento bajo	7,74	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,30	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K221+000	K222+000	6,31	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	6,10	Media	7,80	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,42	Superficie regular	8,48	Microaglomerado
K01+000	K02+000	6,10	Media	5,13	Ahuellamiento medio	5,80	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,56	Refuerzo
K02+000	K03+000	6,30	Media	5,37	Ahuellamiento medio	5,61	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,38	Refuerzo
K03+000	K04+000	6,15	Media	7,90	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,61	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K04+000	K05+000	6,22	Media	7,16	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,61	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K05+000	K06+000	6,16	Media	7,86	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,54	Superficie regular	8,51	Microaglomerado
K06+000	K07+000	6,29	Media	7,64	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,49	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K07+000	K08+000	6,03	Media	7,63	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K08+000	K09+000	6,14	Media	6,08	Fisuración media	5,47	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K09+000	K10+000	5,88	Baja	7,48	Ahuellamiento bajo	7,71	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,21	TSD
K10+000	K11+000	6,11	Media	8,09	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K11+000	K12+000	6,28	Media	8,28	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,51	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K12+000	K13+000	6,21	Media	6,86	Ahuellamiento bajo	7,29	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,52	Sellado de grietas/Bacheo
K13+000	K14+000	6,11	Media	7,94	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,55	Superficie regular	8,51	Microaglomerado
K14+000	K15+000	6,07	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,48	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K15+000	K16+000	5,98	Baja	7,85	Fisuración baja	7,95	Pavimento medio 1	2,49	Superficie regular	8,34	Microaglomerado
K16+000	K17+000	6,09	Media	8,81	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K17+000	K18+000	5,95	Baja	7,99	Fisuración baja	7,96	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,68	Microaglomerado
K18+000	K19+000	6,21	Media	8,02	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,09	Superficie regular	8,64	Microaglomerado
K19+000	K20+000	6,16	Media	5,55	Fisuración media	5,47	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K20+000	K21+000	6,00	Media	7,60	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,95	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K21+000	K22+000	5,81	Baja	6,48	Fisuración media	6,31	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,74	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K22+000	K23+000	5,80	Baja	5,88	Fisuración media	5,04	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K23+000	K24+000	5,65	Baja	7,99	Fisuración baja	7,91	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,28	Microaglomerado
K24+000	K25+000	5,92	Baja	7,52	Fisuración baja	7,80	Pavimento medio 1	2,61	Superficie regular	8,11	TSD
K25+000	K26+000	5,92	Baja	8,05	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,55	Superficie regular	8,51	Microaglomerado
K26+000	K27+000	5,70	Baja	7,83	Fisuración baja	7,35	Pavimento medio 2	3,14	Superficie regular	7,81	TSD
K27+000	K28+000	5,89	Baja	8,91	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,61	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K28+000	K29+000	6,00	Media	8,68	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,13	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K29+000	K30+000	6,13	Media	7,86	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,60	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K30+000	K31+000	6,03	Media	8,04	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,81	Superficie regular	8,58	Microaglomerado
K31+000	K32+000	6,15	Media	8,08	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,61	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K32+000	K33+000	6,15	Media	7,74	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,51	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K33+000	K34+000	5,98	Baja	7,67	Fisuración baja	7,96	Pavimento medio 1	2,95	Superficie regular	8,48	Microaglomerado
K34+000	K35+000	6,11	Media	8,10	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K35+000	K36+000	6,11	Media	7,72	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,38	Superficie regular	8,69	Microaglomerado
K36+000	K37+000	6,04	Media	7,45	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,95	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K37+000	K38+000	5,97	Baja	8,31	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,81	Superficie regular	8,58	Microaglomerado
K38+000	K39+000	6,24	Media	8,20	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,68	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K39+000	K40+000	6,18	Media	5,01	Ahuellamiento medio	5,99	Pavimento medio 3	2,70	Superficie regular	4,96	Fresado y microaglomerado
K40+000	K41+000	5,97	Baja	8,71	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,81	Superficie regular	8,58	Microaglomerado
K41+000	K42+000	5,89	Baja	8,12	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K42+000	K43+000	5,93	Baja	8,96	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,55	Superficie regular	8,51	Microaglomerado
K43+000	K44+000	6,15	Media	8,38	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K44+000	K45+000	6,00	Media	8,41	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K45+000	K46+000	6,16	Media	6,21	Fisuración media	5,96	Pavimento medio 3	3,01	Superficie regular	4,86	Fresado y microaglomerado
K46+000	K47+000	6,05	Media	8,48	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,81	Superficie regular	8,58	Microaglomerado
K47+000	K48+000	6,08	Media	8,74	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,81	Superficie regular	8,58	Microaglomerado
K48+000	K49+000	6,15	Media	6,94	Ahuellamiento bajo	7,61	Pavimento medio 1	3,38	Superficie regular	8,04	TSD
K49+000	K50+000	5,86	Baja	7,78	Fisuración baja	7,67	Pavimento medio 1	2,51	Superficie regular	7,93	TSD

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K50+000	K51+000	6,00	#¡REF!	7,82	Fisuración baja	7,99	Pavimento medio 1	2,51	Superficie regular	8,48	Microaglomerado
K51+000	K52+000	6,26	Media	7,94	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K52+000	K53+000	5,86	Baja	7,52	Fisuración baja	7,66	Pavimento medio 1	2,48	Superficie regular	7,88	TSD
K53+000	K54+000	5,87	Baja	7,99	Fisuración baja	7,97	Pavimento medio 1	2,44	Superficie regular	8,23	TSD
K54+000	K55+000	5,92	Baja	5,99	Fisuración media	4,96	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,94	Refuerzo
K55+000	K56+000	6,14	Media	5,95	Fisuración media	5,10	Pavimento regular 1	2,61	Superficie regular	4,06	Refuerzo
K56+000	K57+000	5,98	Baja	6,19	Fisuración media	5,95	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,83	Fresado y microaglomerado
K57+000	K58+000	5,98	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,98	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,94	Fresado y microaglomerado
K58+000	K59+000	6,07	Media	7,67	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K59+000	K60+000	6,02	Media	5,64	Fisuración media	5,44	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,26	Refuerzo
K60+000	K61+000	5,58	Baja	7,56	Fisuración baja	7,14	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,31	Sellado de grietas/Bacheo
K61+000	K62+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,88	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,67	Fresado y microaglomerado
K62+000	K63+000	6,09	Media	7,59	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K63+000	K64+000	5,93	Baja	5,17	Ahuellamiento medio	5,65	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,41	Refuerzo
K64+000	K65+000	5,73	Baja	5,90	Fisuración media	4,95	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,94	Refuerzo
K65+000	K66+000	5,79	Baja	7,85	Fisuración baja	7,53	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	7,78	TSD
K66+000	K67+000	5,76	Baja	7,07	Ahuellamiento bajo	7,46	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,71	Sellado de grietas/Bacheo
K67+000	K68+000	5,88	Baja	4,81	Ahuellamiento medio	5,33	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,20	Refuerzo
K68+000	K69+000	5,70	Baja	7,48	Ahuellamiento bajo	7,35	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,59	Sellado de grietas/Bacheo
K69+000	K70+000	5,65	Baja	5,24	Ahuellamiento medio	5,22	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,13	Refuerzo
K70+000	K71+000	5,64	Baja	6,67	Ahuellamiento bajo	6,13	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,38	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K71+000	K72+000	5,40	Baja	6,77	Ahuellamiento bajo	5,91	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,73	Fresado y microaglomerado
K72+000	K73+000	5,90	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,90	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,71	Fresado y microaglomerado
K73+000	K74+000	5,86	Baja	6,25	Fisuración media	6,06	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,20	Fresado y microaglomerado
K74+000	K75+000	5,53	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,54	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,33	Refuerzo
K75+000	K76+000	5,86	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,87	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,66	Refuerzo
K76+000	K77+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K77+000	K78+000	6,29	Media	5,92	Fisuración media	5,14	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,08	Refuerzo
K78+000	K79+000	6,27	Media	7,56	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K79+000	K80+000	6,28	Media	5,92	Fisuración media	5,14	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,08	Refuerzo
K80+000	K81+000	6,23	Media	5,39	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K81+000	K82+000	6,27	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K82+000	K83+000	6,23	Media	7,55	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K83+000	K84+000	5,96	Baja	6,60	Ahuellamiento bajo	6,57	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,10	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K84+000	K85+000	6,19	Media	9,15	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K85+000	K86+000	6,15	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K86+000	K87+000	6,13	Media	5,90	Fisuración media	5,18	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,11	Refuerzo
K87+000	K88+000	6,31	Media	7,15	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K88+000	K89+000	6,16	Media	7,06	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K89+000	K90+000	5,59	Baja	8,22	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K90+000	K91+000	5,68	Baja	6,19	Fisuración media	5,85	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,63	Refuerzo
K91+000	K92+000	5,60	Baja	4,88	Ahuellamiento medio	5,31	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,19	Refuerzo
K92+000	K93+000	5,82	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,83	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,60	Refuerzo
K93+000	K94+000	5,90	Baja	7,97	Fisuración baja	7,86	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,19	TSD
K94+000	K95+000	5,71	Baja	6,64	Ahuellamiento bajo	6,21	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,56	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K95+000	K96+000	5,83	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,83	Pavimento medio 3	2,49	Superficie regular	4,61	Refuerzo
K96+000	K97+000	5,85	Baja	6,82	Ahuellamiento bajo	6,76	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,38	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K97+000	K98+000	5,51	Baja	5,48	Ahuellamiento medio	5,02	Pavimento regular 1	2,48	Superficie regular	4,01	Refuerzo
K98+000	K99+000	5,35	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,36	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,22	Refuerzo
K99+000	K100+000	5,05	Baja	4,57	Ahuellamiento medio	4,57	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,56	Refuerzo

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K100+000	K101+000	5,46	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K101+000	K102+000	5,49	Baja	6,20	Fisuración media	5,80	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,56	Refuerzo
K102+000	K103+000	5,36	Baja	3,99	Fisuración severa	4,03	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,05	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K103+000	K104+000	5,46	Baja	5,45	Ahuellamiento medio	4,95	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,93	Refuerzo
K104+000	K105+000	5,70	Baja	5,55	Fisuración media	5,24	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,14	Refuerzo
K105+000	K106+000	5,29	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,30	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,18	Refuerzo
K106+000	K107+000	5,40	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,41	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,25	Refuerzo
K107+000	K108+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,87	Pavimento medio 3	2,95	Superficie regular	4,67	Refuerzo
K108+000	K109+000	5,97	Baja	6,21	Fisuración media	6,00	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,01	Fresado y microaglomerado
K109+000	K110+000	6,16	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K110+000	K111+000	6,19	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K111+000	K112+000	5,93	Baja	4,77	Ahuellamiento medio	5,28	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,17	Refuerzo
K112+000	K113+000	5,82	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,82	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,59	Refuerzo
K113+000	K114+000	6,11	Media	5,47	Ahuellamiento medio	5,53	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,32	Refuerzo
K114+000	K115+000	6,06	Media	5,35	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K115+000	K116+000	6,11	Media	5,78	Fisuración media	5,31	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,19	Refuerzo
K116+000	K117+000	6,00	Media	6,11	Fisuración media	5,68	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,43	Refuerzo
K117+000	K118+000	6,02	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,55	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K118+000	K119+000	5,64	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,65	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,41	Refuerzo
K119+000	K120+000	5,61	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,63	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,39	Refuerzo
K120+000	K121+000	5,22	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,23	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,14	Refuerzo
K121+000	K122+000	5,59	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K122+000	K123+000	5,80	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,81	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,57	Refuerzo
K123+000	K124+000	5,76	Baja	6,00	Fisuración media	4,83	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,79	Refuerzo
K124+000	K125+000	5,79	Baja	3,50	Fisuración severa	4,82	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,78	Refuerzo
K125+000	K126+000	5,88	Baja	3,97	Fisuración severa	4,09	Pavimento regular 2	2,42	Superficie regular	3,12	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K126+000	K127+000	5,81	Baja	3,87	Fisuración severa	4,36	Pavimento regular 2	2,70	Superficie regular	3,39	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K127+000	K128+000	6,03	Media	5,83	Fisuración media	5,27	Pavimento regular 1	2,49	Superficie regular	4,16	Refuerzo
K128+000	K129+000	5,82	Baja	5,45	Ahuellamiento medio	5,35	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,21	Refuerzo
K129+000	K130+000	5,85	Baja	5,83	Fisuración media	5,16	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,10	Refuerzo
K130+000	K131+000	5,68	Baja	6,42	Fisuración media	6,17	Pavimento medio 3	2,49	Superficie regular	5,49	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K131+000	K132+000	5,89	Baja	4,48	Fisuración severa	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,00	Refuerzo
K132+000	K133+000	5,48	Baja	8,15	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K133+000	K134+000	5,57	Baja	7,59	Fisuración baja	7,12	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,26	Sellado de grietas/Bacheo
K134+000	K135+000	5,27	Baja	7,62	Fisuración baja	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K135+000	K136+000	5,59	Baja	7,59	Fisuración baja	7,15	Pavimento medio 2	2,51	Superficie regular	7,33	Sellado de grietas/Bacheo
K136+000	K137+000	5,79	Baja	7,69	Fisuración baja	7,52	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	7,83	TSD
K137+000	K138+000	5,87	Baja	6,54	Ahuellamiento bajo	6,38	Pavimento medio 3	2,70	Superficie regular	5,94	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K138+000	K139+000	5,59	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,61	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,38	Refuerzo
K139+000	K140+000	5,61	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,63	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,39	Refuerzo
K140+000	K141+000	5,68	Baja	5,54	Fisuración media	5,22	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,13	Refuerzo
K141+000	K142+000	5,85	Baja	6,79	Ahuellamiento bajo	6,69	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,26	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K142+000	K143+000	5,77	Baja	5,15	Ahuellamiento medio	5,44	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K143+000	K144+000	5,33	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,34	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,20	Refuerzo
K144+000	K145+000	5,16	Baja	6,13	Fisuración media	5,02	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,01	Refuerzo
K145+000	K146+000	5,27	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,28	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,16	Refuerzo
K146+000	K147+000	5,58	Baja	7,89	Fisuración baja	7,41	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,66	Sellado de grietas/Bacheo
K147+000	K148+000	5,48	Baja	5,67	Fisuración media	4,97	Pavimento regular 1	2,61	Superficie regular	3,96	Refuerzo
K148+000	K149+000	5,24	Baja	7,70	Fisuración baja	7,09	Pavimento medio 2	2,55	Superficie regular	7,27	Sellado de grietas/Bacheo
K149+000	K150+000	5,46	Baja	7,65	Fisuración baja	7,00	Pavimento medio 2	2,51	Superficie regular	7,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K150+000	K151+000	5,26	Baja	7,81	Fisuración baja	7,27	Pavimento medio 2	2,51	Superficie regular	7,51	Sellado de grietas/Bacheo
K151+000	K152+000	4,90	Baja	7,87	Fisuración baja	7,54	Pavimento medio 1	3,71	Superficie regular	8,02	TSD
K152+000	K153+000	4,86	Baja	7,01	Ahuellamiento bajo	6,06	Pavimento medio 3	3,71	Superficie regular	5,42	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K153+000	K154+000	5,99	#¡REF!	5,93	Fisuración media	5,14	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,08	Refuerzo
K154+000	K155+000	6,09	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	3,14	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K155+000	K156+000	5,93	Baja	7,79	Fisuración baja	7,82	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,12	TSD
K156+000	K157+000	6,25	Media	5,86	Fisuración media	5,22	Pavimento regular 1	2,81	Superficie regular	4,13	Refuerzo
K157+000	K158+000	6,13	Media	5,23	Ahuellamiento medio	5,70	Pavimento medio 3	2,95	Superficie regular	4,44	Refuerzo
K158+000	K159+000	6,18	Media	7,36	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K159+000	K160+000	6,25	Media	7,71	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K160+000	K161+000	6,14	Media	6,66	Ahuellamiento bajo	6,78	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,42	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K161+000	K162+000	6,01	Media	7,03	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K162+000	K163+000	6,01	Media	8,04	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K163+000	K164+000	6,25	Media	7,96	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K164+000	K165+000	6,31	Media	7,95	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,51	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K165+000	K166+000	6,27	Media	8,09	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K166+000	K167+000	6,31	Media	7,79	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,55	Superficie regular	8,51	Microaglomerado
K167+000	K168+000	6,27	Media	8,09	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,71	Superficie regular	8,74	Microaglomerado
K168+000	K169+000	6,36	Media	8,11	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K169+000	K170+000	6,27	Media	5,94	Fisuración media	5,12	Pavimento regular 1	4,18	Superficie buena	4,08	Refuerzo
K170+000	K171+000	6,49	Media	8,07	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,95	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K171+000	K172+000	6,07	Media	7,72	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K172+000	K173+000	6,24	Media	5,89	Fisuración media	5,19	Pavimento regular 1	3,14	Superficie regular	4,12	Refuerzo
K173+000	K174+000	6,24	Media	5,66	Fisuración media	5,39	Pavimento regular 1	3,71	Superficie regular	4,26	Refuerzo
K174+000	K175+000	6,06	Media	7,99	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,38	Superficie regular	8,69	Microaglomerado
K175+000	K176+000	6,32	Media	5,76	Fisuración media	5,31	Pavimento regular 1	2,95	Superficie regular	4,18	Refuerzo
K176+000	K177+000	6,27	Media	7,18	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	3,71	Superficie regular	8,74	Microaglomerado
K177+000	K178+000	6,31	Media	7,40	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	4,16	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K178+000	K179+000	6,21	Media	7,31	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K179+000	K180+000	6,37	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	4,16	Superficie buena	5,00	Fresado y microaglomerado
K180+000	K181+000	6,26	Media	7,92	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,15	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K181+000	K182+000	6,01	Media	5,82	Fisuración media	5,29	Pavimento regular 1	3,71	Superficie regular	4,20	Refuerzo
K182+000	K183+000	6,07	Media	6,46	Fisuración media	6,44	Pavimento medio 3	4,18	Superficie buena	6,27	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K183+000	K184+000	6,28	Media	8,01	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K184+000	K185+000	6,30	Media	7,67	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,71	Superficie regular	8,74	Microaglomerado
K185+000	K186+000	6,30	Media	7,28	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	4,16	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K186+000	K187+000	6,16	Media	7,28	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K187+000	K188+000	6,21	Media	7,17	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	3,38	Superficie regular	8,69	Microaglomerado
K188+000	K189+000	6,24	Media	7,55	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K189+000	K190+000	6,22	Media	5,95	Fisuración media	5,11	Pavimento regular 1	4,18	Superficie buena	4,07	Refuerzo
K190+000	K191+000	6,01	Media	5,94	Fisuración media	5,13	Pavimento regular 1	3,71	Superficie regular	4,10	Refuerzo
K191+000	K192+000	6,02	Media	5,00	Ahuellamiento medio	6,00	Pavimento medio 3	2,55	Superficie regular	5,00	Fresado y microaglomerado
K192+000	K193+000	6,01	Media	7,77	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K193+000	K194+000	6,02	Media	6,85	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,43	Sellado de grietas/Bacheo
K194+000	K195+000	6,03	Media	7,63	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K195+000	K196+000	6,10	Media	6,51	Ahuellamiento bajo	6,53	Pavimento medio 2	2,70	Superficie regular	6,12	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K196+000	K197+000	6,25	Media	7,86	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,61	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K197+000	K198+000	6,21	Media	5,72	Fisuración media	5,35	Pavimento regular 1	3,71	Superficie regular	4,24	Refuerzo
K198+000	K199+000	6,00	Media	6,10	Fisuración media	5,63	Pavimento medio 3	4,18	Superficie buena	4,39	Refuerzo
K199+000	K200+000	6,19	Media	6,65	Ahuellamiento bajo	6,78	Pavimento medio 2	3,71	Superficie regular	6,71	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K200+000	K201+000	6,05	Media	7,50	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,95	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K201+000	K202+000	6,14	Media	6,08	Fisuración media	5,51	Pavimento medio 3	3,14	Superficie regular	4,30	Refuerzo
K202+000	K203+000	6,11	Media	7,30	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K203+000	K204+000	6,11	Media	5,90	Fisuración media	5,18	Pavimento regular 1	2,70	Superficie regular	4,11	Refuerzo
K204+000	K205+000	5,94	Baja	6,29	Fisuración media	6,19	Pavimento medio 3	2,51	Superficie regular	5,53	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K205+000	K206+000	6,28	Media	7,56	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K206+000	K207+000	6,06	Media	6,17	Fisuración media	5,86	Pavimento medio 3	2,70	Superficie regular	4,65	Refuerzo
K207+000	K208+000	6,19	Media	6,04	Fisuración media	5,28	Pavimento regular 1	2,70	Superficie regular	4,16	Refuerzo
K208+000	K209+000	6,06	Media	7,76	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K209+000	K210+000	6,05	Media	7,52	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K210+000	K211+000	6,19	Media	8,47	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K211+000	K212+000	6,23	Media	8,26	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K212+000	K213+000	6,40	Media	6,66	Ahuellamiento bajo	6,84	Pavimento medio 2	3,71	Superficie regular	6,83	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K213+000	K214+000	6,09	Media	7,80	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,81	Superficie regular	8,58	Microaglomerado
K214+000	K215+000	6,53	Media	7,33	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K215+000	K216+000	6,41	Media	7,19	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K216+000	K217+000	6,48	Media	7,75	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,70	Superficie regular	8,55	Microaglomerado
K217+000	K218+000	6,47	Media	7,20	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	2,95	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K218+000	K219+000	6,51	Media	7,24	Ahuellamiento bajo	8,00	Pavimento medio 1	3,14	Superficie regular	8,65	Microaglomerado
K219+000	K220+000	6,37	Media	6,73	Ahuellamiento bajo	6,99	Pavimento medio 2	2,55	Superficie regular	6,98	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K220+000	K221+000	6,46	Media	6,57	Ahuellamiento bajo	6,65	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,20	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K221+000	K222+000	6,59	Media	9,26	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rigidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K01+000	K02+000	6,11	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,56	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,34	Refuerzo
K02+000	K03+000	6,11	Media	5,65	Fisuración media	4,94	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,91	Refuerzo
K03+000	K04+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,75	Superficie regular	8,75	Microaglomerado
K04+000	K05+000	6,11	Media	7,75	Fisuración baja	7,30	Pavimento medio 2	3,75	Superficie regular	7,83	TSD
K05+000	K06+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,96	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K06+000	K07+000	6,11	Media	9,09	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K07+000	K08+000	6,11	Media	9,14	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K08+000	K09+000	6,11	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,08	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,18	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K09+000	K10+000	6,11	Media	8,16	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K10+000	K11+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K11+000	K12+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K12+000	K13+000	6,11	Media	7,62	Fisuración baja	7,13	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,30	Sellado de grietas/Bacheo
K13+000	K14+000	6,11	Media	9,19	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,96	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K14+000	K15+000	6,11	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,56	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,34	Refuerzo
K15+000	K16+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K16+000	K17+000	6,11	Media	9,23	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K17+000	K18+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K18+000	K19+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K19+000	K20+000	6,11	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,08	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,18	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K20+000	K21+000	6,11	Media	9,01	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K21+000	K22+000	6,11	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,08	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,18	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K22+000	K23+000	6,11	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,08	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,18	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K23+000	K24+000	6,11	Media	9,17	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K24+000	K25+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,75	Superficie regular	8,75	Microaglomerado
K25+000	K26+000	6,11	Media	9,19	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,96	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K26+000	K27+000	6,11	Media	9,16	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K27+000	K28+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,75	Superficie regular	8,75	Microaglomerado
K28+000	K29+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K29+000	K30+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,75	Superficie regular	8,75	Microaglomerado
K30+000	K31+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K31+000	K32+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,75	Superficie regular	8,75	Microaglomerado
K32+000	K33+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K33+000	K34+000	6,11	Media	9,22	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K34+000	K35+000	6,11	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K35+000	K36+000	6,11	Media	9,20	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,09	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K36+000	K37+000	6,11	Media	9,02	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K37+000	K38+000	6,11	Media	9,24	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K38+000	K39+000	6,11	Media	9,20	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K39+000	K40+000	6,07	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,54	Pavimento medio 3	4,18	Superficie buena	4,33	Refuerzo
K40+000	K41+000	6,07	Media	9,15	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K41+000	K42+000	6,07	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K42+000	K43+000	6,07	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,96	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K43+000	K44+000	6,07	Media	9,19	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K44+000	K45+000	6,07	Media	9,20	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K45+000	K46+000	6,07	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,05	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,46	Sellado de grietas/Bacheo
K46+000	K47+000	6,07	Media	9,23	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K47+000	K48+000	6,07	Media	9,15	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K48+000	K49+000	6,00	Baja	7,22	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	4,09	Superficie buena	7,29	Sellado de grietas/Bacheo
K49+000	K50+000	6,00	Baja	9,19	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rigidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K50+000	K51+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K51+000	K52+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K52+000	K53+000	6,00	Baja	9,01	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K53+000	K54+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K54+000	K55+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K55+000	K56+000	6,00	Baja	6,76	Ahuellamiento bajo	6,31	Pavimento medio 3	3,75	Superficie regular	6,18	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K56+000	K57+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K57+000	K58+000	6,00	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K58+000	K59+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K59+000	K60+000	6,00	Baja	5,76	Fisuración media	4,80	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,76	Refuerzo
K60+000	K61+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K61+000	K62+000	6,00	Baja	4,45	Fisuración severa	4,96	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,95	Refuerzo
K62+000	K63+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K63+000	K64+000	6,00	Baja	6,56	Ahuellamiento bajo	5,97	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,90	Fresado y microaglomerado
K64+000	K65+000	6,00	Baja	6,90	Ahuellamiento bajo	6,64	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,20	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K65+000	K66+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K66+000	K67+000	6,00	Baja	7,75	Fisuración baja	7,27	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,50	Sellado de grietas/Bacheo
K67+000	K68+000	6,00	Baja	5,30	Ahuellamiento medio	5,14	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,08	Refuerzo
K68+000	K69+000	6,00	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K69+000	K70+000	6,00	Baja	5,37	Ahuellamiento medio	5,09	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,05	Refuerzo
K70+000	K71+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K71+000	K72+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K72+000	K73+000	6,00	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K73+000	K74+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K74+000	K75+000	6,00	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K75+000	K76+000	6,00	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K76+000	K77+000	6,00	Baja	7,72	Fisuración baja	7,22	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,44	Sellado de grietas/Bacheo
K77+000	K78+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K78+000	K79+000	6,00	Baja	9,14	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K79+000	K80+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K80+000	K81+000	6,00	Baja	5,46	Ahuellamiento medio	5,02	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,01	Refuerzo
K81+000	K82+000	6,00	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K82+000	K83+000	6,00	Baja	8,32	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K83+000	K84+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K84+000	K85+000	6,00	Baja	9,23	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K85+000	K86+000	6,00	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K86+000	K87+000	6,00	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,99	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K87+000	K88+000	6,00	Baja	8,74	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K88+000	K89+000	6,00	Baja	7,62	Fisuración baja	7,10	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,24	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K89+000	K90+000	5,84	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K90+000	K91+000	5,84	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,89	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,66	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K91+000	K92+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K92+000	K93+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K93+000	K94+000	5,84	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K94+000	K95+000	5,84	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,89	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,66	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K95+000	K96+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K96+000	K97+000	5,84	Baja	7,06	Ahuellamiento bajo	6,89	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,66	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K97+000	K98+000	5,84	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,89	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,66	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K98+000	K99+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K99+000	K100+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rigidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K100+000	K101+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K101+000	K102+000	5,84	Baja	6,58	Ahuellamiento bajo	5,93	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,78	Fresado y microaglomerado
K102+000	K103+000	5,84	Baja	4,03	Fisuración severa	4,11	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,15	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K103+000	K104+000	5,84	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,89	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,66	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K104+000	K105+000	5,84	Baja	5,99	Fisuración media	4,47	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,47	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K105+000	K106+000	5,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,45	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K106+000	K107+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K107+000	K108+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	4,18	Superficie buena	4,28	Refuerzo
K108+000	K109+000	5,87	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,72	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K109+000	K110+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K110+000	K111+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K111+000	K112+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K112+000	K113+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K113+000	K114+000	5,87	Baja	6,86	Ahuellamiento bajo	6,46	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,94	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K114+000	K115+000	5,87	Baja	6,65	Ahuellamiento bajo	6,04	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,14	Fresado y microaglomerado
K115+000	K116+000	5,87	Baja	5,79	Fisuración media	4,73	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,69	Refuerzo
K116+000	K117+000	5,87	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,72	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K117+000	K118+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,96	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K118+000	K119+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K119+000	K120+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K120+000	K121+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K121+000	K122+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K122+000	K123+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K123+000	K124+000	5,87	Baja	6,01	Fisuración media	4,55	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,54	Refuerzo
K124+000	K125+000	5,87	Baja	4,00	Fisuración severa	4,00	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,00	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K125+000	K126+000	5,87	Baja	5,26	Ahuellamiento medio	5,14	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,08	Refuerzo
K126+000	K127+000	5,87	Baja	4,08	Fisuración severa	4,33	Pavimento regular 2	4,18	Superficie buena	3,36	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K127+000	K128+000	5,87	Baja	5,73	Fisuración media	4,79	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K128+000	K129+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K129+000	K130+000	5,87	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,72	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K130+000	K131+000	5,87	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,72	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K131+000	K132+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K132+000	K133+000	5,87	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K133+000	K134+000	5,87	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K134+000	K135+000	5,87	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K135+000	K136+000	5,87	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K136+000	K137+000	5,87	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K137+000	K138+000	5,87	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,05	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K138+000	K139+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K139+000	K140+000	5,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,28	Refuerzo
K140+000	K141+000	5,87	Baja	6,01	Fisuración media	4,55	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,54	Refuerzo
K141+000	K142+000	5,87	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,72	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K142+000	K143+000	5,87	Baja	6,09	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,99	Refuerzo
K143+000	K144+000	5,76	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,42	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,25	Refuerzo
K144+000	K145+000	5,76	Baja	7,00	Ahuellamiento bajo	6,84	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,54	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K145+000	K146+000	5,76	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,42	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,25	Refuerzo
K146+000	K147+000	5,76	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K147+000	K148+000	5,76	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,42	Pavimento regular 1	3,75	Superficie regular	4,27	Refuerzo
K148+000	K149+000	5,76	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,96	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K149+000	K150+000	5,76	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rigidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K150+000	K151+000	5,76	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K151+000	K152+000	5,76	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,12	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K152+000	K153+000	5,76	Baja	7,59	Fisuración baja	7,12	Pavimento medio 2	4,12	Superficie buena	7,62	Sellado de grietas/Bacheo
K153+000	K154+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,43	Sellado de grietas/Bacheo
K154+000	K155+000	6,31	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,64	Pavimento medio 3	4,18	Superficie buena	4,40	Refuerzo
K155+000	K156+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K156+000	K157+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K157+000	K158+000	6,31	Media	5,93	Fisuración media	4,73	Pavimento regular 1	4,18	Superficie buena	3,69	Refuerzo
K158+000	K159+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K159+000	K160+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K160+000	K161+000	6,31	Media	7,48	Ahuellamiento bajo	7,15	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,33	Sellado de grietas/Bacheo
K161+000	K162+000	6,31	Media	8,49	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K162+000	K163+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K163+000	K164+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K164+000	K165+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,62	Superficie regular	8,53	Microaglomerado
K165+000	K166+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K166+000	K167+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,96	Superficie regular	8,61	Microaglomerado
K167+000	K168+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,12	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K168+000	K169+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K169+000	K170+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K170+000	K171+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K171+000	K172+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K172+000	K173+000	6,31	Media	6,09	Fisuración media	5,15	Pavimento regular 1	4,18	Superficie buena	4,10	Refuerzo
K173+000	K174+000	6,31	Media	5,85	Fisuración media	4,83	Pavimento regular 1	4,12	Superficie buena	3,77	Refuerzo
K174+000	K175+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,09	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K175+000	K176+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K176+000	K177+000	6,31	Media	8,11	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,12	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K177+000	K178+000	6,31	Media	8,38	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K178+000	K179+000	6,31	Media	8,57	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K179+000	K180+000	6,31	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,64	Pavimento medio 3	4,18	Superficie buena	4,40	Refuerzo
K180+000	K181+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K181+000	K182+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,12	Superficie buena	7,78	TSD
K182+000	K183+000	6,31	Media	7,24	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K183+000	K184+000	6,31	Media	9,21	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K184+000	K185+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,12	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K185+000	K186+000	6,31	Media	8,43	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K186+000	K187+000	6,31	Media	8,24	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K187+000	K188+000	6,31	Media	8,14	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,09	Superficie buena	8,81	Mtto rutinario/Monitoreo
K188+000	K189+000	6,31	Media	8,70	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K189+000	K190+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K190+000	K191+000	6,31	Media	6,35	Fisuración media	5,81	Pavimento medio 3	4,12	Superficie buena	4,54	Refuerzo
K191+000	K192+000	6,31	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,64	Pavimento medio 3	2,96	Superficie regular	4,40	Refuerzo
K192+000	K193+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K193+000	K194+000	6,31	Media	7,17	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,43	Sellado de grietas/Bacheo
K194+000	K195+000	6,31	Media	8,60	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K195+000	K196+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K196+000	K197+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	3,75	Superficie regular	8,75	Microaglomerado
K197+000	K198+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,12	Superficie buena	7,78	TSD
K198+000	K199+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K199+000	K200+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,12	Superficie buena	7,78	TSD

TRAMO HOYORICO - CAUCASIA - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rigidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K200+000	K201+000	6,31	Media	8,43	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K201+000	K202+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K202+000	K203+000	6,31	Media	7,92	Fisuración baja	7,71	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,21	TSD
K203+000	K204+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K204+000	K205+000	6,53	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,39	Pavimento medio 2	2,62	Superficie regular	7,68	Sellado de grietas/Bacheo
K205+000	K206+000	6,31	Media	8,43	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K206+000	K207+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,79	TSD
K207+000	K208+000	6,31	Media	6,63	Ahuellamiento bajo	6,20	Pavimento medio 3	4,18	Superficie buena	5,87	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K208+000	K209+000	6,31	Media	9,01	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K209+000	K210+000	6,31	Media	8,60	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K210+000	K211+000	6,31	Media	9,24	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K211+000	K212+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K212+000	K213+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	4,12	Superficie buena	7,78	TSD
K213+000	K214+000	6,31	Media	9,01	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K214+000	K215+000	6,31	Media	7,78	Fisuración baja	7,38	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,97	TSD
K215+000	K216+000	6,31	Media	7,48	Ahuellamiento bajo	7,15	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,69	Sellado de grietas/Bacheo
K216+000	K217+000	6,31	Media	8,79	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K217+000	K218+000	6,31	Media	7,52	Fisuración baja	7,15	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,69	Sellado de grietas/Bacheo
K218+000	K219+000	6,31	Media	7,59	Fisuración baja	7,19	Pavimento medio 2	4,18	Superficie buena	7,75	TSD
K219+000	K220+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	2,96	Superficie regular	7,65	Sellado de grietas/Bacheo
K220+000	K221+000	6,31	Media	7,00	Ahuellamiento bajo	7,22	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,43	Sellado de grietas/Bacheo
K221+000	K222+000	6,31	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo

C. Anexo: Resultados tramo Alcalá – Pereira

TRAMO ALCALA - PEREIRA - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	4,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K01+000	K02+000	4,61	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K02+000	K03+000	4,49	Baja	4,50	Ahuellamiento medio	5,50	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K03+000	K04+000	4,97	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K04+000	K05+000	5,04	Baja	5,00	Fisuración media	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,41	Refuerzo
K05+000	K06+000	5,68	Baja	5,00	Fisuración media	5,39	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K06+000	K07+000	5,34	Baja	5,00	Fisuración media	5,22	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,63	Refuerzo
K07+000	K08+000	5,08	Baja	5,00	Fisuración media	5,06	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,44	Refuerzo
K08+000	K09+000	5,13	Baja	5,00	Fisuración media	5,10	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,48	Refuerzo
K09+000	K10+000	4,34	Baja	5,35	Fisuración media	4,50	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,00	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K10+000	K11+000	4,92	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K11+000	K12+000	4,69	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K12+000	K13+000	4,43	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K13+000	K14+000	4,84	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K14+000	K15+000	4,82	Baja	5,06	Fisuración media	4,92	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,29	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K15+000	K16+000	4,89	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K16+000	K17+000	5,06	Baja	5,00	Fisuración media	5,05	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,43	Refuerzo
K17+000	K18+000	4,99	Baja	5,00	Fisuración media	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,38	Refuerzo
K18+000	K19+000	5,09	Baja	9,16	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K19+000	K20+000	5,86	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K20+000	K21+000	5,57	Baja	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K21+000	K22+000	5,27	Baja	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K22+000	K23+000	5,51	Baja	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado

TRAMO ALCALA - PEREIRA - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	5,10	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,12	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,07	Refuerzo
K01+000	K02+000	4,96	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K02+000	K03+000	4,29	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K03+000	K04+000	5,07	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,09	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,05	Refuerzo
K04+000	K05+000	4,98	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K05+000	K06+000	5,15	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,17	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,10	Refuerzo
K06+000	K07+000	4,65	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K07+000	K08+000	4,74	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K08+000	K09+000	4,72	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K09+000	K10+000	4,65	Baja	5,03	Ahuellamiento medio	4,97	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,96	Refuerzo
K10+000	K11+000	5,19	Baja	9,36	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K11+000	K12+000	4,66	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K12+000	K13+000	4,16	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K13+000	K14+000	4,87	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K14+000	K15+000	5,29	Baja	5,88	Fisuración media	4,59	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,57	Refuerzo
K15+000	K16+000	4,79	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K16+000	K17+000	5,24	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,25	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,15	Refuerzo
K17+000	K18+000	5,20	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,22	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,13	Refuerzo
K18+000	K19+000	4,98	Baja	7,90	Fisuración baja	7,60	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	7,85	TSD
K19+000	K20+000	4,98	Baja	9,32	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K20+000	K21+000	4,93	Baja	9,35	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K21+000	K22+000	4,91	Baja	9,08	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K22+000	K23+000	4,81	Baja	9,06	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado

TRAMO ALCALA - PEREIRA - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	4,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K01+000	K02+000	4,61	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K02+000	K03+000	4,49	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K03+000	K04+000	4,97	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K04+000	K05+000	5,04	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,05	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,03	Refuerzo
K05+000	K06+000	5,68	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,38	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,23	Refuerzo
K06+000	K07+000	5,34	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,23	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,14	Refuerzo
K07+000	K08+000	5,08	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,08	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,04	Refuerzo
K08+000	K09+000	5,13	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,11	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,07	Refuerzo
K09+000	K10+000	4,34	Baja	5,86	Fisuración media	4,18	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,22	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K10+000	K11+000	4,92	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K11+000	K12+000	4,69	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K12+000	K13+000	4,43	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K13+000	K14+000	4,84	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K14+000	K15+000	4,82	Baja	5,60	Fisuración media	4,43	Pavimento regular 2	2,50	Superficie regular	3,44	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K15+000	K16+000	4,89	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K16+000	K17+000	5,06	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,07	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,04	Refuerzo
K17+000	K18+000	4,99	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,03	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,02	Refuerzo
K18+000	K19+000	5,09	Baja	9,23	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K19+000	K20+000	5,86	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K20+000	K21+000	5,57	Baja	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K21+000	K22+000	5,27	Baja	9,20	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K22+000	K23+000	5,51	Baja	9,20	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado

**D. Anexo: Resultados tramo Armenia
- Cartago**

TRAMO ARMENIA - CARTAGO - FUNCIONES TRAPEZOIDALES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	5,66	Baja	6,97	Fisuración baja	7,44	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K01+000	K02+000	6,23	Media	5,00	Fisuración media	5,58	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K02+000	K03+000	6,23	Media	9,00	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	4,24	Superficie buena	9,00	Mtto rutinario/Monitoreo
K03+000	K04+000	6,23	Media	5,64	Fisuración media	5,10	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,49	Refuerzo
K04+000	K05+000	6,23	Media	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K05+000	K06+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K06+000	K07+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K07+000	K08+000	6,14	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K08+000	K09+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K09+000	K10+000	6,08	Media	9,14	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K10+000	K11+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K11+000	K12+000	6,23	Media	4,29	Ahuellamiento medio	6,01	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,13	Fresado y microaglomerado
K12+000	K13+000	6,23	Media	9,12	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K13+000	K14+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K14+000	K15+000	6,23	Media	9,16	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K15+000	K16+000	6,23	Media	7,83	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K16+000	K17+000	5,64	Baja	8,92	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K17+000	K18+000	6,23	Media	6,46	Ahuellamiento bajo	7,68	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,03	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K18+000	K19+000	6,23	Media	6,57	Ahuellamiento bajo	7,68	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,03	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K19+000	K20+000	6,23	Media	7,61	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K20+000	K21+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K21+000	K22+000	6,23	Media	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K22+000	K23+000	6,23	Media	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K23+000	K24+000	6,23	Media	5,00	Fisuración media	5,58	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K24+000	K25+000	6,23	Media	8,56	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K25+000	K26+000	6,23	Media	8,56	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K26+000	K27+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K27+000	K28+000	6,19	Media	7,67	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K28+000	K29+000	6,23	Media	8,98	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K29+000	K30+000	6,23	Media	7,64	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K30+000	K31+000	6,23	Media	7,68	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K31+000	K32+000	6,23	Media	9,16	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K32+000	K33+000	6,23	Media	4,50	Ahuellamiento medio	6,10	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,23	Fresado y microaglomerado
K33+000	K34+000	6,23	Media	5,00	Fisuración media	5,58	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K34+000	K35+000	6,23	Media	9,18	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K35+000	K36+000	6,23	Media	4,47	Ahuellamiento medio	6,10	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,23	Fresado y microaglomerado
K36+000	K37+000	6,23	Media	9,12	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K37+000	K38+000	6,23	Media	9,17	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K38+000	K39+000	6,23	Media	9,11	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K39+000	K40+000	6,23	Media	7,98	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K40+000	K41+000	6,23	Media	7,74	Fisuración baja	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K41+000	K42+000	6,23	Media	9,15	Buen estado	8,50	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K42+000	K43+000	6,23	Media	3,98	Ahuellamiento medio	5,46	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo
K43+000	K44+000	6,23	Media	5,00	Fisuración media	5,58	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,75	Refuerzo

TRAMO ARMENIA - CARTAGO - FUNCIONES TRIANGULARES

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	4,91	Baja	6,69	Ahuellamiento bajo	5,21	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,12	Refuerzo
K01+000	K02+000	5,51	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,52	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K02+000	K03+000	5,29	Baja	7,55	Fisuración baja	7,00	Pavimento medio 2	2,70	Superficie regular	7,05	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K03+000	K04+000	5,28	Baja	5,15	Ahuellamiento medio	4,99	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,98	Refuerzo
K04+000	K05+000	5,44	Baja	8,82	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K05+000	K06+000	5,72	Baja	7,68	Fisuración baja	7,39	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,64	Sellado de grietas/Bacheo
K06+000	K07+000	5,37	Baja	7,44	Ahuellamiento bajo	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K07+000	K08+000	5,00	Baja	7,83	Fisuración baja	7,41	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,66	Sellado de grietas/Bacheo
K08+000	K09+000	5,45	Baja	8,33	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K09+000	K10+000	4,99	Baja	8,77	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K10+000	K11+000	5,25	Baja	8,04	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K11+000	K12+000	5,36	Baja	4,07	Fisuración severa	4,40	Pavimento regular 2	2,46	Superficie regular	3,42	Reciclado y nueva CA/ Fresado y reposición CA
K12+000	K13+000	5,33	Baja	8,31	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K13+000	K14+000	5,45	Baja	8,03	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K14+000	K15+000	5,30	Baja	8,05	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K15+000	K16+000	5,49	Baja	6,78	Ahuellamiento bajo	6,01	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,04	Fresado y microaglomerado
K16+000	K17+000	5,00	Baja	7,79	Fisuración baja	7,34	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,58	Sellado de grietas/Bacheo
K17+000	K18+000	4,97	Baja	6,30	Fisuración media	4,80	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,76	Refuerzo
K18+000	K19+000	5,57	Baja	6,65	Ahuellamiento bajo	6,04	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,14	Fresado y microaglomerado
K19+000	K20+000	5,01	Baja	6,58	Ahuellamiento bajo	5,08	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,05	Refuerzo
K20+000	K21+000	5,06	Baja	7,62	Fisuración baja	7,07	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,17	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K21+000	K22+000	5,16	Baja	8,01	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K22+000	K23+000	5,14	Baja	8,37	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K23+000	K24+000	5,22	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,23	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,14	Refuerzo
K24+000	K25+000	5,22	Baja	6,88	Ahuellamiento bajo	5,96	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,87	Fresado y microaglomerado
K25+000	K26+000	5,21	Baja	6,84	Ahuellamiento bajo	5,81	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,57	Refuerzo
K26+000	K27+000	5,40	Baja	7,57	Fisuración baja	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K27+000	K28+000	4,97	Baja	7,16	Ahuellamiento bajo	6,55	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,07	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K28+000	K29+000	5,29	Baja	7,60	Fisuración baja	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K29+000	K30+000	5,40	Baja	6,86	Ahuellamiento bajo	6,16	Pavimento medio 3	2,45	Superficie regular	5,47	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K30+000	K31+000	5,51	Baja	6,90	Ahuellamiento bajo	6,44	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,92	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K31+000	K32+000	5,32	Baja	7,29	Ahuellamiento bajo	6,94	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,80	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K32+000	K33+000	5,28	Baja	4,77	Ahuellamiento medio	4,89	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,85	Refuerzo
K33+000	K34+000	5,53	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,54	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,33	Refuerzo
K34+000	K35+000	5,36	Baja	7,25	Ahuellamiento bajo	6,91	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,70	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K35+000	K36+000	5,27	Baja	4,49	Fisuración severa	4,75	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,71	Refuerzo
K36+000	K37+000	5,45	Baja	7,99	Fisuración baja	7,93	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,33	Microaglomerado
K37+000	K38+000	5,75	Baja	8,24	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K38+000	K39+000	5,82	Baja	8,41	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,48	Superficie regular	8,49	Microaglomerado
K39+000	K40+000	5,62	Baja	6,99	Ahuellamiento bajo	7,11	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,26	Sellado de grietas/Bacheo
K40+000	K41+000	5,30	Baja	6,86	Ahuellamiento bajo	6,00	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	5,02	Fresado y microaglomerado
K41+000	K42+000	5,42	Baja	7,71	Fisuración baja	7,00	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,00	Sellado de grietas/Bacheo/Microaglomerado
K42+000	K43+000	5,59	Baja	4,34	Fisuración severa	5,00	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,00	Refuerzo
K43+000	K44+000	5,67	Baja	5,00	Ahuellamiento medio	5,68	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,43	Refuerzo

TRAMO ARMENIA - CARTAGO - FUNCIONES COMBINADAS

Abscisa inicial	Abscisa final	Rígidez	Evaluación	Deterioro	Evaluación	Condición estructural	Evaluación	Condición funcional	Evaluación	Decisión	Intervención
K00+000	K01+000	5,66	Baja	7,04	Ahuellamiento bajo	6,76	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,39	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K01+000	K02+000	6,23	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K02+000	K03+000	6,23	Media	9,05	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	4,18	Superficie buena	8,82	Mtto rutinario/Monitoreo
K03+000	K04+000	6,23	Media	6,12	Fisuración media	5,23	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,14	Refuerzo
K04+000	K05+000	6,23	Media	9,23	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K05+000	K06+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K06+000	K07+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K07+000	K08+000	6,14	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K08+000	K09+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K09+000	K10+000	6,08	Media	9,20	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K10+000	K11+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K11+000	K12+000	6,23	Media	4,76	Ahuellamiento medio	5,28	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	4,17	Refuerzo
K12+000	K13+000	6,23	Media	9,16	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K13+000	K14+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K14+000	K15+000	6,23	Media	9,21	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K15+000	K16+000	6,23	Media	7,97	Fisuración baja	7,89	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,25	Microaglomerado
K16+000	K17+000	5,64	Baja	8,97	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K17+000	K18+000	6,23	Media	6,88	Ahuellamiento bajo	6,72	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	6,32	Sellado de grietas/Bacheo/TSD
K18+000	K19+000	6,23	Media	7,06	Ahuellamiento bajo	7,16	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,34	Sellado de grietas/Bacheo
K19+000	K20+000	6,23	Media	7,72	Fisuración baja	7,29	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,52	Sellado de grietas/Bacheo
K20+000	K21+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K21+000	K22+000	6,23	Media	9,21	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K22+000	K23+000	6,23	Media	9,23	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K23+000	K24+000	6,23	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K24+000	K25+000	6,23	Media	8,79	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K25+000	K26+000	6,23	Media	8,79	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K26+000	K27+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K27+000	K28+000	6,19	Media	7,80	Fisuración baja	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,65	Sellado de grietas/Bacheo
K28+000	K29+000	6,23	Media	9,05	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K29+000	K30+000	6,23	Media	7,79	Fisuración baja	7,40	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,64	Sellado de grietas/Bacheo
K30+000	K31+000	6,23	Media	7,82	Fisuración baja	7,45	Pavimento medio 2	2,50	Superficie regular	7,70	Sellado de grietas/Bacheo
K31+000	K32+000	6,23	Media	9,22	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K32+000	K33+000	6,23	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K33+000	K34+000	6,23	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo
K34+000	K35+000	6,23	Media	9,25	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K35+000	K36+000	6,23	Media	4,94	Ahuellamiento medio	5,51	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,31	Refuerzo
K36+000	K37+000	6,23	Media	9,16	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K37+000	K38+000	6,23	Media	9,24	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K38+000	K39+000	6,23	Media	9,15	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K39+000	K40+000	6,23	Media	8,05	Fisuración baja	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K40+000	K41+000	6,23	Media	7,88	Fisuración baja	7,59	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	7,84	TSD
K41+000	K42+000	6,23	Media	9,21	Buen estado	8,00	Pavimento medio 1	2,50	Superficie regular	8,50	Microaglomerado
K42+000	K43+000	6,23	Media	4,42	Fisuración severa	4,90	Pavimento regular 1	2,50	Superficie regular	3,87	Refuerzo
K43+000	K44+000	6,23	Media	5,00	Ahuellamiento medio	5,60	Pavimento medio 3	2,50	Superficie regular	4,37	Refuerzo