



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



Em dia 21 do mês de dezembro do ano de 2022 realizou-se a apresentação pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Nuevo modelo de inspección de manifestaciones patológicas en pavimentos flexibles para la obtención del índice de deterioro. Caso estudio: Foz de Iguaçu (Brasil) - Acacías (Colombia)" apresentado pelo discente Juan Pablo Rubio Romero, do curso Engenharia civil de infraestrutura. Os trabalhos foram iniciados às 8h30, pelo docente orientador Nod Villegas Flores, presidente da banca examinadora, com o docente Ricardo Oliveira De Souza, Diego Moraes Flores e o engenheiro Vinícius Viana Dobes.

Observações da Banca Examinadora:

Realizar as observações dos membros da banca

A Banca Examinadora, ao término da apresentação oral e da arguição do acadêmico, encerra os trabalhos às 12 h 15. Os examinadores atribuíram as seguintes notas:

orientador(a)	nota final: 10,0	Média final: 10,0
docente	nota final: 10,0	
docente	nota final: 10,0	
discente	nota final: 10,0	

Proclamado o resultado pelo presidente da banca examinadora, encerraram-se os trabalhos e, para constar, eu Nod Villegas Flores lavrei a presente Ata que anexo juntamente com os demais membros da banca.

Foz de Iguaçu, 21 de dezembro de 2022.

Assinaturas:

--	--	--	--



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA Y
TERRITORIO (ILATIT)**

INGENIERÍA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**NUEVO MODELO DE INSPECCIÓN DE MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN
PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO.
CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU (BRASIL) – ACACÍAS (COLOMBIA)**

JUAN PABLO RUBIO ROMERO

Foz do Iguaçu
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y
TERRITORIO (ILATIT)**

INGENIERÍA CIVIL DE INFRAESTRUCTURA

**NUEVO MODELO DE INSPECCIÓN DE MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN
PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO.
CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU (BRASIL) – ACACÍAS (COLOMBIA)**

JUAN PABLO RUBIO ROMERO

Trabajo de conclusión de curso presentado al instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial a la obtención del título de pregrado en Ingeniería Civil de Infraestructura.

Orientador: Prof. Dr. Ing. Noé Villegas Flores.

Coorientador: Prof. Dr. Diego Moraes Flores.

Foz do Iguaçu
2022

JUAN PABLO RUBIO ROMERO

**NUEVO MODELO DE INSPECCIÓN DE MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN
PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO.
CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU (BRASIL) – ACACÍAS (COLOMBIA)**

Trabajo de conclusión de curso presentado al
Instituto Latino-Americano de Tecnología,
Infraestructura y territorio de la Universidad
Federal de la Integración Latino-Americana,
como requisito parcial a la obtención del título
de pregrado en Ingeniería Civil de
Infraestructura.

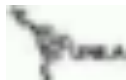
BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Eng. Noé Villegas Flores
UNILA

Prof. Dr. Eng. Ricardo Oliveira de Souza
UNILA

MSc. Eng. Vinícius Viana Dobes
SMOB - PMFI

Foz do Iguaçu, 21 de Diciembre de 2022.



TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor: Juan Pablo Rubio Romero.

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura.

Tipo de Documento	
(x) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(x) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: Nuevo modelo de inspección de manifestaciones patológicas en pavimentos flexibles para la obtención del índice de deterioro. Caso estudio: Foz do Iguaçu (Brasil) – Acacías (Colômbia).

Nome do orientador: Dr. Ing. Noé Villegas Flores.

Data da Defesa: 21/12/2022

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 21 de Diciembre de 2022

Assinatura do Responsável

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, a mi familia y a todas las personas que hicieron parte de este proceso para cumplir mi sueño.



AGRADECIMENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, porque sin su presencia en mi vida nada de esto hubiera sido posible.

Agradezco al profesor Dr. Ing. Noe Villegas por brindarme la oportunidad de adentrarme en el mundo de la investigación científica durante estos arduos años y ahora ser parte fundamental de la orientación de mi trabajo de conclusión de curso.

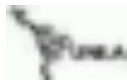
A la banca examinadora por las respectivas orientaciones, a mis colegas del curso por hacer de esta trayectoria académica algo especial en mi vida.

También a mis padres Hernando y Gloria que desde la distancia siempre creyeron en mí y fueron esa voz de aliento ante las adversidades presentadas a lo largo de mi formación profesional.

Finalmente, mis más sinceros agradecimientos, gratitud y respeto a todos mis profesores que contribuyeron de manera satisfactoria con sus conocimientos para llegar a la finalización de esta etapa de mi vida.

*Si he logrado ver más lejos, ha sido porque he
subido a hombros de gigantes.*

Isaac Newton



RESUMO

Nas cidades do Brasil de médio e pequeno porte vem-se configurando novas estratégias de planejamento, de dimensionamento e no geral de construção de pavimentos flexíveis. Na maioria dos casos, aquelas estratégias apresentam avanços relevantes no melhoramento das prestações mecânicas mediante a incorporação de componentes que melhoram a funcionalidade e desempenho do material asfáltico. Os avanços tecnológicos supõem melhoras que impactam diretamente a aspectos de funcionalidade, bem-estar e segurança do usuário durante sua trajetória nas vias urbanas. Não entanto, existem avanços significativos no setor da tecnologia do asfalto, no aspecto da durabilidade continua sendo uma carência relevante na resposta do grau de deterioro precoce das superfícies de rolamento das vias urbanas do nosso continente. O presente estudo procura desenvolver uma metodologia de análise, avaliação e especialmente de diagnósticos de superfícies de rolamentos em vias urbanas que permita apresentar de forma eficaz os danos e deformações do elemento construtivo. A ferramenta metodológica proposta está baseada na teoria de decisão multicritério MIVES e sua configuração tem sido realizada e planejada através das análises de valor de um elemento construtivo para vias interurbanas por meio do processo de jerarquia analítica (AHP). Para a validação do modelo tem sido avaliadas 5 vias na cidade de Foz do Iguaçu estado do Paraná (Brasil) e 5 vias na cidade de Acacías estado do Meta (Colômbia) selecionadas pelo alto fluxo de tráfego e praticidade na hora da inspeção e identificação das patologias correspondentes. O modelo contempla 3 requerimentos principais de avaliação que são: conforto, funcionalidade e estrutural, diagnosticando 15 patologias para cada via analisada. Finalmente obteve-se o IDEA (índice de deterioro do asfalto) através do modelo desenvolvido, ainda assim, foi implementado o uso do veículo aéreo não tripulado (VANT) conseguindo tempos de identificação reduzidos e efetuando o registro de fotografias aéreas para o respectivo processamento por meio de sistemas de informação geográfica (SIG) que deram origem à representação dos mapas de calor.

Palavras-chave: MIVES, Analytic Hierarchy Process (AHP), Veículo aéreo não tripulado (VANT), Sistemas de informação geográfica (SIG).

RESUMEN

En las ciudades de Brasil de mediano y pequeño porte se han venido configurando nuevas estrategias de planeación, de dimensionamiento y sobre todo de construcción de pavimentos flexibles. En la mayoría de los casos, estas estrategias presentan avances relevantes en el mejoramiento de las prestaciones mecánicas mediante la incorporación de componentes que mejoran la funcionalidad y desempeño del material asfáltico. Estos avances tecnológicos suponen mejoras que impactan directamente a aspectos como son funcionalidad, bienestar y seguridad del usuario durante su trayecto en las vías urbanas. Si bien, existen avances significativos en el sector de la tecnología del asfalto, el aspecto de durabilidad continúa siendo una carencia relevante en la respuesta al grado de deterioro precoz de las superficies de rodamiento de las vías urbanas en nuestro continente. Este estudio busca desarrollar una metodología de análisis, evaluación y especialmente de diagnóstico de superficies de rodamiento en vías urbanas que permita representar de forma eficiente los daños y deformaciones de este elemento constructivo. Esta herramienta metodológica propuesta está basada en la teoría de la decisión multicriterio MIVES y su configuración ha sido realizada y planeada a través de análisis de valor de un elemento constructivo para vías interurbanas mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP). Para la validación del modelo, han sido evaluadas 5 vías en la ciudad de Foz de Iguazú en el Estado de Paraná (Brasil) y 5 vías en la ciudad de Acacías en el estado del Meta (Colombia) seleccionadas por su alto flujo vehicular y practicidad a la hora de identificar las correspondientes patologías. El modelo contempla 3 requerimientos principales de evaluación como son: comodidad, funcionalidad y estructural, diagnosticando 15 patologías en cada calle revisada. Finalmente se ha obtenido el IDEA (índice de deterioro del asfalto) a través del modelo desarrollado y a su vez, siendo implementado el uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) consiguiendo tiempos de inspección e identificación reducidos y efectuando el registro de fotografías aéreas para su respectivo procesamiento por intermedio de sistemas de información geográfica (SIG) que dieron origen a la representación de los mapas de calor.

Palabras claves: MIVES, Analytic Hierarchy Process (AHP), Vehículo aéreo no tripulado (VANT), Sistemas de información geográfica (SIG).



ABSTRACT

In the cities of Brazil of medium and small size, new strategies for planning, sizing and, above all, the construction of flexible pavements have been configuring. In most cases, these strategies present relevant advances in improving mechanical performance through the incorporation of components that improve the functionality and performance of the asphalt material. These technological advances represent improvements that directly impact aspects such as functionality, well-being and user safety during their journey on urban roads. Although there are significant advances in the asphalt technology sector, the aspect of durability continues to be a relevant deficiency in the response to the degree of early deterioration of the rolling surfaces of urban roads in our continent. This study seeks to develop a methodology for analysis, evaluation and especially diagnosis of rolling surfaces in urban roads that allows to efficiently represent the damages and deformations of this constructive element. This proposed methodological tool is based on the MIVES multi-criteria decision theory and its configuration has been carried out and planned through value analysis of a constructive element for interurban roads through the Analytical Hierarchy Process (AHP). For the validation of the model, 5 roads have been evaluated in the city of Foz de Iguazú in the State of Paraná (Brazil) and 5 roads in the city of Acacías in the state of Meta (Colombia) selected for their high traffic flow and practicality. when identifying the corresponding pathologies. The model contemplates 3 main evaluation requirements such as: comfort, functionality and structural, diagnosing 15 pathologies in each street reviewed. Finally, the IDEA (asphalt deterioration index) has been obtained through the developed model and, in turn, the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) has been implemented, achieving reduced inspection and identification times and recording aerial photographs to their respective processing through geographic information systems (GIS) that gave rise to the representation of heat maps.

Key words: MIVES, Analytic Hierarchy Process (AHP), Unmanned aerial vehicle (UAV), Geographic Information Systems (GIS).

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 – Componentes del pavimento flexible.	23
Figura 2.2.1.1.1 – Representación de la patología piel de cocodrilo.	26
Figura 2.2.1.2.1 – Caracterización de la patología fisura de bloque.	28
Figura 2.2.1.3.1 – Esquema de la patología fisura de borde.	28
Figura 2.2.1.3.2 – Caracterización en vía urbana de la fisura de borde.	29
Figura 2.2.1.4.1 – Caracterización de la fisura transversal.	30
Figura 2.2.1.5.1 – Caracterización de la patología fisura transversal.	31
Figura 2.2.1.6.1 – Patología fisura por reflexión de juntas.	32
Figura 2.2.1.7.1 – Patología fisuras en juntas de construcción.	33
Figura 2.1.1.8.1 – Patología fisuras en media luna.	33
Figura 2.2.2.1.1 – Patología parches.	34
Figura 2.2.2.2.1 – Patología baches.	35
Figura 2.2.3.1.1 – Patología ahuellamiento.	36
Figura 2.2.3.2.1 – Patología ondulación.	37
Figura 2.2.4.1.1 – Patología exudación.	38
Figura 2.2.4.2.1 – Patología exudación.	39
Figura 2.2.4.3.1 – Patología pérdida del agregado.	40
Figura 2.2.4.4.1 – Patología cabezas duras.	41
Figura 2.2.4.5.1 – Patología desgaste superficial.	42
Figura 2.2.4.6.1 – Patología surcos.	43
Figura 2.2.5.1.1 – Patología separación de la berma.	44
Figura 2.2.5.2.1 – Patología afloramiento de finos.	44
Figura 2.2.5.3.1 – Patología afloramiento de agua.	45
Figura 2.3.1.1 – Proceso del modelo multicriterio MIVES.	47
Figura 2.3.2.1 – Árbol de requerimientos genérico.	48
Figura 2.3.2.2 – Ilustración representativa del ámbito de valoración.	48
Figura 2.3.4.1 – Matriz A, de comparación de pares.	52
Figura 2.3.5.1 – Índice de valor de las alternativas.	55
Figura 2.4.1 – Trecho vial UNILA, Jardim Universtario.	57
Figura 3.4.1 – Manual unificado para la inspección visual de patologías.	65
Figura 3.7.1 – Función de valor piel de cocodrilo.	78
Figura 3.7.2 – Función de valor fisura de bloque.	79



Figura 3.7.3 – Função de valor pulimento del agregado.....	79
Figura 3.7.4 – Função de valor fisura de borde	80
Figura 3.7.5 – Função de valor fisura longitudinal	80
Figura 3.7.6 – Função de valor fisura por reflexión de juntas	81
Figura 3.7.7 – Função de valor fisura transversal.....	82
Figura 3.7.8 – Função de valor para parches	82
Figura 3.7.9 – Função de valor para ahuellamiento.....	83
Figura 3.7.10 – Função de valor para ondulación.....	84
Figura 3.7.11 – Função de valor para la exudación	84
Figura 3.7.12 – Função de valor para el afloramiento de finos.....	85
Figura 3.7.13 – Função de valor para baches.	86
Figura 3.7.14 – Função de valor para pérdida del agregado.	86
Figura 3.7.15 – Função de valor para separación de la berma.....	87
Figura 3.8.1 – Ejemplificación de la altura seleccionada con ajustes de escala cartográfica.....	88
Figura 3.8.2 – Drone utilizado para los vuelos.....	89
Figura 4.1.1 – Aforo vehicular José María de Brito.....	92
Figura 4.1.2 – Aforo vehicular Avenida 7 de agosto.	92
Figura 4.2.1 – Ficha de caracterización para la Avenida Paraná.....	93
Figura 4.2.2 – Forma de medición de patologías.	95
Figura 4.2.3 – Ficha de caracterización calle 14.	96
Figura 4.2.4 – Evidencia fotográfica calle 14.....	97
Figura 5.3.1 – Índice de deterioro global de forma ascendente.....	108
Figura 5.3.2 – Índice de deterioro de forma ascendente para el confort.	109
Figura 5.3.3 – Índice funcional de forma ascendente para las vías.....	110
Figura 5.3.4 – Índice de condición estructural de forma ascendente.....	111
Figura 5.4.1 - Trecho Av. Para ti.	112
Figura 5.4.2 – Trecho Rua Buritama.....	113
Figura 5.4.3 – Trecho Rua Guariba.	114
Figura 5.4.4 – Trecho Rua Rio Claro.	115
Figura 5.4.5 – Trecho Gramado.....	116
Figura 5.4.6 – Mapa georreferenciado, Av. Gramado	117
Figura 5.4.7 – Mapa georreferenciado, Av. gramado B.	118

Figura 5.4.8 – Mapa georreferenciado, Av. Gramado C.	119
Figura 5.4.9 – Mapas georreferenciados, Calle Guariba A y B.	120
Figura 5.4.10 – Mapas georreferenciados, Av. Para ti, trechos A, B y C.	121
Figura 9.1 – Aforo vehicular Avenida Costa e Silva.	136
Figura 9.2 – Aforo vehicular Avenida Paraná	136
Figura 9.3 – Aforo vehicular Avenida República Argentina.	136
Figura 9.4 – Aforo vehicular Avenida JK.	137
Figura 9.5 – Aforo vehicular calle 13.	137
Figura 9.6 – Aforo vehicular calle 14.	137
Figura 9.7 – Aforo vehicular calle 16.	138
Figura 9.8 – Aforo vehicular calle 18.	138
Figura 10.1 – Ficha de caracterización Av. República Argentina.	139
Figura 10.2 – Ficha de caracterización Av. JK.	141
Figura 10.3 – Ficha de caracterización Av. Costa e Silva	142
Figura 10.4 – Ficha de caracterización José María de Brito.	144
Figura 10.5 – Ficha de caracterización Av. 7 de agosto	146
Figura 10.6 – Ficha de caracterización calle 13	147
Figura 10.7 – Ficha de caracterización calle 16	148
Figura 10.8 – Ficha de caracterización calle 18	150



LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 8.1 – Avenida Para ti.....	133
Fotografia 8.2 – Avenida Para ti 2.....	133
Fotografia 8.3 – Calle Buritama.	134
Fotografia 8.4 – Calle Rio Claro.....	134
Fotografia 8.5 – Trecho gramadão.....	135
Fotografia 8.6 – Trecho gramadão B.	135
Fotografia 10.1 – Bache en la Av. José María de Brito.	151
Fotografia 10.2 – Piel de cocodrilo Av. República Argentina.	152
Fotografia 10.3 – Fisura transversal Av. JK.....	152
Fotografia 10.4 - Medición de profundidad de Bache, Av. Costa e Silva.	153
Fotografia 10.5 – Fisura de bloque, Av. Paraná.	153
Fotografia 10.6 – Piel de cocodrilo, Av. 7 de agosto.	154
Fotografia 10.7 – Parche, Calle 13.	154
Fotografia 10.8 - Bache, calle 14.	155
Fotografia 10.9 – Piel de cocodrilo, calle 16 y bache, calle 18.....	155

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.2.1 - Deformaciones del pavimento flexible por categorías.	25
Tabla 2.3.4.1 – Metodologías multicriterio más utilizadas.	51
Tabla 2.3.4.2 – Valores comparativos para la asignación de pesos.	52
Tabla 2.3.4.2 – Índices de consistencia aleatorios (RI).	54
Tabla 3.3.1 – Aplicaciones MIVES.	62
Tabla 3.5.1 – Árbol de requerimientos	67
Tabla 3.5.2 – Puntuación y valores límites para la fisura piel de cocodrilo.	69
Tabla 3.5.3 – Puntuación y valores límites para la fisura de bloque.	70
Tabla 3.5.4 – Puntuación y valores límites para la fisura de borde.	71
Tabla 3.5.5 – Puntuación y valores límites para fisura longitudinal.	72
Tabla 3.5.6 – Puntuación y valores límites para la fisura transversal.	72
Tabla 3.5.7 – Puntuación y valores límites para los parches	73
Tabla 3.5.8 – Puntuación y valores límites para los baches.	74
Tabla 3.5.9 – Puntuación y valores límites para la exudación.	74
Tabla 3.5.10 – Resumen de los valores límites establecidos.	75
Tabla 3.6.1 – Pesos asignados por medio de la metodología AHP.	76
Tabla 3.7.1 – Parámetros de las funciones de valor	77
Tabla 3.8.1 – Simbología adoptada	90
Tabla 4.1.1 - Calles/Avenidas de estudio	91
Tabla 5.1.1 – Cuantificación de indicadores por ocurrencia.	98
Tabla 5.2.1 – Pesos determinados para la estructura del árbol de requerimientos.	99
Tabla 5.3.1 – Respuesta de indicadores con relación a su función de valor.	100
Tabla 5.3.2 – Índice de deterioro (indicadores), Avenida Paraná	102
Tabla 5.3.3 – Índice de deterioro (criterios), Avenida Paraná.	103
Tabla 5.3.4 – Índice de deterioro (requerimientos), Av. Paraná.	103
Tabla 5.3.5 – Índice de deterioro (indicadores), Av. República Argentina	104
Tabla 5.3.6 – Índice de deterioro (criterios), Av. República Argentina	104
Tabla 5.3.7 – Índice de deterioro (requerimientos), Av. República Argentina	105
Tabla 5.3.8 – Índices de deterioro (indicadores) para todas las Avenidas/calles	105
Tabla 5.3.9 – Índice de deterioro (criterios) para todas las Avenidas/calles	106
Tabla 5.3.10 – Índice de deterioro (Requerimientos) para todas las Avenidas/calles.	107

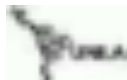


Tabla 5.3.11 – Índice de deterioro global para todas las Avenidas/calles	107
Tabla 5.4.1 – Cuantificación de indicadores localizados en las vías por medio del Drone	123

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

SGP	Sistema de Gestión de Pavimentos
VANT	Vehículo Aéreo No Tripulado
IDEA	Índice de Deterioro del Asfalto
MIVES	Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles
AHP	Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process)
FV	Funciones de Valor
FHWA	Federal Highway Administration
INVIAS	Instituto Nacional de Vías
DNIT	Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes
GSD	Ground Sample Distance
GPS	Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
GNSS	Global Navigation Satellite System
MDE	Modelo Digital de Elevación
MDS	Modelo Digital de Superficie
KML	Keyhole Markup Language



SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE FOTOGRAFIAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	xvii
1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	17
1.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE ANTECEDENTES DEL TRABAJO.....	17
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.5. MÉTODO CIENTÍFICO Y ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN	21
2. CAPITULO 2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO	23
2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES	23
2.2. DEFORMACIONES EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	23
2.2.1 Fisuras	25
2.2.2 Parches y baches	34
2.2.3 Deformaciones superficiales	36
2.2.4 Daños superficiales.....	38
2.2.5 Otros daños	43
2.3 MIVES	45
2.3.1 MIVES como herramienta de toma de decisión	46
2.3.2 Árbol de toma de decisiones.....	47
2.3.3 Función utilidad o de valor (FV)	49
2.3.4 Proceso de Jerarquía analítica (AHP).....	50
2.3.5 Valoración de las alternativas	54
2.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO	

TRIPULADO (VANT)	56
2.5 APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (SIG) PARA INSPECCIÓN DE PAVIMENTOS	57
3. CAPITULO 3: METODOLOGÍA APLICADA.....	60
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA	60
3.2. LIMITES DEL SISTEMA.....	60
3.3. AVANCES DE LA METODOLOGÍA MIVES	61
3.4 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS PRINCIPALES PATOLOGÍAS Y DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	63
3.5. ESTRUCTURA DEL ÁRBOL DE REQUERIMIENTOS.....	67
3.6 PESOS DE ATRIBUTOS ADJUDICADOS POR PONDERACIÓN	76
3.7 CONCEPCIÓN DE LAS FUNCIONES DE VALOR.....	77
3.8 IMPLEMENTACIÓN DEL VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT) Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	87
4. CAPITULO 4: CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU – ACACÍAS.....	91
4.1 DESCRIPCIÓN Y AFORO VEHICULAR	91
4.2 FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE DATOS.....	92
5. CAPITULO 5: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
5.1 CUANTIFICACIÓN DE LOS INDICADORES EN EL CASO-ESTUDIO.....	98
5.2 PESOS DE LOS ATRIBUTOS POR MEDIO DE AHP	99
5.3 RESPUESTAS DE LAS FUNCIONES DE VALOR.....	100
5.4 FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y CREACIÓN DE MAPAS	111
6. CONCLUSIONES	124
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
8. ANEXO A – Fotografías obtenidas con el Drone	133
9. APÉNDICE A – aforos vehiculares	136
10. APÉNDICE B – FICHAS DE CARACTERIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS	139
11. APÉNDICE C - MANUAL UNIFICADO DE PATOLOGÍAS.....	156

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE ANTECEDENTES DEL TRABAJO

En las últimas décadas, la inspección y evaluación del deterioro de la superficie asfáltica ha sido un gran desafío para las administraciones públicas en América Latina. Se han venido implementado políticas públicas, mayor asignación de recursos y sobre todo controles de calidad en los materiales integrantes de la masa asfáltica que satisfagan los mejores estándares de calidad en la construcción de vías terrestres.

Si bien, existe normatividad que busca revisar, auscultar y evaluar las diversas deformaciones de la superficie asfáltica en los distintos escenarios del continente, las políticas de conservación y mantenimiento siguen presentando deficiencias inherentes a la planeación y ejecución de vías.

El pavimento es una de las partes de la carretera que requiere la mayor inversión de recursos económicos, tanto en su etapa constructiva como en su etapa de manutención. Además, el estado del pavimento influye directamente en la mayoría de los costos usuario de la carretera, aumentado esos gastos cuando su estado no es óptimo, debido principalmente a los aumentos de viaje, consumo de combustible y deterioro de los vehículos de transporte, entre otros factores involucrados (VALDÉS *et al.*, 2012).

Al existir una adecuada red vial, la distancia entre las regiones y localidades se reduce, generándose una disminución en el costo del transporte. En consecuencia, habrá mejor competencia regional y local. Lo anterior, necesariamente debe ir ligado a un adecuado sistema de administración vial, logrando optimizar los recursos que se invierten para este tipo de proyectos, así como la eficiencia y funcionalidad de las vías (ALARCÓN, 2015)

En la mayoría de las ciudades de Brasil de mediano y pequeño espacio territorial, han sido atendidas de forma aislada y con poca integración durante la planeación, dimensionamiento y construcción de pavimentos, provocando que, la mayoría de estas vías presenten un alto grado de deterioro, reducción en sus niveles de servicio e incremento de los costos de mantenimiento.



Modelos para la previsión de la condición del pavimento hacen parte de un sistema de gerencia de pavimentos (SGP) y son utilizados tanto en nivel de red, para planeación, estimativa de las necesidades totales de manutención y rehabilitación, priorización de proyectos y programación de inversionistas, como en nivel de proyecto, para la definición de actividades de manutención y rehabilitación. Los modelos de previsión de desempeño deben reflejar las condiciones sobre las cuales están siendo aplicados y deben ser desarrollados a partir de datos locales (SONCIM; JÚNIOR, 2015).

Según el reporte del banco mundial, referente a la organización de las naciones Unidas, en el año 2017, se tenía una población cercana al 55%, habitando en áreas urbanas, estimando que para el año 2050 se incrementará al 66%. El fenómeno persistente del éxodo de áreas rurales, para centros urbanos ha estimulado tal tendencia de crecimiento, creando así, nuevas necesidades de movilidad urbanas bajo el detrimento de los distintos componentes urbanos. Las redes urbanas siempre han sido consideradas como una de los componentes principales de cualquier sistema de infraestructura, permeando en una clara preocupación de las entidades públicas (CALVO, 2016). Por otra parte, Brasil ocupa el puesto número 111 de 138 países evaluados en términos de infraestructura vial (CNT, 2017).

Por otro lado, al realizar una verificación visual de grados de deterioros de indicadores en pavimentos asfálticos, no se consigue tener una observación 100 % de lo que allí se encuentra. Por medio de dispositivos electrónicos no tripulados (VANT) se busca reducir considerablemente el tiempo empleado de ejecución en comparación al método tradicional (visual). A su vez, empleando Drones con sensores multiespectrales, se obtienen otros resultados, por medio de imágenes infrarrojas o tridimensionales, que incorporan un valor e información diferente al trabajo requerido de análisis de grados de deterioro en pavimentos flexibles.

Sin embargo, al pasar de los años, los equipos electrónicos no tripulados han ganado fama en la ejecución de obras y también, como apoyo a la hora de realizar trabajos de campo, es una tecnología emergente en la ingeniería civil con aplicaciones que se dan en la inspección de obras, hasta en la inspección de estructuras en entorno de alto riesgo (MELO, 2016).

Por lo tanto y considerando la necesidad de optimizar el proceso de análisis vial, brindando un apoyo al Sistema de Gestión de pavimentos (SGP) y el gran potencial que ofrecen los equipos electrónicos no tripulados, es primordial desarrollar metodologías que permitan su uso de manera eficiente y técnicamente adecuada (BREEN *et al.*, 2015).

En ese sentido, esta investigación se centra en la obtención del cálculo de índice de deterioro del asfalto (IDEA) por medio de la configuración y desarrollo de una metodología de inspección y evaluación para pavimentos flexibles que permita evaluar la condición y grado de deterioro de una vía urbana.

El desarrollo de este trabajo ha implicado la búsqueda de estrategias y medidas por medio de un modelo multicriterio que permite presentar informaciones referentes a las condiciones relevantes del pavimento (i.e. criterios de confort, funcional y estructural) que visan otorgar las problemáticas existentes en cuanto a la calidad y seguridad de la vía.

1.2. OBJETIVO GENERAL

La presente investigación, tiene como objetivo general la implementación de un nuevo modelo de inspección de manifestaciones patológicas en pavimentos flexibles para la obtención del índice de deterioro del asfalto y sus grados de deterioro asociados conforme los criterios, requerimientos e indicadores del pavimento.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con la finalidad de que sea atendido el desarrollo y ejecución del objetivo general se han desglosado los siguientes objetivos específicos:

- i) Revisar la bibliografía existente con relación a las manifestaciones patológicas presentes en pavimentos flexibles. Esa fase busca, revisar las experiencias internacionales inherentes a los modelos de inspección de pavimentos, medición de grados de deterioro y normatividad de las mismas.
- ii) Identificar las distintas patologías en pavimentos flexibles asfálticos distinguiendo las principales características de su origen, nivel de deterioro y futuros daños posibles.



- iii) Seleccionar las manifestaciones patológicas más relevantes, en aras de construir la herramienta metodológica de inspección en pavimentos.
- Examinar las características principales de las patologías en pavimentos, identificando posibles causas, hipótesis de falla, y las distintas formas de medición.
 - Caracterizar las patologías seleccionadas por medio de la creación de un manual de inspección básico de identificación y representación de patologías con el perfil cuantitativo y cualitativo.
 - Concebir y desarrollar la estructura metodológica de inspección de pavimentos asfálticos.
 - Construir el árbol de requerimientos, criterios e indicadores correspondientes a las manifestaciones patológicas seleccionadas.
 - Construir la herramienta de medición de los grados de deterioro en función de normativas y reglamentaciones internacionales oficiales.
 - Definir los pesos de cada patología considerada por medio del Analytic Hierarchy Process (AHP).
 - Desarrollar funciones de utilidad que permitan integrar patologías con perfil cuantitativo y cualitativo.
- iv) Realizar el levantamiento piloto para la aplicación de la metodología ya caracterizada en 5 vías urbanas, en la ciudad de Foz do Iguaçu, Paraná (Brasil) y Acacías, Meta (Colombia).
- v) Realizar levantamiento de patologías por medio de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) en 5 vías urbanas de Foz do Iguaçu, a la luz de los resultados de la etapa anterior, esta fase supone la aplicación de la herramienta metodológica apoyado de dispositivos electrónicos.
- vi) Crear una simbología adaptable con las patologías seleccionadas con el fin de poder realizar una identificación de cada manifestación patológica por medio de sistemas de información geográfica (SIG).
- vii) Desarrollar las conclusiones generales, particulares y futuras líneas del proyecto estudiado.

1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se enfatiza principalmente en la obtención del índice de deterioro del asfalto por medio de la implementación de una nueva herramienta metodológica de inspección de manifestaciones patológicas en pavimentos flexibles.

Con relación a las *limitaciones geográficas y espaciales* esta investigación ha considerado tomar como referencia 5 vías urbanas en la ciudad de Foz do Iguaçu (Brasil) y 5 vías urbanas en Acacías (Colombia) y para el uso del vehículo aéreo no tripulado se han estipulado 5 vías urbanas en Foz do Iguaçu.

En mención a los *alcances metodológicos* se han seleccionado tres (3) requerimientos fundamentales que son: confort, funcional y estructural basados en la teoría de decisión y análisis de valor.

Por tanto, aplicando la metodología MIVES a la investigación, se permite comparar desde la parte sostenible, alternativas para un proyecto, obteniendo un índice de valor o de sostenibilidad bajo las directrices de una teoría de multi atributos.

1.5. MÉTODO CIENTÍFICO Y ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

Las secciones anteriores han brindado una introducción y justificativa del problema que será abordado en esta investigación y que comprende la siguiente estructura:

En el **capítulo 1**, es presentada la introducción, que conlleva el contexto de la investigación, justificando el porqué del desarrollo del mismo, junto con los objetivos generales y específicos, sus limitaciones para línea de investigación en desarrollo, así como el método científico y la estructura a realizar.

En el **capítulo 2**, es presentado el estado del conocimiento donde son abordadas las deformaciones del pavimento flexible, características, contextualización de la metodología MIVES, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la inspección de pavimentos y los sistemas de información geográfica (SIG).

En el **capítulo 3**, se define la metodología de inspección de las manifestaciones patológicas para la investigación, por medio del método MIVES.

Así mismo, aquí también se expone el modelo matemático que rige los grados de deterioro asociados a cada patología.



En el **capítulo 4**, es mostrado el caso estudio de las vías urbanas seleccionadas para Foz do Iguaçu y Acacías, donde se es implementada una ficha de caracterización de datos que lleva en consideración los pesos atribuidos (a través de AHP) a cada patología. Por otra parte, son presentados las tendencias de las respectivas funciones de valor asociadas a los indicadores.

En el **capítulo 5**, son presentados los resultados y discusiones de los índices de deterioro del asfalto para cada vía, seguidamente representa la calibración de la herramienta metodológica creada, y a su vez son mostrados los resultados obtenidos por medio del vehículo aéreo no tripulado (VANT) y su implementación por medio de los sistemas de información geográfico (SIG).

En el **capítulo 6**, se presentan las conclusiones generales, líneas de investigación futuras asociadas al trabajo, se realizan recomendaciones, propuestas de mejoría y limitaciones encontradas a lo largo de la pesquisa.

En el **capítulo 7**, son expuestas las referencias bibliográficas que sirvieron de apoyo para el desarrollo de esta investigación.

Por último, en el **Anexo A** son adicionadas varias fotografías obtenidas a través del dispositivo electrónico no tripulado en las calles seleccionadas; en el **apéndice A**, se presenta el aforo vehicular realizado para las vías que fueron objeto de estudio. En el **apéndice B** son exhibidas las fichas de caracterización utilizadas para las vías urbanas analizadas y fotografías. En el **apéndice C**, se expone el manual de inspección visual elaborado para la selección de patologías a estudiar.

2. CAPITULO 2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

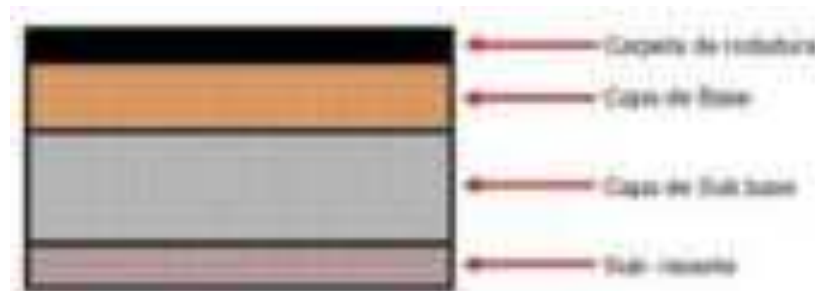
2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos asfálticos poseen una capa de revestimiento, que es constituida básicamente de agregados y ligantes (MEDINA; MOTTA, 1997). Formados por cuatro capas principales como son:

- Revestimiento asfáltico: Contiene la capa de rodadura, que tiene contacto directo con las ruedas de los vehículos, y que busca permeabilizar toda la estructura, las capas intermedias que tienen la función de ligación.
- Base: Capa destinada a resistir y distribuir los esfuerzos provenientes del tráfico y sobre el cual el revestimiento es construido.
- Sub-base: Complemento de la base, con la función de regularización del terreno abajo y de apoyo para la base.
- Subrasante: Terreno de fundación para el pavimento.

En la **Figura 2.1.1** se muestra la ilustración de los componentes de un pavimento asfáltico.

Figura 2.1.1 – Componentes del pavimento flexible.



Fuente: MORALES; ARNOLDO, (2007).

2.2. DEFORMACIONES EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

La deformación permanente puede presentarse en las diferentes capas que componen la estructura del pavimento, inclusive a nivel de subrasante. Las causas que la originan son diversas. Por tal motivo la elaboración de un proyecto de pavimentos asfálticos debe ser integral y muy cuidadoso con relación a la calidad de los materiales seleccionados, diseño de la mezcla asfáltica, diseño estructural, estudio de tráfico, tipo de suelo que forman la subrasante, clima y otros factores como procesos constructivos (HUAMÁN; CHANG, 2016).



La mejor forma de identificar las deformaciones o fallas del pavimento es determinar porqué se han generado mediante la ejecución de un estudio de reconocimiento de la vía por lo menos 1 vez al año. Se deben identificar el tipo, severidad y magnitud de cada deformación encontrada, también si es posible determinar si la carga soportada, el agua, temperatura o su construcción fueron las causas (MIRANDA, 2010).

Los tipos de deformaciones que se pueden encontrar en los pavimentos flexibles son fisuras y grietas, deterioro superficial y otros deterioros. En la actualidad se encuentran disponibles múltiples manuales con la información requerida, entre los que tenemos para este caso en particular el “*Distress identification manual*” de la administración federal de carreteras de Estados Unidos (FHWA), el manual de INVIAS de Colombia y la normativa DNIT 005/2003 del Brasil.

Conforme *Distress Identification Manual* (2014) las deformaciones en los pavimentos asfálticos se clasifican por fisuras, parches y baches, deformación de la superficie, daños de la superficie y otros deterioros. INVIAS (2006) a comparación con el manual de deformaciones de Estados Unidos, agrega otros tipos de fallas que no son muy comunes, sin embargo, no dejan de ser importantes a la hora de realizar las respectivas identificaciones e inspecciones. En la **Tabla 2.2.1**, se presenta de manera detallada las deformaciones existentes en pavimentos flexibles por categorías.

Tabla 2.2.1 - Deformaciones del pavimento flexible por categorías.

Deformaciones	Tipo de falla
Fisuras	Piel de cocodrilo
	Fisura de bloque
	Fisura de borde
	Fisura transversal
	Fisura longitudinal
	Fisura por reflexión de juntas
	Fisuras en juntas de construcción
	Fisuras en media luna
Parches y baches	Parches/ deterioro de parches Baches
Deformaciones Superficiales	Ahuellamiento
	Ondulación
Daños superficiales	Exudación
	Pulimento del agregado
	Pérdida del agregado
	Cabezas duras
	Desgaste superficial
	Surcos
Otros daños	Separación de la berma
	Afloramiento de finos
	Afloramiento de agua

Fuente: Elaborado a partir de los datos extraídos del manual INVIAS (2006) y FHWA (2014).

2.2.1 Fisuras

2.2.1.1 Piel de cocodrilo

Este tipo de patología corresponde a una de las más comunes en pavimentos flexibles. Se tratan de fisuras interconectadas con patrones irregulares, usualmente localizadas en zonas sometidas a repeticiones de carga. Se inicia en el fondo de la capa asfáltica, donde los esfuerzos de tracción son mayores. Por lo general tienen un diámetro promedio menor que 30 cm (INVIAS, 2006).

Causas: Su causa más frecuente es por fatiga de la estructura o carpeta asfáltica debido a:

- Espesura de la estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga.
- Problemas de drenaje que afecten materiales granulares.



- Compactación deficiente de capas granulares o asfálticas.
- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas.

Por otra parte, INVIAS (2006) clasifica las fallas por grados de severidad (i.e. baja, media, alta) con los siguientes criterios:

- Baja: Fisuras longitudinales paralelas que pueden llegar a tener aberturas de 3 mm, principalmente en la huella, no existe evidencia de bombeo.
- Media: Fisuras que han formado un patrón de polígonos pequeños y angulosos, con aberturas de entre 1 mm y 3 mm respectivamente, sin evidencia de bombeo.
- Alta: Las fisuras han evolucionado con aberturas mayores a 3 mm, presenta desportillamiento en los bordes y los bloques se encuentran sueltos, y por tanto puede llegar a presentar bombeo.

La unidad de medición de esta patología es en m^2 . En la **Figura 2.2.1.1.1** se muestra la representación ilustrativa de esta falla.

Figura 2.2.1.1.1 – Representación de la patología piel de cocodrilo.



Fuente: Autor (2022).

2.2.1.2 Fisura de bloque

Este tipo de fisura también es bastante común encontrarla en el pavimento asfáltico dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular y se define de la siguiente manera:

“Conjunto de fisuras interligadas caracterizadas por la configuración de bloques formados por lados bien definidos, pudiendo o no, presentar erosión acentuadas en los bordes”
(DNIT- 005, 2003).

Los bloques tienen un lado promedio mayor a 0.30 m³, usualmente aparecen en áreas que no están sometidas a cargas, sin embargo, se han encontrado fisuras de bloque que han evolucionado a piel de cocodrilo debido a las cargas por acción del tránsito (INVIAS, 2006).

Causas: Normalmente causada por la contracción del concreto asfáltico por la variación de temperatura durante el día, esto quiere decir en ciclos de esfuerzo-deformación sobre la mezcla. Otras causas se asocian a grietas de contracción que provienen de materiales estabilizados que se utilizaron como base.

FHWA (2014) define los grados de severidad para fisura de bloque en bajo, moderado, alto.

- Bajo: Los bloques se empiezan a conformar, pero no están bien definidos y poseen aberturas ≤ 6 mm y no presentan desportillamiento en los bordes.
- Moderado: Bloques definidos por fisuras con aberturas > 6 mm y ≤ 19 mm, y pueden o no presentar despostillamiento en los bordes.
- Alto: Bloques bien definidos con aberturas > 19 mm, pudiendo presentar o no desportillamiento en los bordes.

Su unidad de medición es en m². En la **Figura 2.2.1.2.1** es presentada la caracterización de la patología.



Figura 2.2.1.2.1 – Caracterización de la patología fisura de bloque.



Fuente: Autor (2022).

2.2.1.3 Fisura de borde

Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular que se encuentran cerca del borde de la calzada. Frecuentemente se presentan por la ausencia de berma o por la diferencia entre la berma y la calzada (INVIAS, 2006).

Causas: Su principal causa es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a los bordillos, anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que alcanzan el borde del carril. Estas se encuentran distanciadas entre 0.3 m o 0.6 m del borde de la calzada.

Los grados de severidad asociados y su unidad de medición corresponden a los mismos criterios que las fisuras transversales y fisuras longitudinales, que a futuro esta patología podría evolucionar a un desprendimiento del borde o descascaramiento (FHWA, 2014).

En la **Figura 2.2.1.3.1** es mostrado un esquema de la patología.

Figura 2.2.1.3.1 – Esquema de la patología fisura de borde.



Fuente: FHWA (2014).

En seguida, en la **Figura 2.2.1.3.2** se presenta la caracterización de la falla en la vía urbana.

Figura 2.2.1.3.2 – Caracterización en vía urbana de la fisura de borde.



Fuente: Autor (2022).

2.2.1.4 Fisura transversal

Corresponden a discontinuidades de la carpeta asfáltica en la dirección transversal a la dirección del tránsito. Indican la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura del pavimento. La localización de estas son indicativos de la causa que las generó (INVIAS, 2006).

Causas: Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto, puede ocurrir cuando existe bajas temperaturas o gradientes térmicos $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Otra causa corresponde a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez, también por el riego de la liga insuficiente o ausencia total.

La FHWA (2014) define los grados de severidad asociados a esta patología como:

- Bajo: Abertura de fisura $\leq 6\text{ mm}$ cerrada o con sello en buen estado.
- Moderado: Abertura de fisura $> 6\text{ mm}$ y $\leq 19\text{ mm}$, puede presentar

desportillamiento suave e inicio de infiltración de agua.

- Alto: Abertura de fisuras > 19 mm, puede presentar desportillamientos considerables y causar movimientos bruscos en los vehículos.

Su unidad de medición es en metros lineales. En la **Figura 2.2.1.4.1** se observa la caracterización de la patología.

Figura 2.2.1.4.1 – Caracterización de la fisura transversal.



Fuente: Autor (2022).

2.2.1.5 Fisura longitudinal

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito y posee las mismas consideraciones que las fisuras transversales en cuanto a la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura del pavimento. Cuando aparecen en zonas sujetas a cargas, pueden estar relacionadas a problemas de fatiga (INVIAS, 2006).

Causas: Fatiga de la estructura, comúnmente en las huellas del tránsito. Otra causa es por la reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Según la FWHA (2014) los grados de severidad asociados son los mismos que

las fisuras transversales, y su unidad de medición es el metro lineal. En la **Figura 2.2.1.5.1** se presenta la caracterización de la falla.

Figura 2.2.1.5.1 – Caracterización de la patología fisura transversal.



Fuente: Autor (2022).

2.2.1.6 Fisura por reflexión de juntas

Se presenta cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido, y aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, teniendo un patrón regular (INVIAS, 2006).

Causas: Generadas por los movimientos de las juntas entre las placas de concreto rígido o de bloques formados por las grietas que allí existen. Cambios de temperatura y de humedad. Como en las otras patologías a estas no se les atribuye a las cargas de tránsito.

Conforme FHWA (2014) los grados de severidad asociados se representan de la siguiente forma:

- Bajo: Abertura de fisuras ≤ 6 mm.
- Moderado: Abertura de fisuras > 6 mm y ≤ 19 mm.
- Alto: Abertura de fisuras > 19 mm.

Su unidad de medición es el metro lineal. Cabe destacar que este tipo de patología comparte características similares que las fisuras transversales y longitudinales. En la **Figura 2.2.1.6.1** se observa su respectiva caracterización en vía.



Figura 2.2.1.6.1 – Patología fisura por reflexión de juntas.



Fuente: INVIAS (2006).

2.2.1.7 Fisuras en juntas de construcción

Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Usualmente se localizan en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de carril y en zonas de unión entre dos etapas de colocación del pavimento asfáltico (INVIAS, 2006). Sus causas se dan por lo siguiente:

- Carencia del ligante en las paredes de la junta.
- deficiencias de compactación en la zona de la junta.
- Unión entre materiales de diferente rigidez.

Los grados de severidad asociados corresponden a los mismos descritos para las fisuras longitudinales y transversales, junto también con su unidad de medición que es el metro lineal (m).

En la **Figura 2.2.1.7.1** se visualiza su respectiva caracterización.

Figura 2.2.1.7.1 – Patología fisuras en juntas de construcción.

Fuente: INVIAS (2006).

2.2.1.8 Fisuras en media luna

Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca, por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos. Su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2) y los grados de severidad asociados corresponden a los mismos criterios que las fisuras longitudinales y transversales (INVIAS, 2006). Sus causas en general pueden ser:

- Falla lateral del talud en zonas de terraplén.
- Falla del talud en zonas de corte a media ladera.
- Ausencia o falla de obras de contención.

En la **Figura 2.2.1.8.1** se presenta la caracterización de la falla en la vía.

Figura 2.1.1.8.1 – Patología fisuras en media luna.

Fuente: INVIAS (2006).



2.2.2 Parches y baches

2.2.2.1 Parches/deterioro de parches

Los parches hacen relación a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea por reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o granular) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (e.g. acueducto, gas), (INVIAS, 2006). Las causas referentes a los parches pueden ser:

- Procesos constructivos deficientes.
- Progresión del daño inicial por el cual se debió realizar el parcheo.
- Deficiencias en las juntas.
- Propagación de daños existentes en áreas alrededores del parche.

INVIAS (2006) cataloga los grados de severidad asociados conforme las siguientes especificaciones:

- Bajo: El parche está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.
- Medio: El parche presenta daños de nivel medio o bajo y deficiencia de bordes.
- Alto: Parche gravemente deteriorado y requiere reparación rápidamente.

Su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2) y si no es reparado a tiempo, puede generar deterioro global del pavimento. En la **Figura 2.2.2.1.1** es presentada la caracterización de la falla.

Figura 2.2.2.1.1 – Patología parches.



Fuente: Autor (2022).

2.2.2.2 Baches

Este tipo de falla se encuentra con bastante frecuencia en los pavimentos asfálticos, y es definida:

“Cavidad que se forma en el revestimiento por diversas causas (inclusive por falta de adherencia entre capas superpuestas, causando el desprendimiento de las capas) pudiendo alcanzar las capas inferiores del pavimento, provocando desagregación de esas capas”. (DNIT-005, 2003)

Causas: Este tipo de deterioro se genera por la captación de agua en las zonas que están fisuradas por la acción del tráfico que produce reducción de esfuerzos efectivos, causando las deformaciones y la falla de la carpeta asfáltica. También puede ser causado por defectos constructivos o deficiencia de espesores de capas estructurales (INVIAS, 2006).

La FHWA (2014) designa los grados de severidad asociados así:

- Bajo: Profundidad de afectación ≤ 25 mm.
- Moderado: Profundidad de afectación > 25 mm y ≤ 50 mm.
- Alto: Profundidad de afectación > 50 mm.

Su respectiva unidad de medición es metros cuadrados (m^2). En la **Figura 2.2.2.2.1** se ilustra su representación en la vía.

Figura 2.2.2.2.1 – Patología baches.



Fuente: Autor (2022).



2.2.3 Deformaciones superficiales

2.2.3.1 Ahuellamiento

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Comúnmente se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración. Esto puede llevar a una falla estructural del pavimento y posibilitar hidroplaneo por captación de agua (INVIAS, 2006).

Causas: Generalmente producido por una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante. La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos y también suele darse por una compactación inadecuada de las capas durante su construcción.

La INVIAS (2006) comprende los grados de severidad asociados como:

- Bajo: Profundidad ≤ 10 mm.
- Moderado: Profundidad > 10 mm y ≤ 25 mm.
- Alto: Profundidad > 25 mm.

Su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2), y si no se repara a tiempo puede evolucionar a fisura de piel de cocodrilo o desprendimiento. En la **Figura 2.2.3.1.1** se presenta la caracterización de la falla.

Figura 2.2.3.1.1 – Patología ahuellamiento.



Fuente: INVIAS (2006).

2.2.3.2 Ondulación

También denominado como corrugación o rizado, falla caracterizada por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, perpendiculares a la dirección del tránsito, longitudes menores que 1 m (INVIAS, 2006).

Causas: Básicamente es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación, uso de ligantes blandos o agregados redondeados, sin embargo, entre las causas más comunes se tienen:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- Exceso o mala calidad del asfalto.
- Falta de curado de la mezcla en la vía.

INVIAS (2006) asocia los grados de severidad de la siguiente manera:

- Bajo: Profundidad máxima ≤ 10 mm, causa poca vibración al vehículo.
- Medio: Profundidad máxima > 10 mm y ≤ 20 mm, causa mayor vibración del vehículo.
- Alta: Profundidad máxima > 20 mm, causa vibración excesiva del vehículo.

Su unidad de medición es metros cuadrados (m^2) y si no se repara a tiempo, este tipo de falla puede evolucionar a un ahuellamiento o exudación. En la **Figura 2.2.3.2.1** es presentada la caracterización de la falla.

Figura 2.2.3.2.1 – Patología ondulación.



Fuente: FHWA (2014).



2.2.4 Daños superficiales

2.2.4.1 Exudación

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento, se observa brillante y varias veces pegajosa. Afecta la resistencia al deslizamiento (INVIAS, 2006).

Causas: Ocurre cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo, ocurre en épocas o zonas de mucho calor. Otras causas pueden ser asfaltos muy blandos o derrames de algunos solventes.

INVIAS (2006) otorga los grados de severidad asociados de esta forma:

- Bajo: Exudación se hace visible en la superficie, sin embargo, las franjas son aisladas y de espesor delgado.
- Medio: Exceso de asfalto libre que cubre parcialmente los agregados, localizada en las huellas del tránsito.
- Alta: Presencia de una cantidad alta de asfalto en la superficie, que cubre la totalidad de los agregados, dándole un aspecto húmedo de intensa coloración.

Su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2) de acuerdo a su grado de severidad. En la **Figura 2.2.4.1.1** se observa la falla en la vía.

Figura 2.2.4.1.1 – Patología exudación.



Fuente: INVIAS (2006).

2.2.4.2 Pulimento del agregado

En este daño se evidencia la presencia de agregados con caras planas o por la ausencia de agregados angulares. En cualquiera de los casos se puede afectar la resistencia al deslizamiento (INVIAS, 2006).

Causas: Radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento (e.g. calizas).

Según FHWA (2014) no tiene grados de severidad asociados y su unidad de medición es en metros cuadrados (m²). En la **Figura 2.2.4.2.1** es presentada su identificación en la vía.

Figura 2.2.4.2.1 – Patología exudación.



Fuente: FHWA (2014).

2.2.4.3 Pérdida del agregado

También conocida como desintegración, hace referencia a la desintegración superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, generando una superficie más rugosa. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, en los que pueden aparecer estrías en la dirección del riego (FHWA, 2014). Entre sus causas más usuales se tienen:

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Lluvia durante aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.



Conforme INVIAS (2006) los grados de severidad asociados para este tipo de daño son:

- Bajo: Los agregados gruesos comienzan a desprenderse y se observan huecos con separación > 0.15 m.
- Medio: Existe mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.
- Alta: Desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos, con separaciones < 0.05 m, generando una superficie muy rugosa.

Su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2). En la **Figura 2.2.4.3.1** es exhibido el daño identificado en la vía.

Figura 2.2.4.3.1 – Patología pérdida del agregado.



Fuente: Autor (2022).

2.2.4.4 Cabezas duras

Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo al conductor (INVIAS, 2006). Entre sus causas más usuales se tienen:

- Uso de agregados gruesos con tamaño inadecuado.

- Distribución granulométrica deficiente en el rango de arenas.
- Segregación de los agregados durante su manejo en obra.
- Heterogeneidad en la dureza de los agregados

Conforme FHWA (2014) su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2) y no posee grados de severidad asociados. En la **Figura 2.2.4.4.1** es mostrada la identificación del daño en la vía.

Figura 2.2.4.4.1 – Patología cabezas duras.



Fuente: Autor (2022).

2.2.4.5 Desgaste superficial

Deterioro del pavimento que es generado por acción del tráfico vehicular, agentes abrasivos o erosivos. Generalmente se presenta como pérdida de ligante y mortero. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por el medio ambiente y tránsito (INVIAS, 2006).

Causas: Es un deterioro natural del pavimento que es producido también por la falta de adherencia del asfalto a los agregados, también por la deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.

De acuerdo con INVIAS (2006) se tienen los siguientes grados de severidad asociados:

- Baja: La superficie ha perdido su textura uniforme y se muestra ligeramente áspera o rugosa, irregularidades ≤ 3 mm.
- Media: Irregularidades > 3 mm y ≤ 10 mm.
- Alta: En la superficie se han comenzado a producir desintegración



superficial de la capa de rodadura y se presentan desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada.

Su unidad de medición es en metros cuadrados (m^2) y si no se repara a tiempo puede evolucionar a un daño de pérdida del agregado. En la **Figura 2.2.4.5.1** se observa la identificación del daño en carretera.

Figura 2.2.4.5.1 – Patología desgaste superficial.



Fuente: Autor (2022).

2.2.4.6 Surcos

Corresponde a franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica. Algunas de sus causas se dan por la distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, lo cual produce desprendimiento de los agregados. Su unidad de medición es el metro cuadrado (m^2) y no presenta grados de severidad asociados (INVIAS, 2006).

Si no se repara a tiempo, puede llegar a evolucionar a un daño de pérdida del agregado, descascaramiento o bache respectivamente. En la **Figura 2.2.4.6.1** es indicada su identificación en la vía.

Figura 2.2.4.6.1 – Patología surcos.

Fuente: INVIAS (2006).

2.2.5 Otros daños

2.2.5.1 Separación de la berma

Corresponde al incremento en la separación de la junta entre la calzada y la berma. Este daño genera que la infiltración de agua hacia el interior de la estructura, provocando su deterioro. Algunas de sus causas están relacionadas con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños o ausencia de la liga entre la calzada y la berma cuando se construyen por separado (INVIAS, 2006).

Los grados de deterioro asociados en consonancia con INVIAS (2006) se ajustan a:

- Bajo: Abertura ≤ 3 mm;
- Medio: Abertura > 3 mm y ≤ 10 mm.
- Alta: Abertura > 10 mm.

Al no ser tratado este daño en el tiempo adecuado, puede provocar hundimientos y fisuras de borde en el peor de los casos. En la **Figura 2.2.5.1.1** se expone la identificación de dicho daño en la vía.



Figura 2.2.5.1.1 – Patología separación de la berma.



Fuente: FHWA (2014).

2.2.5.2 Afloramiento de finos

Corresponde a la salida de agua infiltrada junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ella las cargas del tránsito. La presencia de manchas o material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del daño. Su causa más común es por ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura (INVIAS, 2006).

No posee grados de deterioro asociados ni unidad de medición, por tanto, cuando sea identificado este daño en la vía, se hace el respectivo reporte que hay presencia de afloramiento de finos. En la **Figura 2.2.5.2.1** se observa su representación en carretera.

Figura 2.2.5.2.1 – Patología afloramiento de finos.



Fuente: FHWA (2014).

2.2.5.3 Afloramiento de agua

Presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay acción de la lluvia. Su causa más común es por ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, filtración de aguas. No tiene grados de severidad asociados y su unidad de medición es el metro lineal (m) (INVIAS, 2006).

Si no es reparado a tiempo, puede transcender a una falla de piel de cocodrilo, descascamientos o baches. En la **Figura 2.2.5.3.1** es presentada la identificación del daño en la vía.

Figura 2.2.5.3.1 – Patología afloramiento de agua.



Fuente: INVIAS (2006).

2.3 MIVES

El modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles (MIVES) es una metodología de toma de decisión multicriterio que evalúa cada una de las alternativas que pueden resolver un problema genérico definido, a través de un índice de valor. Se engloba dentro de la teoría de multi-atributo (KEENEY *et al.*, 1976).

Una de las características más importantes de la metodología MIVES y a su vez, que es diferente de los demás modelos multicriterio es que el planteamiento de todo el modelo de valoración es anterior a la creación de las alternativas, por tanto, las decisiones se toman al inicio, cuando se definen los aspectos que se tendrán en cuenta y cómo serán valorados (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

Conforme VIÑOLAS *et al.* (2009) Las etapas de la metodología MIVES son:

- Delimitación de la decisión: se define quien toma la decisión, límites del sistema y se establecen las condiciones de contorno.

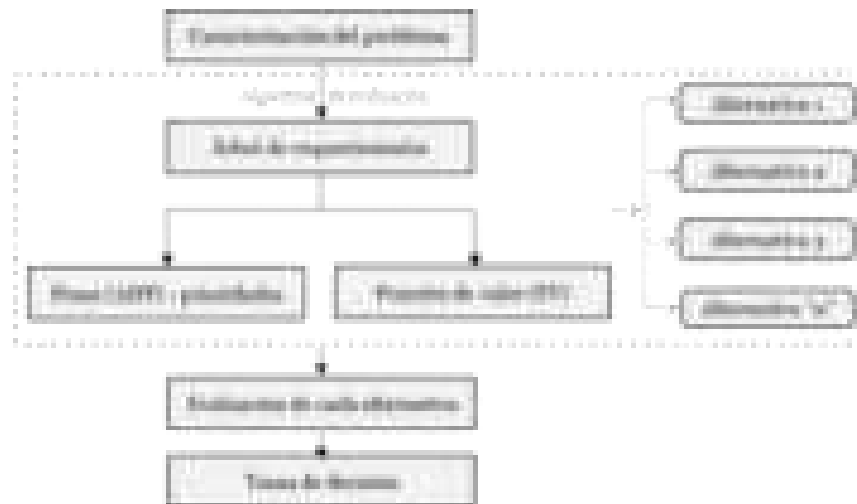


- Definición del Árbol de requerimientos: Se ordenan y colocan de forma ramificada los aspectos que se tendrán en cuenta en la decisión.
- Funciones de valor (FV): Se crean unas funciones para poder obtener asignaciones de 0 a 1 de todos los aspectos pertenecientes a la última ramificación.
- Asignación de pesos (AHP): Se asigna la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación.
- Definición de las alternativas: Se definen diversas alternativas factibles al problema de la toma de decisión planteado, en algunos casos, las alternativas están prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello, no se debe realizar esta fase.
- Valoración de la alternativa: Se obtiene el índice de valor para cada una de las alternativas planteadas.
- Realización de un análisis de sostenibilidad: Se analiza el posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de variar los pesos o las funciones de valor. Esta es una fase opcional.

2.3.1 MIVES como herramienta de toma de decisión

En la **Figura 2.3.1.1**, se ha representado el algoritmo general del modelo multicriterio MIVES, para este caso en particular. Se ha representada el proceso de evaluación de la herramienta por medio de 6 etapas fundamentales. La primera etapa, denominada “caracterización del problema”, define los límites del sistema y las condiciones de contorno del problema a resolver. Es decir, se observan los agentes que intervienen en la toma de decisión. En esta fase, se aborda la composición de los 3 ejes principales: requerimientos (objetivos o metas del problema), componentes (elementos a ser analizados) y ciclo de vida (del problema).

La segunda etapa del modelo es considerada como la más importante del estudio. La construcción del “árbol de requerimientos” tiene como objetivo organizar, agrupar e identificar las variables seleccionadas en la primera etapa del análisis.

Figura 2.3.1.1 – Proceso del modelo multicriterio MIVES.

Fuente: Autor (2022).

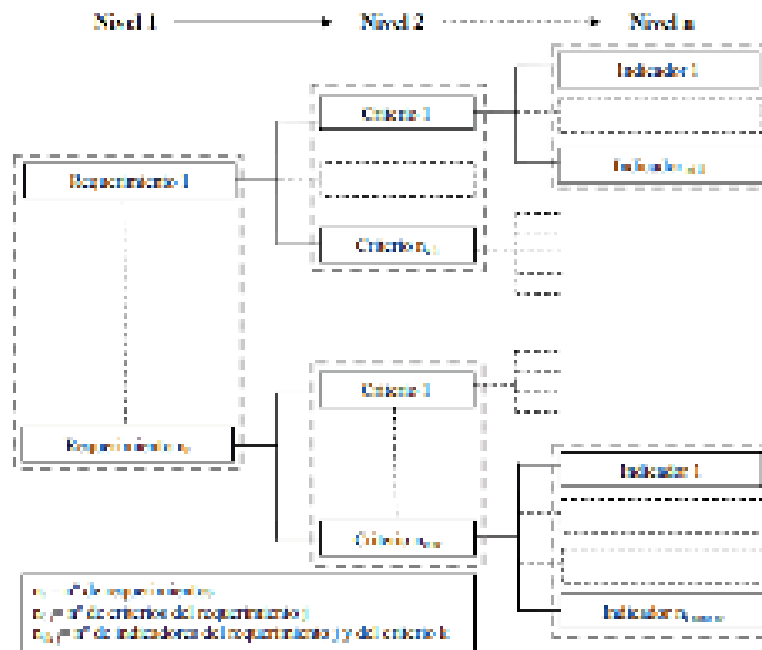
La tercera etapa puede ser desarrollada de forma paralela. Es decir, por un lado, se aplica la herramienta del proceso de jerarquía analítica (AHP), definiendo los pesos o importancias a cada uno de los indicadores y las funciones utilidad o de valor (FV), que permite convertir los indicadores en unidades unidimensionales.

La consideración de indicadores por medio de esta metodología sugiere la inclusión de aspectos que sean relevantes en la toma de decisión y que discriminen entre las alternativas estudiadas. La inclusión de indicadores de poca importancia, relevancia o con superposición de información, sugieren al modelo complejidad al momento de evaluar las alternativas y, sobre todo, disuelve la precepción de importancia (pesos) al momento de comparar atributos.

2.3.2 Árbol de toma de decisiones

Es la ordenación en forma ramificada de todos aquellos aspectos que serán estudiados y que se han estructurado en la primera fase. En la **Figura 2.3.2.1** se observa la forma genérica de un árbol de requerimientos. En los primeros niveles se encuentran los aspectos más cualitativos y generales denominados requerimientos. En los niveles intermedios de la ramificación se encuentran los criterios y subcriterios, y en el último nivel se encuentran los aspectos más importantes, que van a ser evaluados directamente, los indicadores (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

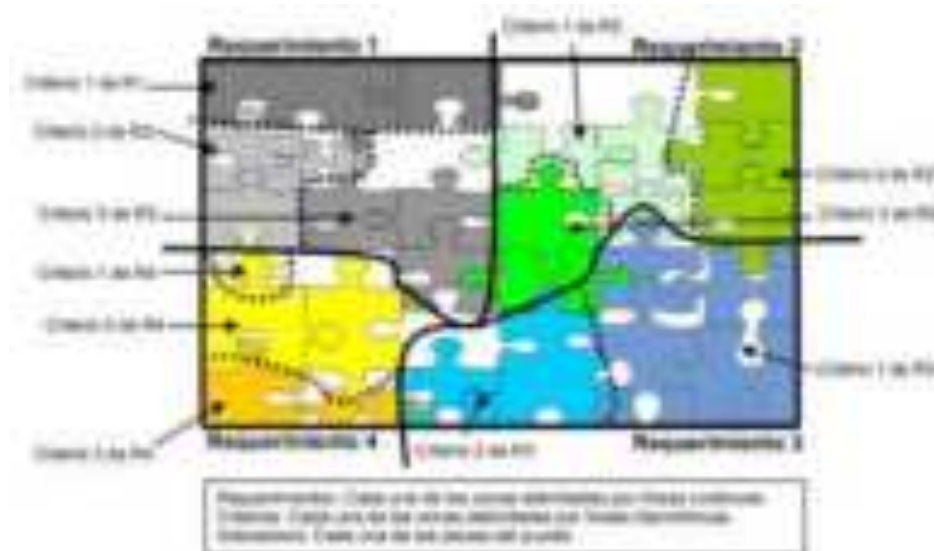
Figura 2.3.2.1 – Árbol de requerimientos genérico.



Fuente: VIÑOLAS et al, (2009).

Los requerimientos, criterios e indicadores deben representar de forma fiel lo que realmente se quiere valorar. En la **Figura 2.3.2.2** se ilustra un puzle, donde las piezas son los indicadores seleccionados. El rectángulo como un todo, representa la toma de decisión, las líneas continuas y discontinuas subdividen los requerimientos y criterios. Las características principales de los indicadores escogidos en el árbol de requerimientos deben ser representativos, discriminantes, complementarios, relativos, cuantificables precisos y tratables (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

Figura 2.3.2.2 – Ilustración representativa del ámbito de valoración.



Fuente: VIÑOLAS et al, 2009.

2.3.3 Función utilidad o de valor (FV)

La metodología multicriterio MIVES integra en su modelo de evaluación el concepto de función de utilidad. Tal concepto se encuentra representado de forma analítica en la **Ecuación (1)** y considera parámetros de caracterización de la propia función como son: “ $X_{\min}$ ”, “ $X_{\max}$ ” (definen los posibles límites mínimos y máximos de cualquier tipo de alternativa a ser evaluada).

Por otro lado, los parámetros “ k ” y “ c ” permiten crear puntos de inflexión en el desarrollo de la forma de la función de valor. Finalmente, el parámetro “ p ” describe la pendiente de la curva.

Para los casos donde el parámetro “ p_i ” < 1 , la curva mantiene una configuración cóncava. Mientras que para, $p_i > 1$ la curva puede adoptar una forma en “S”. En casos donde $p_i = 1$, el formato es representado en forma lineal.

El objetivo principal de la función de valor es poder comparar las valoraciones de los indicadores con unidades de medida diferentes. Por ejemplo, consiste en comparar variables del tipo: tiempo, temperatura, indicadores cuantificados por atributos, etc. Así, se puede realizar una suma ponderada de las diferentes valoraciones de los indicadores, por tanto, permite pasar una cuantificación de una variable o atributo a una variable adimensional comprendida entre 0 y 1 (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

$$V_{ind} = B * (1 - e^{-K_i * (\frac{|X - X_{\min}|}{C_i})^{p_i}}) \quad (1)$$

Donde:

$X_{\min}$ – Valor en abscisas, cuya valoración equivale a cero (para funciones de valor crecientes).

X – Abscisa del indicador evaluado.

p_i – Factor de forma que define si la curva es cóncava, convexa, recta o con forma de “S”.

C_i – Se aproxima a la abscisa del punto de inflexión.

K_i – Se aproxima a la ordenada del punto de inflexión.

B – Factor que permite que la función se mantenga en el rango de 0 a 1.



Por otra parte, el parámetro “B”, se calcula por medio de la **Ecuación (2)**.

$$B = (1 - e^{-K_i * (\frac{|X_{\max} - X_{\min}|}{C_i})^{P_i}})^{-1} \quad (2)$$

Siendo $X_{\max}$, la abscisa del indicador que genera un valor igual a 1 (para funciones crecientes).

En el caso que existan ordenadas por fuera de los límites establecidos, la valoración del indicador adoptará valor de 0 o 1, siempre y cuando no se superen los valores límites establecidos anteriormente (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

2.3.4 Proceso de Jerarquía analítica (AHP)

La esencia analítica de los modelos multicriterio está fundamentada (en su mayoría) en la valoración de atributos e indicadores por medio de comparaciones entre estos. Las percepciones y comparaciones de las variables de estudio, con frecuencia están basadas en modelos metodológicos o articulaciones matemáticas que apoyan al decisor, para otorgar un determinado peso o prioridad con respecto a una variable. En la **Tabla 2.3.4.1**, se han representado las metodologías más utilizadas en evaluación de proyectos en lo que se refiere a modelos multicriterio y que utilizan asignación de pesos o prioridades durante el proceso de valoración.

La asignación de los pesos se hace dentro de una misma ratificación, o sea, se comparan aspectos que sean homogéneos. Los pesos de los indicadores se calculan en relación a otros pertenecientes a un mismo criterio, igualmente se hace con los criterios, se calcula el peso de un criterio con relación a los restantes que hacen parte de un mismo requerimiento (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

Los pesos de los requerimientos, criterios e indicadores se pueden hacer de manera directa o por medio de la metodología AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Conforme Saaty (1980) la comparación se hace de acuerdo a una escala propuesta de la siguiente forma:

- 1: Igual importancia.
- 3: Ligeramente más importante o preferido.
- 5: Más importante o preferido.
- 7: Mucho más importante o preferido.
- 9: Absolutamente o extremadamente preferido.

Tabla 2.3.4.1 – Metodologías multicriterio más utilizadas.

Tipo	Metodología
Variables continuas infinitas	Programación por objetivos y por compromisos
	Métodos por agrupación de variables: Directo; Multi--Attribute Utility Theory (MAUT); Hierarchies; Analytic Hierarchy Process (A.H.P.) (Saaty,1980).
Variables discretas infinitas	Métodos basados en relaciones y alcance de objetivos: Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) (Roy,1968) Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE) (Brans,1982). Interactive Multi-criteria Decision Making (TODIM) (Kahneman,1979). Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (Hwang,1981)
Variables discretas infinitas	Métodos de toma de decisión multi objetivo

Fuente: Autor (2022).

La ponderación (pesos) de los atributos (requerimientos, criterios e indicadores) para este caso en particular ha sido definida por medio de la metodología del proceso de jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés). Saaty (1980) define que durante el proceso de evaluación y calibración del modelo se emplean conceptos matemáticos, analíticos y psicológicos con el objetivo de contrastar de una forma empírica las comparaciones entre las variables.

El concepto de tal herramienta supone que la mente humana puede comparar dos atributos distintos de forma sencilla. Sin embargo, al interceder una tercera variable, la propia mente comienza a generar confusión para valorar los atributos de forma precisa (MILES,1956). La **Tabla 2.3.4.2**, representa la escala numérica de comparación de la herramienta AHP. En ella, se aprecia una escala verbal de comparación y hasta cierto punto, la apreciación de tal comparación. Es de hacer notar que las comparaciones se realizan entre los indicadores pertenecientes al grupo de origen y naturaleza similar.



Tabla 2.3.4.2 – Valores comparativos para la asignación de pesos.

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Atributos con igual importancia	Los dos atributos contribuyen igualmente al criterio
3	Moderadamente más importante un atributo que otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un atributo frente al otro.
5	Fuertemente más importante un atributo que otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un atributo frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un atributo que la de otro.	Un atributo domina fuertemente. Su dominación está probada en la práctica.
9	Importancia extrema de un atributo frente a otro.	Un atributo domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Fuente: Autor (2022).

Lo descrito anteriormente, da lugar a una matriz de comparación como la muestra la **Figura 2.3.4.1**. Por cada bloque de comparación tiene las características conforme VIÑOLAS et al, (2009):

- Matriz diagonal con valor de 1 en toda la diagonal como consecuencia que se compara la importancia de un elemento consigo mismo.
- El elemento inverso de la matriz es el número inverso. Por ejemplo, si el indicador “i”, respecto al indicador “j” tiene una importancia de 3, cuando se compare el indicador “j” con el indicador “i”, será el inverso, es decir, 1/3.

Figura 2.3.4.1 – Matriz A, de comparación de pares.

$$\begin{vmatrix}
 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\
 a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1
 \end{vmatrix}$$

Fuente: VIÑOLAS et al, (2009).

De cada matriz de componentes resultante de cada bloque homogéneo (i.e. requerimientos, criterios e indicadores), el vector propio de esta matriz define los pesos de cada uno de los requerimientos, criterios e indicadores utilizados, conforme la **Ecuación (3)**, “w” viene siendo el vector propio. El cálculo del vector propio es la media de nos “n” pesos de un aspecto definido a partir de la importancia relativa de todos los aspectos con uno de ellos (VIÑOLAS et al., 2009)

$$A w = \lambda_{m\acute{a}x} w [Id] \quad (3)$$

Donde, “A” es una matriz “nxn” y se le denomina autovalores de A ($\lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_n$) a las soluciones de la ecuación $(A - \lambda Id) w = 0$. “Id” es la matriz identidad, la solución “w” asociada a cada autovalor se le llama auto vector y $\lambda_{m\acute{a}x}$ es el autovalor mayor de todos.

Por otra parte, se debe calcular la consistencia (o no) de las comparaciones. Se toma como ejemplo que “A” es el doble de importante que “B” y “B” es el doble de importante que “C”, o sea “A” debe ser 4 veces más importante que “C”, y si la comparación entre “A” y “C” se aleja mucho de 4, significa que los juicios no son muy consistentes (VIÑOLAS *et al.*, 2009).

Para calcular la consistencia o no de la matriz de comparación, se parte del concepto de índice de consistencia (CI) y el índice de consistencia aleatoria (RI). En la Ecuación (4) se define el índice de consistencia.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} < 0.1 \quad (4)$$

Las variables descritas en la Ecuación (4) ya fueron definidas anteriormente. El índice de consistencia aleatoria (RI) es la media de todos los índices de consistencia de una matriz comparación generada de forma aleatoria, solo depende del tamaño de la matriz y los valores conforme la **Tabla 2.3.4.3**.



Tabla 2.3.4.2 – Índices de consistencia aleatorios (RI)

n	RI	-	n	RI
1	0	-	7	1.341
2	0	-	8	1.404
3	0.525	-	9	1.452
4	0.882	-	10	1.484
5	1.115	-	11	1.513
6	1.252	-	12	1.535

Fuente: Adaptado de VIÑOLAS *et al.* (2009)

La relación de consistencia (RC) es la relación entre la consistencia de la matriz de comparación (CI) y la media de las consistencias de todas las matrices de comparación posibles de orden “nxn”. El valor de CI depende del autovalor de la matriz de comparación, el valor de RI se aprecia en la **Tabla 2.3.4.2** y depende del tamaño de la matriz, es decir, de “n” (VIÑOLAS *et al.*, 2009). Siendo así, para que una matriz se considere consistente, el valor de CR no debe ser superior a 0.1, conforme la **Ecuación (5)**.

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (5)$$

Donde:

CR – Relación de consistencia.

CI – Índice de consistencia.

RI – Índice de consistencia aleatoria.

2.3.5 Valoración de las alternativas

En este punto, ya se debieron valorar los indicadores, criterios y requerimientos. Los indicadores son los únicos aspectos que son valorados directamente. En la **Figura 2.3.5.1** se muestra un esquema de cómo es realizado la valoración de cada uno de los criterios. Conforme Viñolas *et al.* (2009), la valoración de los indicadores se obtiene a partir de la función de valor y la cuantificación de cada alternativa en el indicador estudiado, y la valoración de los criterios se obtiene conforme la **Ecuación (6)**.

$$V_{criterio} = \sum_{i=1}^n V_{indicador} \times Peso_{indicador} \quad (6)$$

Donde:

n – Número de indicadores pertenecientes al criterio valorado.

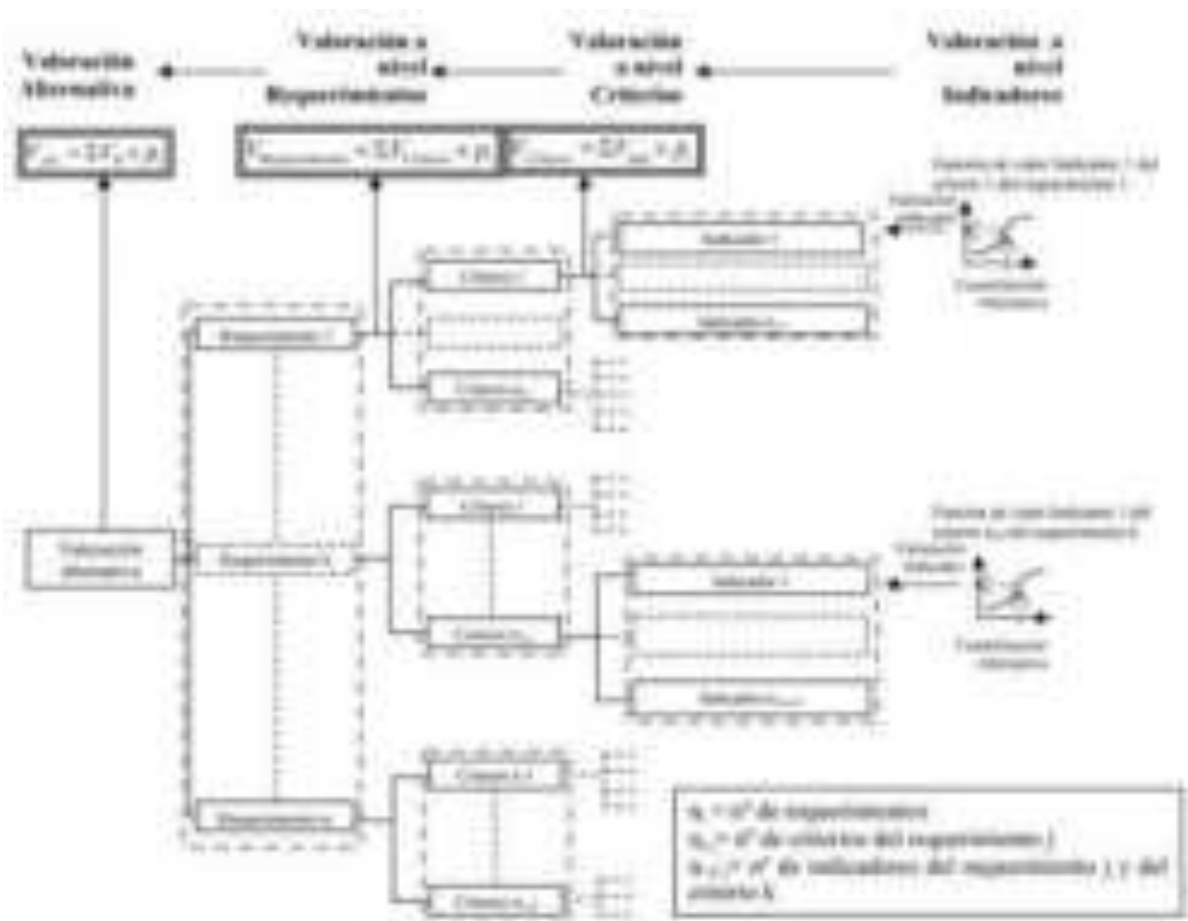
De forma análoga, es calculada la valoración de los requerimientos descrita en la **Ecuación (7)** como el sumatorio de las variaciones de los criterios pertenecientes a ese mismo requerimiento, multiplicado por sus pesos.

$$V_{requerimiento} = \sum_{i=1}^n V_{criterio} \times Peso_{criterio} \quad (7)$$

Por tanto, el índice de valor de los requerimientos, se obtiene sumando las valoraciones de los requerimientos, multiplicado por sus pesos, y es obtenido por medio de la **Ecuación (8)**.

$$V_{alternativa} = \sum_{i=1}^n V_{requerimiento} \times Peso_{requerimiento} \quad (8)$$

Figura 2.3.5.1 – Índice de valor de las alternativas.



Fuente: VIÑOLAS *et al.* (2009).



2.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CON VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT)

En los últimos años, los vehículos aéreos no tripulados (VANTs), comúnmente conocidos como drones, han presentado diversas aplicaciones en la ingeniería civil, alguna de ellas en la inspección de tramos viales, apuntando a la reducción, tanto de costos como del esfuerzo laboral-operativo (ASSIS,2019). Para un análisis cuantitativo es necesario que la toma de datos sea precisa y sin interferencia; no obstante, en ocasiones la presencia de obstáculos (e.g. árboles, sombras, vehículos.), dificulta la recolección de los datos, generando complicaciones en la identificación de las patologías (RAGNOLI, 2018).

Considerando la necesidad de optimizar el proceso de evaluación vial en apoyo al sistema de gestión de pavimentos (SGP) y el potencial que ofrecen los vehículos aéreos no tripulados, es fundamental desarrollar metodologías que permitan su uso de manera eficiente y técnicamente adecuada (VASCONCELOS *et al.*, 2021).

Siendo popular el uso de Drones, se intensificó su utilización como herramienta, debido a su capacidad de obtención de imágenes a partir de elevadas altitudes referentes al nivel suelo, ya sea por entidades, para el control de áreas de preservación, también por las alcaldías para monitorear locales donde pueda haber focos de transmisiones de enfermedades, etc. Para la identificación de patologías se demuestra tener un gran potencial, puesto que posee cámara de alta resolución, sensores de estabilidad y sistemas de geolocalización (SANTANA, 2017). En la **Figura 2.4.1** se presenta un trecho de vía paralelo a la UNILA, campus Jardín Universitario, en donde se pueden evidenciar con claridad los defectos del pavimento gracias a la alta resolución de la cámara incorporada. Con una altitud de 20 m con respecto al suelo.

Figura 2.4.1 – Trecho vial UNILA, Jardim Universtario.

Fuente: Autor (2022).

2.5 APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (SIG) PARA INSPECCIÓN DE PAVIMENTOS

El geoprocesamiento engloba diversas tecnologías de tratamiento y manipulación de datos geográficos, que van por medio de programas computacionales. Dentro de esas tecnologías, se destacan el sensoramiento remoto, la digitalización de datos, la automatización de tareas cartográficas, la utilización de sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sistemas de información geográficas (SIG) (SANTOS *et al.*, 2000).

Este conjunto de tecnologías trae consigo varios tipos de sistemas y técnicas para el tratamiento de información espacial y permite la visualización en forma de mapas, tablas y gráficos, lo cual la constituye como una herramienta de análisis y subsidio a la toma de decisión.

Así, la tarea de planear, administrar y gerenciar un sistema de mallas viales es consideradas extremadamente complejas, si se lleva en cuenta el elevado número de factores o variables que tienen relevancia dentro de este sistema vial. Factores que muchas veces son desconocidos o hasta ignorados, debido a la falta de una



metodología adecuada al almacenamiento y manejo (FERNANDES,2011)

En el ámbito mundial, la implementación de los sistemas de información geográfica (SIG) han tenido una importante aceptación, esto a causa de la facilidad de localización e incorporación de la información necesaria para la toma de decisiones en los proyectos. Este sistema de georreferencia permite que sean ingresados datos y procesamiento de información en tiempo real con parámetros establecidos para la debida evaluación del pavimento asfáltico. El apoyo de los sistemas de gestión de pavimentos (SGP) se pueden realizar actividades como el monitoreo de la condición del pavimento en su fase de post-construcción, mantenimiento y rehabilitación, junto con un análisis económico de alternativas (VITILLO, 2013).

Esta herramienta de alto poder de análisis, interpretación y visualización, que emplea tecnología avanzada mediante hardware y software especializados, integra datos alfanuméricos con la información geográfica. Los SIG hacen esto por medio del despliegue de diferentes temáticas como la red vial, topografía, usos del suelo, red hídrica, catastro, equipamientos colectivos, espacios públicos, etc. Así, es posible realizar procesos complejos de análisis multicriterio con el fin de tomar decisiones y optimizar los recursos de un problema en particular (DUQUE; LONDOÑO, 2012).

El deterioro de la malla vial tiene repercusiones económicas, ambientales, sociales y políticas, más que todo para el usuario, ya que se traduce a costos de operación vehicular en tiempos de desplazamiento, inconformidad, accidentalidad, congestión y consumo de combustible. Desde el punto de vista de la infraestructura, se aumenta las intervenciones en la capa de rodadura y la estructura del pavimento.

Álvarez *et al.* (2007) crearon un modelo de planificación del mantenimiento de una red de carreteras en Badajoz, España, donde permite determinar las condiciones de las vías, evaluar indicadores y llevarlos a un ambiente SIG, con la finalidad de visualizar su distribución según el estado, se realizan diagnósticos y se logran optimizar recursos asignados. Mediante la visualización geográfica, se observan las condiciones más adecuadas de las vías para la seguridad de los usuarios, preservación de las estructuras viales, señalización horizontal, vertical y de los taludes.

Chen *et al.* (2012) plantean que el propósito de un sistema de gestión de pavimentos es determinar la intervención más efectiva de mantenimiento y

reconstrucción de un territorio, así, integrando SIG y GPS para la recolección y almacenamiento de datos, análisis geoespacial y optimización de la planeación del mantenimiento, con lo cual se aumenta la capacidad del modelo de gestión.

En las últimas décadas, ha ido expandiéndose la aplicación del SIG en diversos campos de la ingeniería vial y países como Argentina, Brasil, Panamá, Perú, Israel, EEUU y España ya cuentan con esta implementación.

El primer elemento a considerar es ejecutar el sistema de gestión vial, donde se recopilan todos los datos de campo (i.e. inventario de patologías), diagnóstico del estado actual de la malla vial o trechos a considerar, ya sea con el método de identificación tradicional o por medio de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) donde finalmente son procesadas las fotografías y obtener un resultado que permita mantener un servicio adecuado y proteger el patrimonio vial por un determinado período de tiempo.



3. CAPITULO 3: METODOLOGÍA APLICADA.

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Con anterioridad, en el capítulo 2 se presentó el estado del arte, donde se abordaron todos los aspectos relacionados con las deformaciones patológicas encontradas en los pavimentos asfálticos, la conceptualización de la metodología MIVES, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) y la implementación de los sistemas de información geográficos (SIG).

En ese sentido, este capítulo 3 plantea y representa la herramienta metodológica llevada a cabo para este trabajo de conclusión de curso. Se exponen todas las directrices con la finalidad de brindar trazabilidad en otros escenarios distintos al propuesto.

Bajo este contexto, el capítulo ha sido constituido de tal forma que inicialmente se observen las distintas aplicabilidades de la metodología empleados en otros campos de acción y, por consiguiente, desglosar la investigación conforme las etapas específicas del método.

Esta investigación representa un grado de dificultad y desafío mayor a otros modelos de inspección, identificación y evaluación de indicadores urbanos, ya que, posee indicadores de diferente naturaleza (cualitativos y cuantitativos) como son las manifestaciones patológicas en la malla vial y la calidad de la misma.

3.2. LIMITES DEL SISTEMA

Llevando en consideración que este trabajo de conclusión de curso tiene como foco la obtención del grado de deterioro del asfalto por medio de la creación de una herramienta metodológica basada en el modelo MIVES y su replicación en distintos escenarios.

Se consideraron 5 vías urbanas en Foz do Iguaçu (Brasil) y 5 vías urbanas en Acacías (Colombia) que presentaran mayor afluencia vehicular, debido a que las cargas transmitidas por acción del tráfico corresponden a uno de los principales factores que provocan las deformaciones y deterioros en el asfalto.

Por otra parte, con la utilización del vehículo aéreo no tripulado (VANT) que otorga reducción en los tiempos de inspección e identificación de los cuantitativos patológicos encontrados en las 5 vías urbanas destinadas para tal fin.

Partiendo de los requerimientos indispensables con relación a la condición del pavimento se tuvieron inicialmente 5 requerimientos: Condición estructural, condición ambiental, condición del tráfico, funcionalidad y confort. Sin embargo, después de consultas con especialistas en el área y sustentando en la teoría de decisión, se deliberó que los 3 requerimientos pilares de este trabajo de conclusión de curso son: Confort, funcional y estructural.

3.3. AVANCES DE LA METODOLOGÍA MIVES

La metodología de trabajo adoptada para este caso de estudio, ha sido utilizada en la última década con avances significativos en sus distintas aplicaciones. El modelo MIVES plantea la filosofía de comparar alternativas, procesos, materiales o componentes, durante todo el ciclo de vida del proyecto.

En definitiva, el planteamiento del modelo MIVES permite comparar, desde un contexto sostenible, distintas alternativas de un proyecto, permitiendo obtener un índice de valor o de sostenibilidad bajo las directrices de la teoría multi-atributo. En la **Tabla 3.3.1** se han reflejado las diversas aplicaciones encontradas en la literatura asociadas al concepto del modelo multicriterio MIVES. Cada una de estas metodologías considera atributos en su estructura principal con avances metodológicos para cada caso en particular.



Tabla 3.3.1 – Aplicaciones MIVES.

Metodología	Atributos de la aplicación	Área de aplicación	Avances metodológicos
ALARCÓN (2008)	Concepción del Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles.	Edificio industrial	Concepción metodológica
ORMAZÁBAL (2008)	Diseño de sistema subterráneo en Barcelona.	infraestructura	Fase de conservación
SAN JOSÉ; GARCIA (2008)	Incorpora aspectos de sostenibilidad en obras de proyecto de concreto estructural	Cemento y concreto	Análisis en elementos estructurales
ROCA <i>et al.</i> (2008)	Evaluación de departamentos universitarios	Educación	Fortalecimiento institucional.
VIÑOLAS <i>et al.</i> (2009)	Evaluación integral del profesorado universitario	Educación	Fortalecimiento institucional.
VIÑOLAS <i>et al.</i> (2009)	Herramienta informática carácter sostenible.	Interdisciplinar	Tecno. Información
VILLEGAS (2009)	Sistemas constructivos en carreteras	Carreteras	nuevo sistema
AGUADO <i>et al.</i> (2011)	Procedimientos para evaluar sostenibilidad en estructuras de concreto estructural. Código Español.	Legislación concreto estructural	Anexo 14 concreto estructural
DEL CAÑO (2012)	Obras de concreto durante todo ciclo de vida	Estructuras	Ciclo de vida
PONS; AGUADO (2012)	Tecnología en estructuras educativas.	Construcción	conceptos innovación
ENRICA (2012)	Índice de Calidad Acústica de la Arquitectura	Arquitectura	Modelos de evaluación
PONS; DE LA FUENTE (2013)	Elementos de concreto armado, condiciones mecánicas, geometría y sus procesos.	estructuras	Funcional – estrutura
JATO <i>et al.</i> (2014)	Pavimentos permeables	Pavimentos	Nuevos materiales
CASANOVAS (2014)	comparar de forma objetiva y sistematizada distintos procedimientos constructivos	Construcción civil	Evalúa proyecto en fase de licitación
REYES <i>et al.</i> (2014)	Proyectos de construcción integrando temas de salud y seguridad.	Seguridad laboral	Impacto social
HOSSEINI <i>et al.</i> (2015)	Turbinas eólicas: requisitos medioambientales, económicos y sociales.	Energías renovables	Soluciones de energía renovable
GÓMEZ (2015)	Gestión de recogida de residuos urbanos	Administración Pública	Criterios de Sostenibilidad
DE LA FUENTE <i>et al.</i> (2016)	Tuberías de alcantarillado.	Sistemas de alcantarillado	Saneamiento y nuevos materiales.
HOSSEINI <i>et al.</i> (2016)	Viviendas provisionales, reduciendo impactos negativos ambientales y económicos.	Construcción civil	Bienestar social
PONS; DE LA	Ventajas, dificultades y	Interdisciplinar	Arquitectura-

FUENTE (2016)	limitaciones, para un conjunto de medidas sostenibles.	ingeniería	
GOLSHID <i>et al.</i> (2017)	Fachadas en vivienda.	Construcción civil	criterios arquitectura
PLÀ (2017)	Diseño sostenible de puentes de hormigón.	Estructuras	Análisis y criterios de Sostenibilidad.
PUJADAS <i>et al.</i> (2017)	Distribución de gasto público.	Planificación urbana	Políticas públicas.
PUJADAS <i>et al.</i> (2018)	Pavimentos urbanos a través de la condición de la estructura, capacidad de servicio y daño.	Pavimentos urbanos	Creación de metodología de evaluación urbana
ÁLVAREZ (2018)	Comparativo de sostenibilidad en carreteras mexicanas.	Pavimentos urbanos.	Análisis de Sostenibilidad.
PALACIOS (2018)	Automatización de la construcción.	Construcción Civil	Sistemas automatizados de construcción.
CANOURA (2018)	Optimización de sostenibilidad de condensadores para central de energía eléctrica.	Energías renovables	Optimización de sostenibilidad.
GONZÁLES (2018)	Nave de almacenaje con estructura metálica.	Tecnología Industrial	Análisis y comparativo de sostenibilidad.
GONZÁLES; ZAMORA (2019)	Evaluación multicriterio para valorar estado actual del soporte físico de un polígono de actividad económica	Arquitectura	Análisis multicriterio
VACA (2020)	Selección de material alternativo Híbrido o no convencional para construcción.	Construcción Civil	Materiales alternativos
TORRES (2020)	Impactos ambientales en construcción de vías vehiculares.	Pavimentos urbanos	Análisis y criterios de Impactos.
GARCÍA; MATIENZO (2020)	Sector Inmobiliario considerando factor social y económico.	Inmobiliario	Valoración metodológica aplicada.
HERRERA (2020)	Estudio de diferentes tipologías de puentes desde el punto de vista de su sostenibilidad	Estructuras	Análisis de sostenibilidad
ARNAIZ (2021)	Construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible	Hidráulica	Análisis sostenible
MORA (2021)	Sostenibilidad de sistemas de gestión de residuos municipales	Ambiental	Análisis de sostenibilidad
ARAYA (2021)	Toma de decisiones en la evaluación de destinos turísticos	Ambiental	Análisis de sostenibilidad
HOSSEINI <i>et al.</i> (2022)	Modelo de sostenibilidad para seleccionar la ubicación óptima del sitio para unidades de vivienda	Construcción civil	Modelo de sostenibilidad

Fuente: Autor (2022).

3.4 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS PRINCIPALES PATOLOGÍAS Y DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Existen un sin número de patologías presentes en los pavimentos asfálticos y dependiendo del país, se les brinda una mayor importancia a unas más que a otras.



Por tanto, para este trabajo de conclusión de curso se tomaron como referencia 2 manuales y 1 normativa de identificación de deformaciones y deterioros, sujeto a los países que se abordaron, como lo son Brasil y Colombia, que, a su vez, toman como eje de referencia para su construcción el manual de identificación de los Estados Unidos.

En ese sentido, las referencias utilizadas fueron las siguientes:

- *DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL: For the long-Term Pavement performance program* (Estados Unidos).
- Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, INVIAS (Colombia).
- Norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Terminología.

Se recopilaron todas las informaciones pertinentes, tanto como el levantamiento cuantitativo de las patologías, y características de las mismas, visando la eficiencia e importancia de las deformaciones y defectos seleccionados para esta investigación.

En esas condiciones, se llegó a la necesidad de confeccionar un manual propio de apoyo y complemento, que contuviera todo lo necesario para el desarrollo del trabajo de conclusión de curso.

El manual creado titulado: **MANUAL UNIFICADO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS**, posee informaciones en su interfaz principal tales como: Descripción, forma visual de inspección, posibles causas, ocurrencia (i.e. localización), patología futura posible, índice de deterioro, representación gráfica, grados de deterioro, etc.

Allí, también es incorporado los grados de deterioro asociados conforme a una escala de colores para identificar si es un grado de deterioro bajo, intermedio o alto. En el caso de grado de deterioro bajo, se le otorgó una coloración verde. Para el grado de deterioro intermedio, una coloración beige, y para el grado de deterioro alto una coloración roja. A su vez, también es posible encontrar las hipótesis que generan dichas patologías.

Por último, se cuenta con una representación gráfica y fotográfica de cada una

de las patologías seleccionadas. En la **Figura 3.4.1**, se evidencia el área de interacción para la patología piel de cocodrilo.

Al final de este documento, en el **apéndice C**, es anexado el documento completo para mayores detalles de visualización, comprensión y estructura del mismo.

Figura 3.4.1 – Manual unificado para la inspección visual de patologías.

1. CRACKING (FISURAS)					
1.1. FATIGUE CRACKING (PIEL DE COCODRILO)					
Descripción	Formas visuales de inspección	Posibles Causas	Daño	Patología Fatiga posible	Índice de deterioro
Fisuras de la superficie de pavimento por frotamiento	Manifestación con características de "piel de cocodrilo"	Exposición al tráfico de vehículos	Desmoronamiento de la superficie de la pista	Desmoronamiento, desmenuzamiento, fisuras	
Representación Gráfica					
 Figura 1. Fatiga (Fisura) (Cracking)			 Figura 2. Fisura (Fisura) (Cracking)		
Forma de la Patología					
Morfología de Fisura			• Línea de la superficie • El pavimento se está desmenuzando y se está desmenuzando a lo largo de la fisura • Las dimensiones del espacio son mayores a las indicadas en el proyecto • Ausencia de control de calidad en ejecución de obra • Presencia de agua del flujo de pavimento del pavimento		
Grados de Severidad			Inspección visual para medir el grado de Severidad		
Baja			Fisura superficial o no muy profunda. Las fisuras se encuentran aisladas, no continuas. No hay evidencia de fisuras de fondo.		
Intermedia			Fisuras de fondo de la superficie del pavimento. Fisuras continuas de fondo. No hay evidencia de fisuras de fondo.		
Alta			Fisuras de fondo de la superficie del pavimento. Fisuras continuas de fondo. Fisuras continuas de fondo. Las fisuras pueden ser muy profundas y estar en la zona de la pista de pavimento. Se debe evidenciar el fondo de la fisura.		
Forma de inspección y medición					
Representación y medición por medio de un índice de deterioro de la pista de pavimento. El índice de deterioro de la pista de pavimento se mide en el índice de deterioro de la pista de pavimento. El índice de deterioro de la pista de pavimento se mide en el índice de deterioro de la pista de pavimento.			 Figura 3. Fisura (Fisura) (Cracking)		



Fuente: Autor (2022).

En ese contexto, con el manual unificado confeccionado de las patologías más importantes, y que a su vez incorpora informaciones diferentes, se cataloga como un manual bastante completo para la ejecución de la investigación.

Así, cada patología fue seleccionada minuciosamente, respetando los estándares correspondientes y su nivel de importancia. Hecho esto, se procedió a la realización del árbol de requerimientos y demás etapas, conforme el algoritmo de la metodología MIVES.

3.5. ESTRUCTURA DEL ÁRBOL DE REQUERIMIENTOS

Aquí están definidas las condiciones de entorno del problema, en el caso los requerimientos, criterios e indicadores el cual son la base fundamental para la creación del árbol de requerimientos. La concepción de estas componentes, genera la necesidad de observar aspectos importantes como la calidad de la vía, grados de deterioro, seguridad y comodidad del usuario.

En la **Tabla 3.5.1** es presentado el árbol de requerimientos definido para el caso de esta investigación. Su estructura principal ha sido concebida de tal manera que el problema está involucrado dentro de las necesidades (requerimientos) y así, ser evaluado bajo un carácter de rigor técnico científico (criterios e indicadores).

Tabla 3.5.1 – Árbol de requerimientos.

REQUERIMIENTOS	CRITERIOS	INDICADORES
Confort	Fisuras	Piel de cocodrilo Fisura de bloque
	Daños Superficiales	Pulimento del agregado
	Fisuras	Fisura de borde Fisura longitudinal Fisura por reflexión de juntas Fisura transversal
Funcional	Parches y baches	Parches
	Deformaciones Superficiales	Ahuellamiento Ondulación Exudación
	Otros daños	Afloramiento de finos
	Parches y baches	Baches
Estructural	Daños Superficiales	Pérdida del agregado
	Otros daños	Separación de la berma

Fuente: Autor (2022).

El requerimiento de confort, contempla la necesidad del usuario transitar en una vía sin incomodidades, pudiendo ir a la velocidad de operación estipulada para el tipo de carretera, para así, trasladarse en los tiempos requeridos a su lugar de destino. Por tal motivo integra criterios de fisuras y daños superficiales, que son los que dan origen a una vía sin bienestar.



El requerimiento funcional, incorpora lo relacionado con el desempeño del sistema a lo largo de la vida útil de la estructura. Respetando la condición con la que fue construida, haciendo alocución también a todo lo que involucra intervenciones en la capa de rodadura, capas subyacentes, recuperación de bermas, obras de drenaje, etc, más específicamente todo lo que genere inconsistencias. Adjuntando criterios de igual manera de fisuras, deformaciones superficiales y los parches, visando lo relevante que son para una condición funcional óptima del pavimento.

Finalmente, el último requerimiento estructural, el usuario aprecia la calidad y condición de servicio de la carretera de acuerdo a su estado superficial, seguridad del tránsito y economía en su operación, siendo anexados criterios similares, sin embargo, indicadores diferentes debido al daño notable que pueden ocasionar a la hora de ser identificados.

Los criterios fueron seleccionados de tal forma que atendieran los requerimientos, y en este caso en particular vienen siendo las clasificaciones de las deformaciones predominantes en el pavimento asfáltico.

Los indicadores escogidos por medio del manual unificado para la inspección visual de pavimentos flexibles fueron 15, que atendieran las necesidades de los requerimientos. Estos a su vez, para fines posteriores del índice de deterioro de la carretera, fueron sometidos a una escala numérica de puntos, de cero (0) a cien (100), en donde, se trazaron puntos límites que dividen el grado de deterioro entre bajo, intermedio y alto.

En la **Tabla 3.5.2** se presenta la puntuación otorgada para la fisura piel de cocodrilo y los valores límites para cada grado de deterioro.

Tabla 3.5.2 – Puntuación y valores límites para la fisura piel de cocodrilo.

PIEL DE COCODRILO		
Parámetro	Inspección visual	Ponderación
Fisuras	Inicio de fisuramiento sin interconexión	5
	Presencia de fisuras interconectadas	10
	Rupturas selladas y poca profundidad	5
	Rupturas abiertas y profundas	10
	Apreciación de rupturas formando padrones de fisuramiento	20
Bombeo de finos	Evidencia clara de bombeo	25
Conformación	Evidencia de depresiones en patología	35

GRADO DE DETERIORO		
BAJO	MEDIO	ALTO
0 ≥ 10	11 ≥ 40	<40

Fuente: Autor (2022).

Considerando los parámetros, y las irregularidades que podrán ser encontradas a la hora de realizar la inspección visual del pavimento, se asignaron una serie de puntos acorde a la magnitud de la irregularidad, por ejemplo, si se localiza la fisura piel de cocodrilo y solo se encuentran rupturas abiertas y profundas, tendrá una puntuación de 10, lo que la catalogaría como una figura con grado de deterioro bajo.

Sucesivamente, a la medida que se localicen más irregularidades, se realizará la evaluación de las inconsistencias y así mismo su grado de deterioro asociado.

En la **Tabla 3.5.3** se observa la puntuación y valores límites para la patología fisura de bloque.



Tabla 3.5.3 – Puntuación y valores límites para la fisura de bloque.

FISURA DE BLOQUE		
Ancho de padrones (cm)	Abertura de patologías	Ponderación
de 0.10 - 0.30	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	10
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	20
	≤ 19 mm	30
de 0.30 - 0.60	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	40
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	50
	≤ 19 mm	60
Superior a 0.60	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	70
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	90
	≤ 19 mm	100

Grados de Severidad		
Medición: Puntos		
BAJO	MEDIO	ALTO
$0 \geq 30$	$31 \geq 60$	<60

Fuente: Autor (2022).

Para esta patología, ya se consideran otros aspectos como el ancho de padrón y abertura de la fisura, se mide el ancho del bloque, y a su vez, la abertura de la fisura, y así mismo se le es otorgado la respectiva puntuación y grado de deterioro asociado. En la **Tabla 3.5.4** es mostrado la puntuación y valores límites para la patología fisura de borde.

Tabla 3.5.4 – Puntuación y valores límites para la fisura de borde.

FISURA DE BORDE		
Parámetro	Inspección visual	Ponderación
Fisuras	Inicio de fisuras sin ruptura	10
	Fisuras con ruptura	20
Desprendimiento de material en el tramo pavimentado	hasta 10%	30
	entre 10 y 50%	60
	más del 50%	80

Grados de severidad		
Unidad de Medición: Puntos		
BAJO	MEDIO	ALTO
0≥10	11≥50	<50

Fuente: Autor (2022).

Para este caso, se consideran fisuras y desprendimientos del material en la sección del borde de la vía, con un porcentaje que es identificado a la hora de la inspección, y basado en el criterio profesional, se le asigna la debida puntuación correspondiente.

En las fisuras longitudinales y transversales se adoptaron los mismos criterios de puntuación, debido a que, presentan las mismas características de inspección, solo cambia el sentido donde estas ocurren. Su forma de medición es por metro cuadrado (m²) del área afectada y la abertura de la fisura en milímetros (mm) y así mismo, asignar la debida puntuación. En la **Tabla 3.5.5** y **Tabla 3.5.6** se denota la puntuación y valores límites de las patologías.



Tabla 3.5.5 – Puntuación y valores límites para fisura longitudinal.

FISURA LONGITUDINAL		
M² de patologia	Abertura de patologias	Ponderación
de 0.25 a 5.0	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	10
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	20
	≤ 19 mm	30
de 0.30 - 0.60	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	40
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	50
	≤ 19 mm	60
Superior a 0.60	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	70
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	90
	≤ 19 mm	100

Grados de severidad

Unidad de medición:
Puntos

BAJO	MEDIO	ALTO
0 ≥ 30	31 ≥ 60	< 60

Fuente: Autor (2022).

Tabla 3.5.6 – Puntuación y valores límites para la fisura transversal.

FISURA TRANSVERSAL		
M² de patologia	Abertura de patologias	Ponderación
de 0.25 a 5.0	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	10
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	20
	≤ 19 mm	30
de 0.30 - 0.60	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	40
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	50
	≤ 19 mm	60
Superior a 0.60	≤ 6 mm o rupturas cerradas.	70
	entre > 6 mm y ≤ 19 mm	90
	≤ 19 mm	100

Grados de severidad

Unidad de medición: Puntos

BAJO	MEDIO	ALTO
0 ≥ 30	31 ≥ 60	< 60

Fuente: Autor (2022).

En los baches, el algoritmo de puntuación funciona de manera similar, se mide el área afectada en metro cuadrado (m^2) y conforme aumenta su área, el grado de deterioro será mayor (directamente proporcional). De tal forma, la asignación de puntos irá acorde al área afectada y tamaño de las depresiones. En la **Tabla 3.5.7** es presentado la puntuación y valores límites de la patología.

Tabla 3.5.7 – Puntuación y valores límites para los parches.

PARCHES		
M² de patología	Abertura de patologías Tamaño de las depresiones	Ponderación
de 1 a 20	< 6 mm. El bombeo no es evidente.	10
	6 mm a 12 mm. El bombeo no es evidente.	20
	> 12 mm (Posible bombeo)	30
de 21 a 40	< 6 mm. El bombeo no es evidente.	40
	6 mm a 12 mm. El bombeo no es evidente.	50
	> 12 mm (Posible bombeo)	60
Superior a 40	< 6 mm. El bombeo no es evidente.	70
	6 mm a 12 mm. El bombeo no es evidente.	90
	> 12 mm (Posible bombeo)	100

Grados de Severidad		
Unidad de medición: Puntos		
BAJO	MEDIO	ALTO
0≥30	31≥60	<60

Fuente: Autor (2022).

Seguidamente, los baches son encontrados con bastante frecuencia y estos, poseen su puntuación basados en el área afectada (m^2) y por la profundidad del mismo, medido en milímetros (mm). La **Tabla 3.5.8** muestra los valores y frontera para los grados de deterioro para los baches.

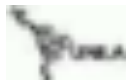


Tabla 3.5.8 – Puntuación y valores límites para los baches.

BACHES		
M² de patología	Abertura de patologías	Ponderación
	Profundidad	
de 0.00 a 5.0	Menor a 25 mm	10
	entre 25 y 50 mm	20
	mayor a 50 mm.	30
de 5.0 - 20	Menor a 25 mm	40
	entre 25 y 50 mm	50
	mayor a 50 mm.	60
Superior a 20	Menor a 25 mm	70
	entre 25 y 50 mm	90
	mayor a 50 mm.	100

Grados de Severidad		
Unidad de Medición: Puntos		
BAJO	MEDIO	ALTO
0 ≥ 30	31 ≥ 60	< 60

Fuente: Autor (2022).

Finalmente, la patología exudación cuenta con medición del área afectada en metros cuadrados (m²) y la inspección visual encontrada permite la adquisición de la puntuación, sea individual o ponderada. En la **Tabla 3.5.9** se observa la escala numérica en puntuación y los grados de severidad asociados conforme el puntaje obtenido.

Tabla 3.5.9 – Puntuación y valores límites para la exudación.

EXUDACIÓN		
M² de patología	Característica de la patología	Ponderación
de 0.00 a 5.0	Exudación visible en pequeñas franjas y de espesor fino. No cubre los agregados.	10
	Exceso de asfalto libre cubriendo parcialmente los agregados	20
	Presencia de una cantidad significativa de asfalto tornándose pegajoso. Cubre totalmente los agregados.	30

de 5.0 - 15.0	Exudación visible en pequeñas franjas y de espesor fino. No cubre los agregados.	40
	Exceso de asfalto libre cubriendo parcialmente los agregados	50
	Presencia de una cantidad significativa de asfalto tornándose pegajoso. Cubre totalmente los agregados.	60
Superior a 15.0	Exudación visible en pequeñas franjas y de espesor fino. No cubre los agregados.	70
	Exceso de asfalto libre cubriendo parcialmente los agregados	90
	Presencia de una cantidad significativa de asfalto tornándose pegajoso. Cubre totalmente los agregados.	100

Grados de Severidad		
Unidad de Medición: Puntos		
BAJO	MEDIO	ALTO
0 ≥ 30	31 ≥ 60	<60

Fuente: Autor (2022).

El grado de severidad de las patologías restantes son estipulados con su respectiva inspección e identificación en campo, considerando su forma de medición.

En la **Tabla 3.5.10** se representa un resumen de los valores límites establecidos por puntuación para el grado de severidad asociado.

Tabla 3.5.10 – Resumen de los valores límites establecidos.

Patología	Intervalo de los grados de deterioro		
	Bajo	Intermedio	Alto
Piel de cocodrilo	0≥10	11≥40	<40
Fisura de bloque	0≥30	31≥60	<60
Fisura de borde	0≥10	11≥50	<50
Fisura transversal	0≥30	31≥60	<60
Fisura longitudinal	0≥30	31≥60	<60
Parches	0≥30	31≥60	<60
Baches	0≥30	31≥60	<60
Exudación	0≥30	31≥60	<60

Fuente: Autor (2022)



El restante de las patologías son estructuradas por medición, más exactamente por milímetros (mm), donde son inspeccionadas e identificadas en campo y allí mismo se realiza por concepto su grado de deterioro.

3.6 PESOS DE ATRIBUTOS ADJUDICADOS POR PONDERACIÓN

En esta sección, el peso de los atributos para los requerimientos, criterios e indicadores fueron definidos a través de la herramienta AHP – *Analytical Hierarchy Process* (Proceso de jerarquía analítica), donde la comparación entre los atributos se realizó entre grupos del mismo origen, en el formato matricial, (descrito en el capítulo 2). La **Tabla 3.6.1** representa cada una de las variantes consideradas para esta investigación. Los pesos son indicados en porcentaje, llevando en consideración la importancia de estos aspectos.

Cabe destacar que la concepción y aplicación de la herramienta AHP se ejecutó bajo la supervisión y conocimientos de especialistas en el área de pavimentos asfálticos.

Tabla 3.6.1 – Pesos asignados por medio de la metodología AHP.

REQUERIMIENTOS	Peso (W)	CRITERIOS	Peso (W)	INDICADORES	Peso (W)
Confort	10%	Fisuras	70%	Piel de cocodrilo Fisura de bloque	40% 60%
		Daños superficiales	30%	Pulimento del agregado (PU)	100%
Funcional	35%	Fisuras	20%	Fisura de borde	25%
				Fisura longitudinal	20%
				Fisura por reflexión de juntas	30%
				Fisura transversal	25%
		Parches y baches	35%	Parches	100%
Estructural	55%	Deformaciones superficiales	15%	Ahuellamiento	35%
				Ondulación (OND)	40%
				Exudación	25%
		Otros daños	30%	Afloramiento de finos	100%
Estructural	55%	Parches y baches	35%	Baches	100%
		Daños superficiales	25%	Pérdida del agregado (PA)	100%
		Otros daños	40%	Separación de la berma	100%

Fuente: Autor (2022).

En la **Tabla 3.6.1** se tienen indicadores únicos, o sea, se le asigna directamente el 100% (no se realizó comparación) porque no hay más indicadores asociados al criterio (e.g. Pulimento del agregado, parches, afloramiento de finos, etc.). Se constata que la condición estructural simboliza el 55% del total de los 3 requerimientos, y esto es dada su importancia para la condición del pavimento.

3.7 CONCEPCIÓN DE LAS FUNCIONES DE VALOR

La metodología MIVES procura alternativas (patologías para este caso específico) por medio de dos procesos: ponderación de atributos y función de valor.

La tendencia, forma y estructuración matemática fue desarrollada a través de especialistas del área de pavimentos.

La función de valor atiende 4 parámetros con configuraciones específicas para cada indicador: en forma de “S”, cóncava, convexa y lineal.

En la **Tabla 3.7.1** Se presentan los parámetros de las funciones de valor para las 15 patologías.

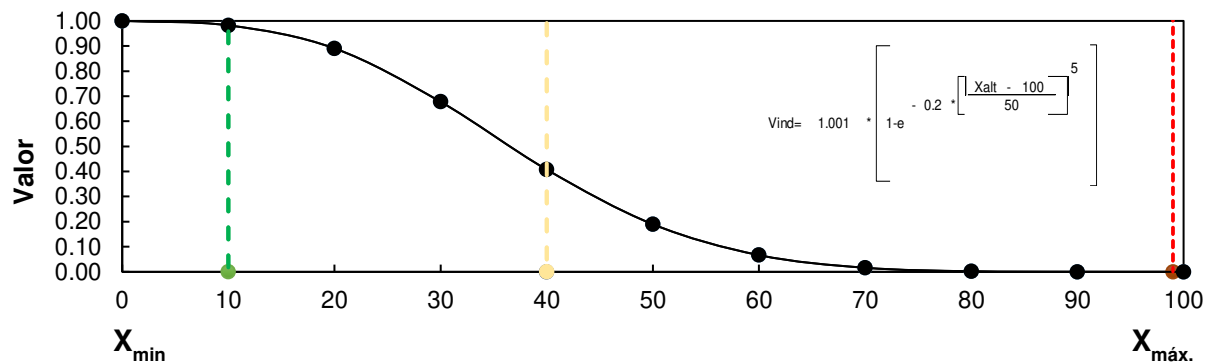
Tabla 3.7.1 – Parámetros de las funciones de valor.

INDICADOR	$X_{\text{máx}}$	$X_{\text{mín}}$	C	K	P
Piel de cocodrilo	100	0	50	0.21	5
Fisura de bloque	100	0	70	2.5	2.5
Pulimento del agregado (PU)	120	20	30	0.5	2.6
Fisura de borde	100	0	50	0.4	2
Fisura longitudinal	100	0	70	2.5	2.5
Fisura por reflexión de juntas	40	0	30	0.5	3
Fisura transversal	100	0	70	2.5	2.5
Parches	100	0	50	0.1	1
Ahuellamiento	40	0	35	0.35	3
Ondulación (OND)	40	0	60	0.1	1.5
Exudación	100	0	60	0.75	3
Afloramiento de finos	25	0	60	0.1	2.5
Baches	100	0	90	0.1	3.8
Pérdida del agregado (PA)	20	0	12	0.05	3
Separación de la berma	15	0	13.5	0.05	3

Fuente: Autor (2022).

Seguidamente, son presentadas las funciones de valor obtenidas para cada indicador (patología), describiendo su forma y parámetros matemáticos. En la **Figura 3.7.1** es presentada la función de valor para el indicador piel de cocodrilo.

Figura 3.7.1 – Función de valor piel de cocodrilo.



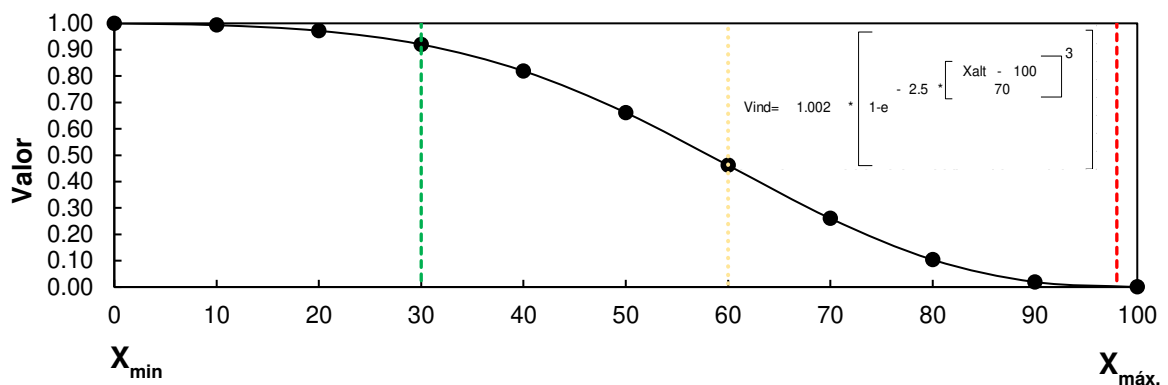
Fuente: Autor (2022)

En esta función de valor para el indicador piel de cocodrilo, con parámetros de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos, la abscisa $C=50$, pendiente de curva $P=5$ y valor de ordenada $K=0.21$.

El formato de curva en “S” significa que el evaluador define un valor de satisfacción o grado de deterioro bajo hasta una puntuación de 10 puntos, a partir de ahí hasta los 40 puntos se tiene un nivel intermedio y mayor a 40 puntos un grado de deterioro alto.

Esto quiere decir, que, si la vía presenta valores mayores a 40 puntos, deberá ser atendida a corto plazo para así evitar aún más daños en lo que compete a la estructura del pavimento, afectando los requerimientos de confort, funcionalidad y estructural.

En la **Figura 3.7.2** es mostrada la función de valor para el indicador fisura de bloque.

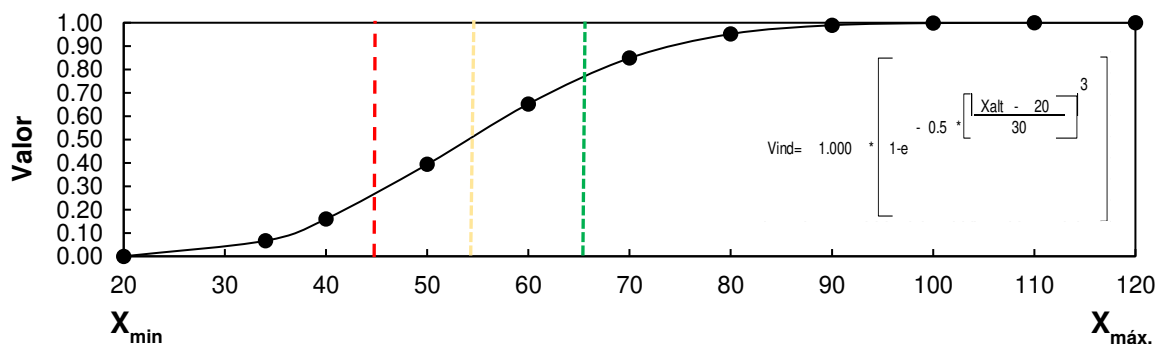
Figura 3.7.2 – Función de valor fisura de bloque.

Fuente: Autor (2022).

Con parámetros de X_{min} de 0 puntos y $X_{máx}$ de 100 puntos respectivamente, con abscisa $C=70$, pendiente de curva $P=2.5$ y valor de ordenada $K=2.5$. Su formato en forma de “S” en el cual, posee un nivel de satisfacción o grado de deterioro bajo hasta los 30 puntos. A partir de ahí y hasta los 60 puntos, un grado de deterioro intermedio y mayor a 60 puntos, grado de deterioro alto.

Cabe destacar que, las líneas verticales de colores representan los distintos grados de deterioro asociado al indicador, donde el verde simboliza grado de deterioro bajo, el beige, grado de deterioro intermedio y el color rojo, grado de deterioro alto.

En la **Figura 3.7.3** es mostrado conforme la secuencia de la **Tabla 3.7.1** la función de valor para el indicador pulimento del agregado.

Figura 3.7.3 – Función de valor pulimento del agregado.

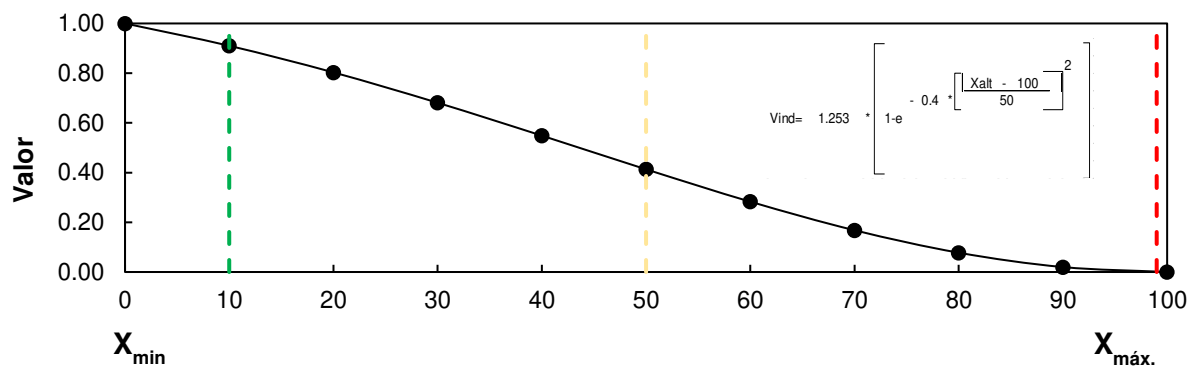
Fuente: Autor (2022).

Con un X_{min} de 20 puntos y $X_{máx}$ de 120 puntos, $C=30$, $K=0.5$ y valor de pendiente $P=2.6$. con formato en forma de “S (intermedio)”. En este caso, el valor de satisfacción o grado de deterioro bajo se sitúa en la franja de los 120 puntos hasta los

55 puntos, menos que ese valor y disminuyendo de 40 puntos, llega a la franja de grado de deterioro alto, lo que representaría que la vía a ser analizada requiere intervención para evitar una futura evolución de la patología.

Posteriormente, en la **Figura 3.7.4** se puede observar la función de valor para el indicador fisura de borde, el cual presenta una tendencia en forma de “S”, sin embargo, no tan pronunciada (suave).

Figura 3.7.4 – Función de valor fisura de borde.

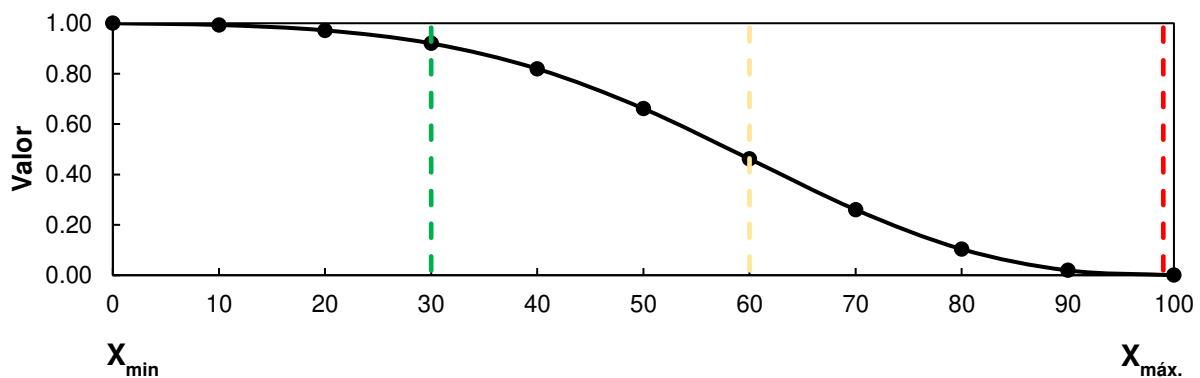


Fuente: Autor (2022).

Con $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos, abscisa $C=50$, valor de ordenada $K=0.4$ y valor de pendiente $P=2$. Su valor de satisfacción o grado de deterioro bajo se obtiene con máximo de 10 puntos, por tanto, valores superiores a 51 puntos, significan que la vía en estudio requiere intervención a corto plazo, para así evitar mayor deterioro de la carpeta asfáltica y causar inconformidad al usuario.

En la **Figura 3.7.5** se anexa la función de valor para la fisura longitudinal, la cual presenta un formato en forma de “S” intermedio.

Figura 3.7.5 – Función de valor fisura longitudinal.

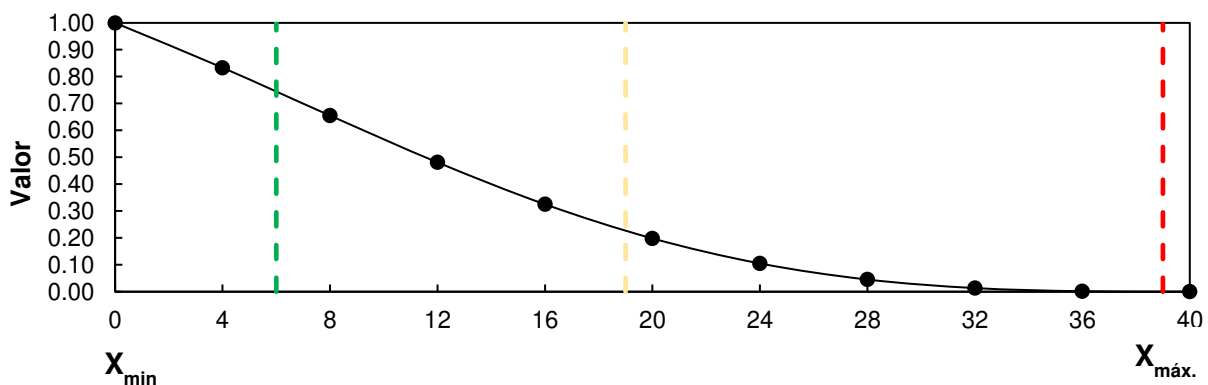


Fuente: Autor (2022).

Con $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos, $C= 70$, $K= 2.5$ y valor de pendiente $P= 2.5$, su valor de satisfacción o grado de deterioro bajo, se sitúa en la franja de hasta 30 puntos, lo que implica que, hasta ese valor, la condición de la patología no interfiere ni requiere intervención. Para valores mayores de 61 puntos, el indicador presenta un grado de deterioro alto, teniendo como consecuencia evolución de la fisura si no se interviene rápidamente.

En la **Figura 3.7.6** es mostrada la función de valor para la fisura reflexión de juntas, la cual presenta un formato “cóncavo decreciente”, con parámetros de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 40 puntos, $C= 30$, $K= 0.5$ y pendiente de curva $P= 3$. Su valor de satisfacción o grado de deterioro bajo se obtiene en la franja de hasta 6 puntos, y a partir de los 20 puntos entra a un valor de satisfacción ineficiente o grado de deterioro alto, lo que implicaría intervención, para evitar una evolución de la patología en un tiempo determinado corto.

Figura 3.7.6 – Función de valor fisura por reflexión de juntas.



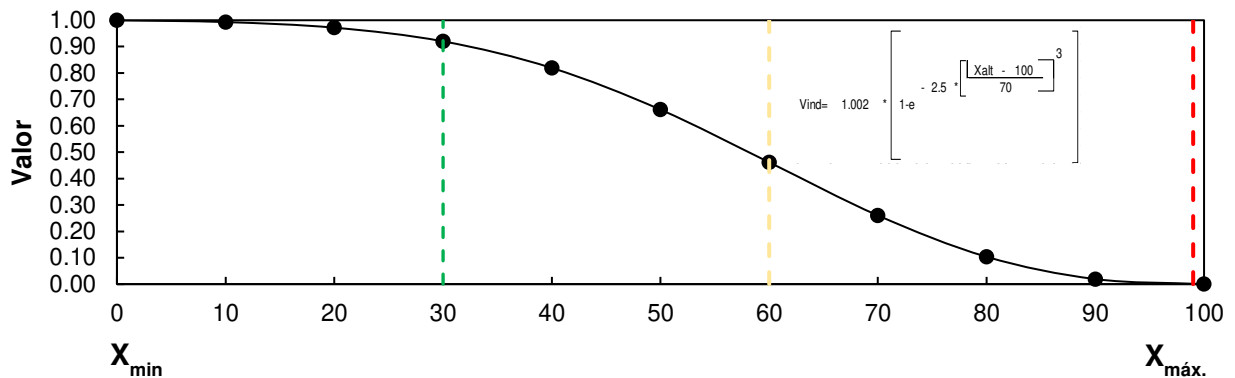
Fuente: Autor (2022).

En la **Figura 3.7.7** se anexa la función de valor para la fisura transversal, la cual presenta un formato en forma de “S” intermedio.

Con $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos, $C= 70$, $K= 2.5$ y valor de pendiente $P= 2.5$, su valor de satisfacción o grado de deterioro bajo se sitúa en la franja de hasta 30 puntos, lo que implica que, hasta ese valor, la condición de la patología no interfiere ni requiere intervención. Para valores mayores de 61 puntos, el indicador presenta un grado de deterioro alto, teniendo como consecuencia evolución de la fisura si no se interviene rápidamente.



Figura 3.7.7 – Función de valor fisura transversal.

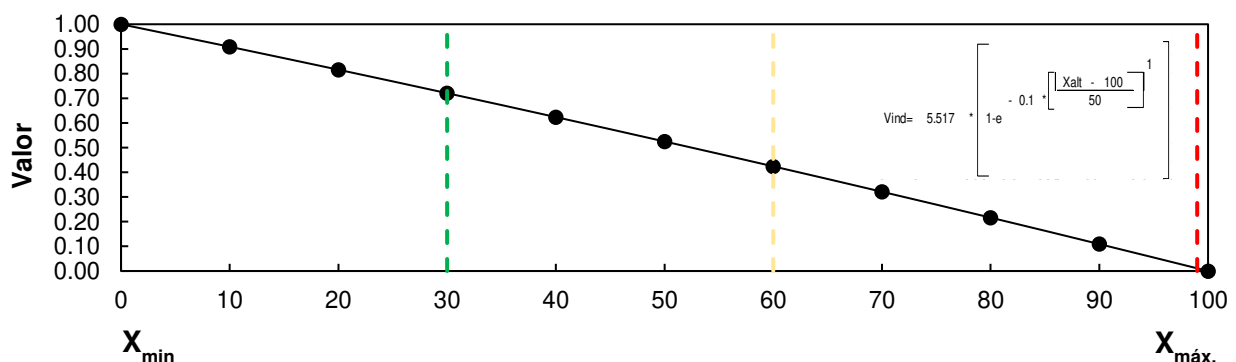


Fuente: Autor (2022).

En la **Figura 3.7.8** se representa la función de valor para el indicador parches, la cual posee un formato “lineal decreciente” en toda su extensión. Con $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos, valor de abscisa $C= 50$, valor de la ordenada $K= 0.1$ y pendiente de la curva $P= 1$.

Esta función indica que cuando existe un incremento o disminución de la cuantificación del puntaje, el grado de deterioro aumenta o disminuye, independientemente del valor de su abscisa. Por tanto, para valores hasta 30 puntos su grado de deterioro es bajo, y mayor a 61 puntos entra en la franja de deterioro alto, lo que implica una intervención casi que inmediata.

Figura 3.7.8 – Función de valor para parches.



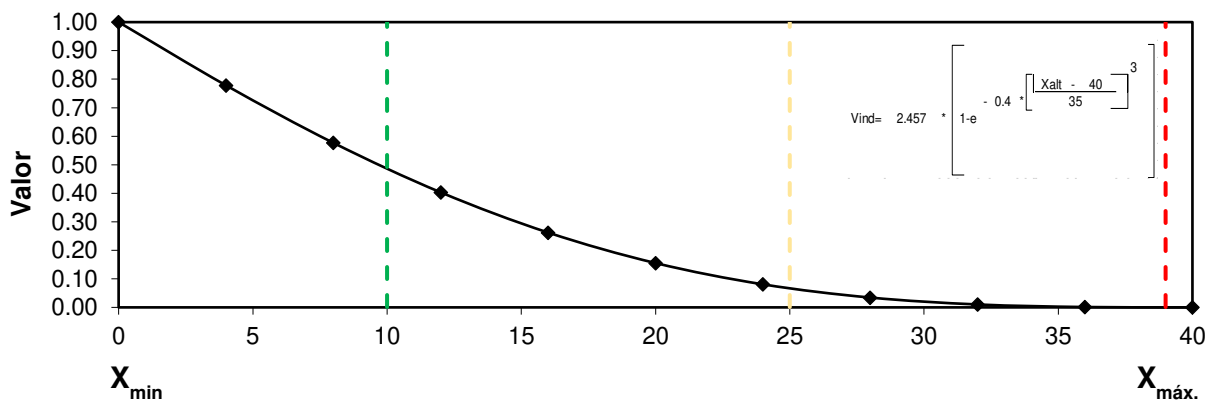
Fuente: Autor (2022).

La **Figura 3.7.9** se observa la función de valor para el indicador ahuellamiento, presenta un formato “cóncavo decreciente”, con valores $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 40

puntos respectivamente. Con parámetros de abscisa $C= 35$, valor de la ordenada $K= 0.35$ y valor de pendiente $P= 3$.

La función denota que cuando el valor de satisfacción va disminuyendo, su grado de deterioro aumenta (inversamente proporcional), por tanto, para valores hasta los 10 puntos se considera grado de deterioro bajo, y para valores mayores a 25 puntos, se cataloga grado de deterioro alto, así, llegando a los valores máximos, es necesario la intervención de la patología.

Figura 3.7.9 – Función de valor para ahuellamiento.



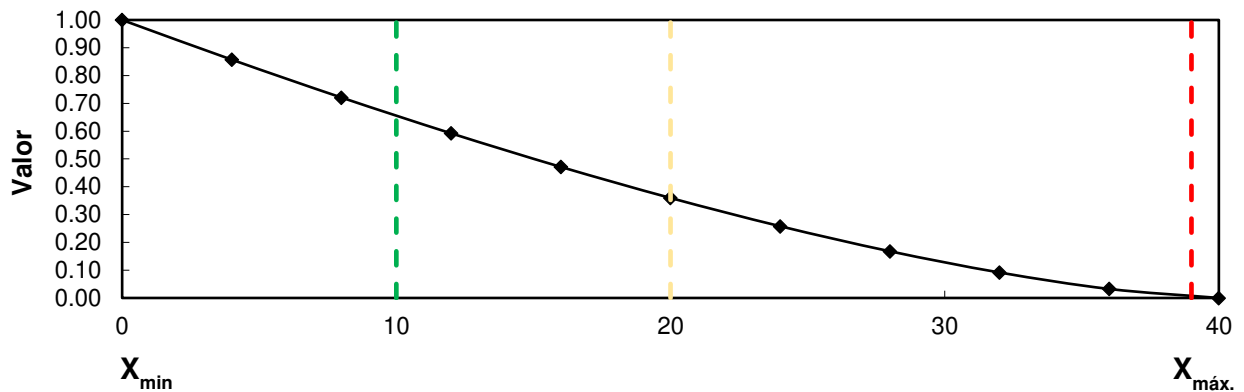
Fuente: Autor (2022).

En la **Figura 3.7.10** es mostrada la función de valor para el indicador ondulación, la cual presenta un formato “cóncavo decreciente suave”, con valores de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 40 puntos. Parámetros de abscisa $C= 60$, valor de ordenada $K= 0.1$ y valor de pendiente $P= 1.5$.

La función describe que, cuando el valor de satisfacción va disminuyendo, su grado de deterioro aumenta (inversamente proporcional), por tanto, para valores hasta los 10 puntos se considera grado de deterioro bajo, y para valores mayores a 21 puntos, se le atribuye un grado de deterioro alto, así, llegando a los valores máximos, es necesario la intervención de la patología.



Figura 3.7.10 – Función de valor para ondulación.

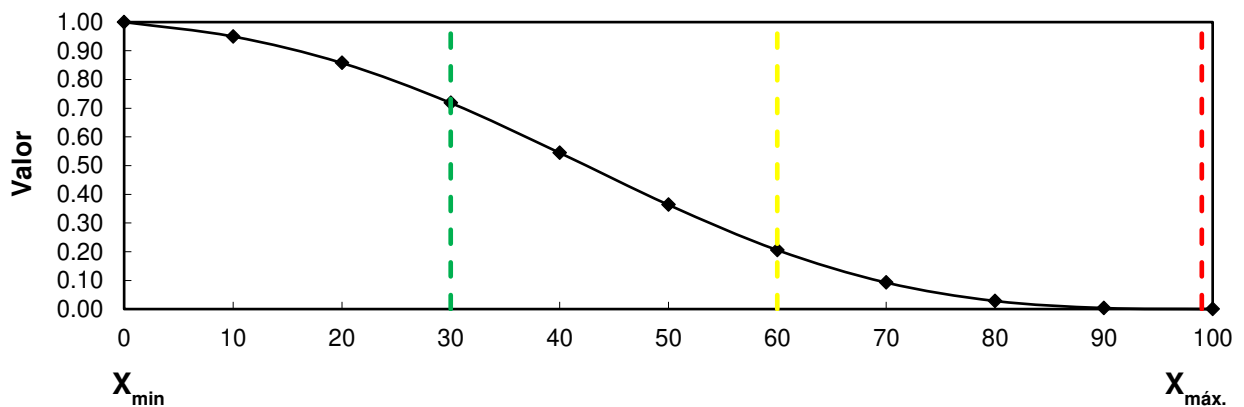


Fuente: Autor (2022).

La **Figura 3.7.11** muestra la función de valor para el indicador exudación, esta posee un formato en forma de “S”, con valores de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos. Sus parámetros de abscisa $C= 60$, valor de ordenada $K= 0.75$ y valor de pendiente $P= 3$.

En esta función, conforme su valor de satisfacción va disminuyendo, su grado de deterioro va aumentando, así, para valores de 10 puntos es considerado grado de deterioro bajo, y para valores mayores a 61 puntos, se le otorga un grado de deterioro alto, lo cual impacta en la condición de la vía directamente, requiriendo así intervención de manera pronta.

Figura 3.7.11 – Función de valor para la exudación.

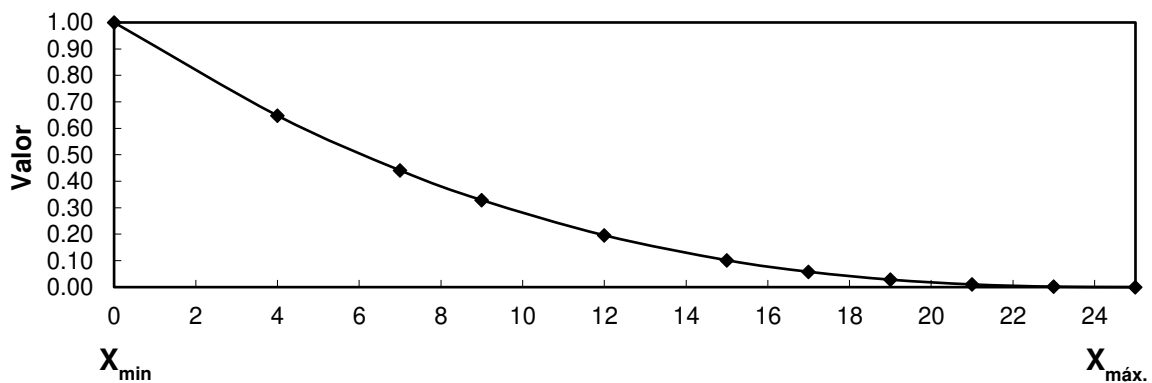


Fuente: Autor (2022).

Prosiguiendo, en la **Figura 3.7.12** es presentada la función de valor para el indicador afloramiento de finos, con un formato “cóncavo decreciente” y valores de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 25 puntos respectivamente.

Sus parámetros de abscisa $C= 60$, valor de ordenada $K= 0.1$ y valor de pendiente $P= 2.5$. Esta función es diferente a las demás en el sentido que no posee grado de deterioro asociado debido a su naturaleza, y en campo se realiza su inspección midiéndose el área afectada en metros cuadrados (m^2), sin embargo, se puede inferir que su valor de satisfacción disminuye si la cuantificación de valores en campo recolectados por área afectada, aumenta.

Figura 3.7.12 – Función de valor para el afloramiento de finos.



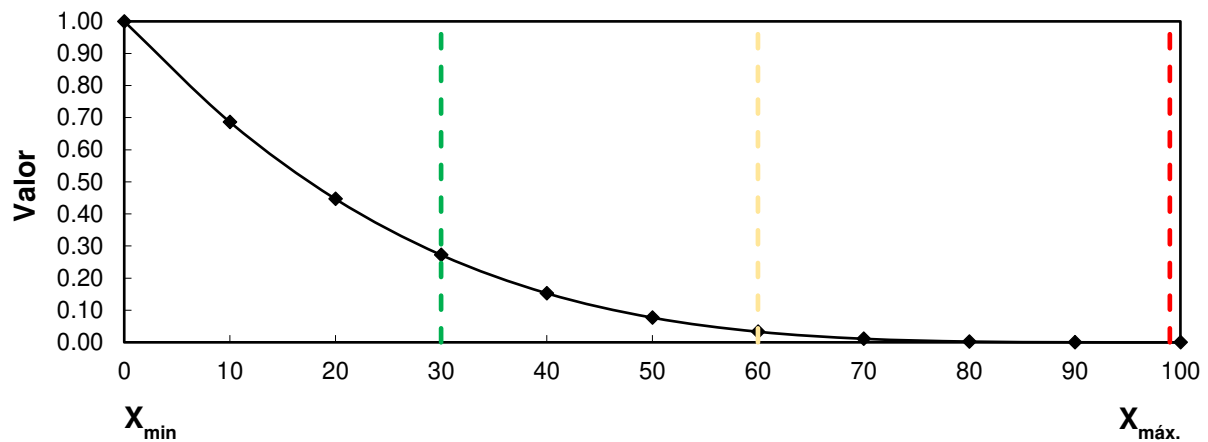
Fuente: Autor (2022).

En la **Figura 3.7.13** se observa la función de valor para el indicador de baches, el cual presenta un formato “cóncavo decreciente”, con valores de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 100 puntos.

Sus parámetros de abscisa $C= 90$, valor de ordenada $K= 0.1$ y valor de pendiente $P= 3.8$. Esta función indica que entre más disminuye el grado de satisfacción del indicador, mayor será su grado de deterioro asociado (inversamente proporcional), por tanto, para valores de hasta 30 puntos es considerado grado de deterioro bajo, y para valores mayores a 61 puntos, entra en la franja de deterioro alto.



Figura 3.7.13 – Função de valor para baches.

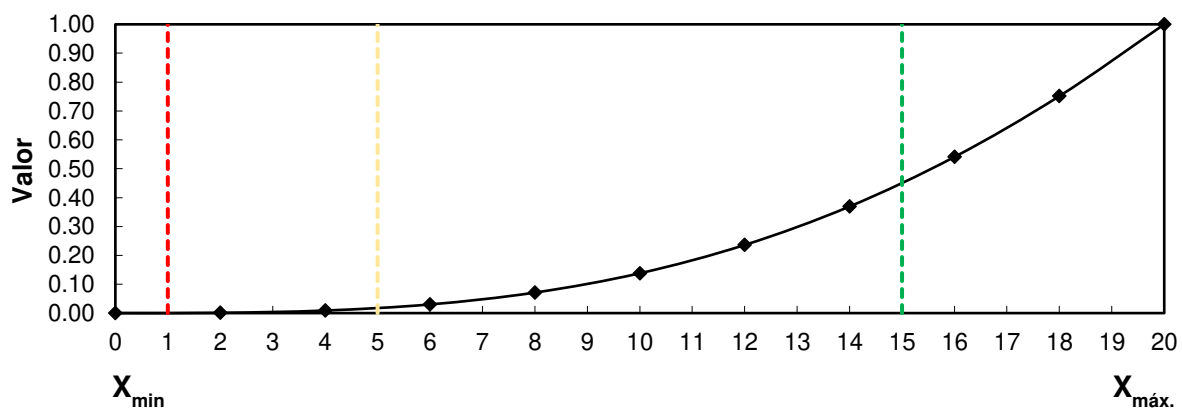


Fuente: Autor (2022).

En la **Figura 3.7.14** se presenta la función de valor para el indicador pérdida del agregado. Esta función posee un formato “cóncavo creciente” en su extensión y con valores de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 20 puntos.

Sus parámetros de abscisa $C=12$, valor de la ordenada $K=0.05$ y valor de pendiente $P=3$, generan con que a medida que su valor de satisfacción aumenta, su grado de deterioro asociado disminuye, esto quiere decir que para valores de hasta 15 puntos, su grado de deterioro es bajo, y para valores menores de 5 puntos, su grado de deterioro es alto.

Figura 3.7.14 – Função de valor para perda del agregado.

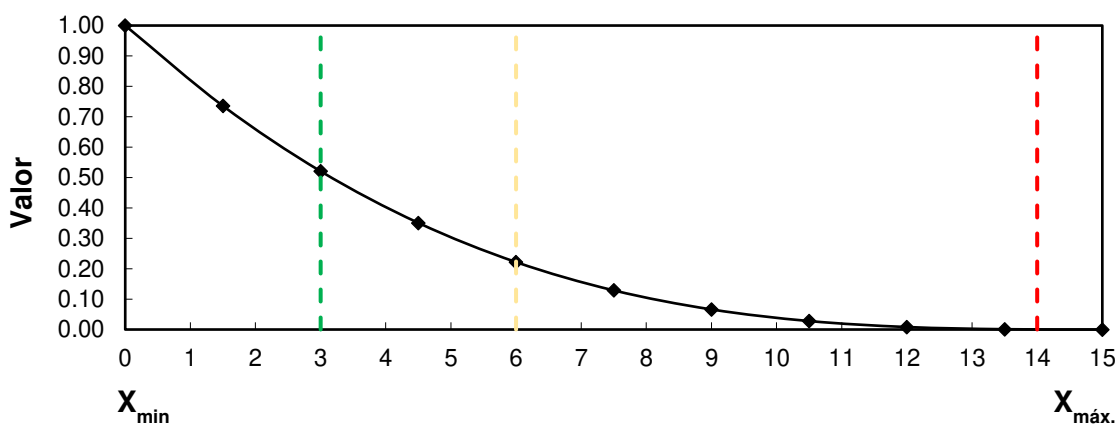


Fuente: Autor (2022).

En la **Figura 3.7.15** es representada la función de valor para el indicador separación de la berma, con un formato “cóncava decreciente” y valores de $X_{\min}$ de 0 puntos y $X_{\max}$ de 15 puntos respectivamente.

Sus parámetros de abscisa $C= 13.5$, valor de ordenada $K= 0.05$ y valor de pendiente $P= 3$. Esta función indica que cuando su valor de satisfacción disminuye de manera gradual, los grados de deterioro asociados aumentan conforme la cuantificación de puntos obtenidos de manera ponderada. Por tanto, para valores de hasta 3 puntos, se le otorgará un grado de deterioro bajo, y para valores mayores a 6 puntos, se le estipula grado de deterioro alto, así, requerirá de intervención lo antes posible.

Figura 3.7.15 – Función de valor para separación de la berma.



Fuente: Autor (2022).

3.8 IMPLEMENTACIÓN DEL VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT) Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El uso del drone para la inspección e identificación de patologías se realizó en 5 calles urbanas de la ciudad de Foz do Iguaçu (Brasil), siendo las siguientes:

1. Avenida para ti.
2. Calle Buritama.
3. Calle Guariba.
4. Calle Rio Claro.
5. Trecho gramadão.



En ese contexto, para la correcta visualización de las muestras de patologías mapeadas, se buscó determinar la mejor altura para ajuste del GSD (*Ground Sample Distance*) “Distancia de muestra de suelo”. La selección de GSD conforme la altura es necesaria para las demarcaciones adecuadas de las patologías.

Así, a partir de las pruebas realizadas en campo, se optó por la altura de 20 metros en relación al nivel del suelo, con ajustes de escala cartográfica para la demarcación y visualización, en el tratamiento final de los mapas. La **Figura 3.8.1** ejemplifica la opción escogida para todos los vuelos programados.

Figura 3.8.1 – Ejemplificación de la altura seleccionada con ajustes de escala cartográfica.



Fuente: Autor (2022).

El drone utilizado (ver **Figura 3.8.2**) es del modelo Mavic Pro Combo Fly da DJI, con sistema de posicionamiento por satélite GPS acoplado y que, dentro de sus especificaciones, posee 743 gramos de peso, y con batería de 20 a 30 minutos de permanencia máxima. Además, contiene un control que permite el uso de celulares smartphones y el uso de la aplicación disponible en la play store o app store llamada *DJI Pilot*, para la organización de los vuelos manuales y automatizados.

En campo, para la obtención de las coordenadas de control y verificación necesarias para la generación de ortomosaicos, fue utilizado RTK (Real Time Kinematic) “Posicionamiento cinemático en tiempo real” GEOMAX ZENITH-15, que entre otros detalles técnicos presenta uso de las constelaciones: GPS, GLONASS, BEIDU, SBAS, radio UHF, Bluetooth y módulos GSM e UHF integrados con lectura de 120 canales.

Figura 3.8.2 – Drone utilizado para los vuelos.



Fuente: Autor (2022).

Para el procesamiento de las fotografías fue utilizado el programa *Agisoft Metashape Pro*, versión: 1.18.3, 64 bits, para la obtención de ortomosaicos georeferenciados, a partir de la correlación de las coordenadas obtenidas por el aparato GNSS (*Global Navigation Satellite System*) “Sistema global de navegación por satélite” que establecen el posicionamiento geoespacial autónomo a través del uso de satélites artificiales (RTK).

Los puntos colectados por el RTK poseen valores de latitud, longitud y altura. La correlación entre fotografías y las coordenadas es fundamental para la corrección de las alturas ortométricas de las alturas de las fotografías producidas, una vez que el GPS del drone tiene error de altura ortométrica (vertical) mayor que el RTK.

Este procedimiento fue necesario para el correcto procesamiento de las fotografías, en el cual, la obtención de la acurácia milimétrica de los puntos, permite la correlación de la altura ortométrica citada anteriormente y la generación ajustada



de los ortomosaicos, MDEs (modelo digital de elevación), MDS (Modelo digital de superficie), curvas de nivel y archivos de extensión KML (*Keyhole Markup Language*) que por ventura puedan ser utilizados.

Para la producción de los mapas, se realizó una simbología (ver **Tabla 3.8.1**) de las patologías, con la finalidad de ser identificadas a la hora del procesamiento, en el cual se les otorgó un respectivo color para mejor visualización tanto en la leyenda, como en la interpretación de resultados.

Tabla 3.8.1 – Simbología adoptada.

REQUERIMIENTOS	CRITERIOS	PATOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
Confort	Fisuras	1- Piel de cocodrilo	
		2- Fisura de bloque	
	Daños superficiales	3- Pulimento del agregado (PU)	
Funcional	Fisuras	4- Fisura de borde	
		5- Fisura longitudinal	
		6- Fisura por reflexión de juntas	
		7- Fisura transversal	
	Parches y baches	8- Parches	
	Deformaciones superficiales	9- Ahuellamiento	
		10- Ondulación (OND)	
		11- Exudación	
Estructural	Otros daños	12- Afloramiento de finos	
	Parches y baches	13- Baches	
	Daños superficiales	14- Pérdida del agregado	
	Otros daños	15- Separación de la berma	

Fuente: Autor (2022).

En cada calle destinada para los vuelos, el Drone obtenía alrededor de 100 fotografías de manera automática, de esa manera, para las 5 calles se tenían un aproximado de 500 fotografías, donde, para fines de reducción de tiempo, se eligieron al azar fotografías por calle, que se utilizaron para el respectivo procesamiento de mapas. En el **Anexo A** son colocadas algunas fotos aleatorias de los vuelos realizados para las calles.

El software Quantum Gis (QGis) versión 3.16 (LTR) fue implementado para la producción de los mapas con las patologías previamente organizadas, conforme los criterios estipulados en esta sección.

4. CAPITULO 4: CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU – ACACÍAS

4.1 DESCRIPCIÓN Y AFORO VEHICULAR

Para la validación de la metodología implementada y que pudiera ser replicada en cualquier escenario se tomaron como referencia geoespacial 2 países, Brasil y Colombia, más exactamente en las ciudades de Foz do Iguaçu (Paraná) y Acacías (Meta). Se consideraron 5 vías urbanas por cada ciudad, las cuales presentaran un flujo vehicular alto, debido a que en estas condiciones el pavimento asfáltico es más propenso a sufrir deformaciones por las cargas transmitidas del tránsito.

En la **Tabla 4.1.1** son presentadas las calles/avenidas que fueron objeto de estudio para el trabajo de conclusión de curso.

Tabla 4.1.1 - Calles/Avenidas de estudio.

BRASIL (Foz do Iguaçu, Paraná)	COLOMBIA (Acacías, Meta)
1- Av. Paraná	6- Av. 7 de Agosto
2- Av. República Argentina	7- Calle 13
3- Av. Juscelino Kubitscheck (JK)	8- Calle 14
4- Av. Costa e Silva	9- Calle 16
5- Av. José Maria de Brito	10- Calle 18

Fuente: Autor (2022).

Para corroborar y tener certeza del alto flujo vehicular, fue necesario llevar a cabo un aforo vehicular para cada calle en mención en un intervalo de tiempo de 1 hora, separados por 2 secciones de media hora y a su vez, observar cuáles tipos de vehículos eran los más recurrentes (e.g. motocicletas, autos ligeros, buses de servicio público, camiones de 2 y 3 ejes).

En la **Figura 4.1.1** se representa el aforo vehicular realizado para la Avenida José María de Brito.

Figura 4.1.1 – Aforo vehicular José María de Brito.

[illegible]

Fuente: Autor (2022).

Con una hora de inicio de 15:00h y terminación a las 16:00h, se evidencia que los vehículos que más transitan son autos ligeros, seguido de las motocicletas y con una leve participación de los vehículos tipo VAN y camiones de 2 ejes, Así, para contabilizar un total de 444 vehículos en 1 hora.

En la **Figura 4.1.2** es mostrado el aforo vehicular para la Avenida 7 de agosto (Acacias).

Figura 4.1.2 – Aforo vehicular Avenida 7 de agosto.

TITULO: INFORME DE LA ACTIVIDAD DE INVESTIGACION				FECHA: 10/05/2016			PAGINA: 1
AUTOR: JUAN CARLOS GONZALEZ				INSTITUTO: ICA			
OBJETIVO: ANALIZAR EL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD DE INVESTIGACION EN LA FORMACION DE LOS ALUMNOS				MATERIA: METODOS DE INVESTIGACION			
MATERIA: METODOS DE INVESTIGACION				SEMESTRE: II			
MATERIA: METODOS DE INVESTIGACION				SEMESTRE: II			
							
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Autor (2022).

En este aforo vehicular se puede constatar que el flujo vehicular es más alto con relación a la Avenida José María de Brito, y esto se debe, a que la Avenida 7 de agosto es una avenida principal nacional de la ciudad de Acacías, por tal motivo, en el transcurso de 1 hora hubo el paso de 564 vehículos.

Los aforos vehiculares de las otras 8 calles/avenidas son colocadas en el **apéndice A**, que siguen el mismo algoritmo de ejecución.

4.2 FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE DATOS

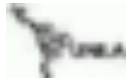
Con el aforo vehicular producido, ya fue posible ejecutar el levantamiento de patologías en las vías de estudio, para esto se creó una ficha de recolección de datos (ver **Figura 4.2.1**), la cual contenía informaciones tales como número de ocurrencias/registro, identificación de la patología y algunas evidencias fotográficas.

Cada patología localizada en la vía tenía su propia ficha de caracterización, esto quiere decir, que por cada vía se podrían obtener hasta 15 fichas, siempre y cuando se encontrarán todas las patologías de nuestro inventario.

Así, basados en la puntuación otorgada para los indicadores presentados en la **sección 3.5** de este trabajo de conclusión de curso, se obtuvo una puntuación ponderada de todos los registros por patología.

Figura 4.2.1 – Ficha de caracterización para la Avenida Paraná.

 	
Alumno: Juan Pablo Rubio Romero Orientador: Dr. Ing. Nicol Villegas Flores.	
FICHA DE CARACTERIZACIÓN PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS	
I. PIEL DE COCODRILO	
REGISTRO	MEDICIÓN: Puntos
1	40
2	55
3	40
4	55
5	40
6	40
7	40
Media	47
II. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDICIÓN: Puntos
1	60
2	70
3	60
4	70
5	60
6	70
7	80
8	80
9	80
Media	73



1. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	90
2	90
3	70
4	90
5	90
6	100
7	90
8	70
9	90
10	70
11	100
12	100
13	100
14	90
15	100
16	100
Media	90
3. TRANSVERSE CRACKING/ FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	50
2	60
3	50
4	60
5	70
6	60
7	50
8	60
9	60
10	60
11	60
12	60
13	60
14	60
Media	60
4. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	20
2	20
3	20
4	20
Media	20
5. SHOYING/ ONDULACIÓN	
REGISTRO	MEDICÃO: mm
1	10
2	6
3	4
4	5
Media	6,25

E. FOTOS E BACHES	
REGISTRO	MEDICIÓN Puntos
1	10
Mesa	10

Fuente: Autor (2022).

Las formas de medición de las patologías se llevaron a cabo conforme especificaciones y con cinta métrica (ver **Figura 4.2.2**). Cabe resaltar que se consideró una extensión de vía de 1 kilómetro (1000 metros) en la cual se hizo la debida inspección e identificación de las deformaciones.

Figura 4.2.2 – Forma de medición de patologías.



Fuente: Autor (2022).

En los datos obtenidos en la Avenida Paraná se evidencia que hubo patologías con más registros (ocurrencias) que otras, y se puede inferir que fueron las deformaciones más comunes en pavimentos asfálticos.

Las puntuaciones obtenidas en todas las vías son indispensables para realizar el cálculo del índice de deterioro tanto de forma global, como de manera individual para cada requerimiento.

En la **Figura 4.2.3** se presenta la ficha de caracterización para la calle 14 de la ciudad de Acacías.

Figura 4.2.3 – Ficha de caracterização calle 14.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Romero Orientador: Dr. Ing. Naji Villegas Flores	
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	
1. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	30
2	40
3	30
4	60
5	50
6	30
7	40
Media	40
2. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	20
2	40
3	40
4	60
5	60
6	50
7	10
8	30
9	70
10	60
11	50
Media	44.5
3. TRANSVERSE CRACKING/ FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	30
2	30
3	20
4	40
5	40
6	50
7	50
8	50
9	20
10	80
Media	39

4. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	30
2	20
Media	25
5. PHOTOLES/ BACHES	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	70
2	70
3	80
Media	73.3

Fuente: Autor (2022).

En la ficha de datos de la calle 14, se puede deducir que hay una disminución de la cantidad de patologías, sin embargo, no es garantía de nada a la hora de calcular el índice de deterioro, esto, porque no importa si hay pocas deformaciones si existen mayor número de ocurrencias presentes. En la **Figura 4.2.4** se muestra parte de evidencia fotográfica.

Figura 4.2.4 – Evidencia fotográfica calle 14.



Fuente: Autor (2022).

Las fichas de caracterización de los 8 restantes vías y fotografías son anexadas en el **apéndice B** de este documento.



5. CAPITULO 5: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo son presentados los resultados de los levantamientos realizados en campo, tanto del caso estudio, como el levantamiento de patologías por medio del vehículo aéreo no tripulado (VANT) y sus respectivos mapas. Los análisis fueron realizados conforme las etapas descritas en el capítulo 3 y capítulo 4. La cuantificación de los indicadores (patologías) para obtener respuesta de la función de valor y pesos de los atributos generados a partir de la herramienta AHP.

Con estos valores se obtiene el índice de deterioro del pavimento, con el cual se cumple el objetivo general (principal) del trabajo de conclusión de curso.

5.1 CUANTIFICACIÓN DE LOS INDICADORES EN EL CASO-ESTUDIO

Los datos aquí presentados se obtuvieron a través de las fichas de caracterización disponibles en el capítulo 4 y **anexo B**, allí, cada patología encontrada era objeto de medición y seguidamente asignación de puntaje. En la **Tabla 5.1.1** son mostrados la cuantificación de registros de los indicadores, esto significa, el número de veces que fue localizada la patología en toda la extensión de la vía estudiada. Cabe recordar que la extensión de la vía corresponde a un valor de 1 kilómetro.

Tabla 5.1.1 – Cuantificación de indicadores por ocurrencia.

INDICADOR	N° De Avenida/Calle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Piel de cocodrilo	7	11	1	14	16	7	-	-	3	-
Fisura de bloque	16	4	-	9	9	-	3	7	7	8
Pulimento del agregado (PU)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fisura de borde	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Fisura longitudinal	10	12	9	12	10	9	10	11	9	11
Fisura por reflexión de juntas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fisura transversal	14	13	14	12	9	8	9	10	8	11
Parches	4	7	-	3	5	3	3	2	4	4
Ahuellamiento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ondulación (OND)	4	3	-	-	-	-	-	-	1	-
Exudación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Afloramiento de finos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baches	1	2	3	6	1	3	4	3	2	3
Pérdida del agregado (PA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Separación de la Berma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

5.2 PESOS DE LOS ATRIBUTOS POR MEDIO DE AHP

En esta sección son representados los pesos atribuidos para los requerimientos, criterios e indicadores conforme la **Tabla 5.2.1**, realizados a partir de la metodología AHP (Proceso de jerarquía analítica). Se destaca que la asignación de los pesos fue determinada y revisada por especialistas en el área de pavimentos, en el cual, gracias a sus experiencias y conocimientos, fue concebida.

Tabla 5.2.1 – Pesos determinados para la estructura del árbol de requerimientos.

REQUERIMIENTOS	Peso (W)	CRITERIOS	Peso (W)	INDICADORES	Peso (W)
Confort	10%	Fisuras	70%	Piel de cocodrilo Fisura de bloque	40% 60%
		Daños superficiales	30%	Pulimento del agregado (PU)	100%
Funcional	35%	Fisuras	20%	Fisura de borde	25%
				Fisura longitudinal	20%
				Fisura por reflexión de juntas	30%
				Fisura transversal	25%
		Parches y baches	35%	Parches	100%
Estructural	55%	Deformaciones superficiales	15%	Ahuellamiento	35%
				Ondulación (OND)	40%
				Exudación	25%
		Otros daños	30%	Afloramiento de finos	100%
		Parches y baches	35%	Baches	100%
		Daños superficiales	25%	Pérdida del agregado (PA)	100%
		Otros daños	40%	Separación de la berma	100%

Fuente: Autor (2022).

Los pesos de los atributos otorgados harán parte en el cálculo del índice de deterioro del pavimento, por tal motivo contribuyen en un papel fundamental.



5.3 RESPUESTAS DE LAS FUNCIONES DE VALOR

Llevando en consideración la cuantificación de las calles de objeto de estudio, se obtuvieron los resultados homogeneizando el valor en una escala de 0 a 1 con relación a su función de valor, para de tal manera poder sumar valores adimensionales. En la **Tabla 5.3.1** se presentan las respuestas para cada indicador.

Tabla 5.3.1 – Respuesta de indicadores con relación a su función de valor.

INDICADOR	N° De Avenida/Calle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Piel de cocodrilo	0.47	0.58	0.2	0.59	0.5375	0	0	0	0.33	0
Fisura de bloque	0.9	0.4	0	0.344	0.366	0.58	0.5	0.4	0.37	0.375
Pulimento del agregado (PU)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura de borde	0	0.72	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura longitudinal	0.73	0.575	0.47	0.76	0.57	0.422	0.49	0.445	0.355	0.41
Fisura por reflexión de juntas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura transversal	0.6	0.56	0.62	0.633	0.566	0.387	0.455	0.39	0.425	0.418
Parches	0.2	0.26	0	0.2	0.16	0.166	0.233	0.25	0.2	0.175
Ahuellamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ondulación (OND)	0.0625	0.05	0	0	0	0	0	0	0.2	0
Exudación	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Afloramiento de finos	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Baches	0.1	0.35	0.27	0.33	0.1	0.266	0.275	0.766	0.25	0.66
Pérdida del agregado (PA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Separación de la Berma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AVENIDAS/CALLES DE ESTUDIO

BRASIL (Foz do Iguaçu, Paraná)

1. Av. Paraná
2. Av. República Argentina
3. Av. JK.
4. Av. Costa e Silva
5. Av. José Maria de Brito

COLOMBIA (Acacías, Meta)

6. Av. 7 de Agosto
7. Calle 13
8. Calle 14
9. Calle 16
10. Calle 18

Fuente: Autor (2022).

Las respuestas aquí expuestas son de carácter fundamental para encontrar el **índice de deterioro del pavimento** global por calle de estudio, sin embargo, primeramente, se debe calcular el índice de deterioro por indicador, el cual corresponde al producto del peso del indicador veces la respuesta respecto al valor de función de valor. Por tanto, para la calle 1 (Avenida Paraná) el valor del índice de deterioro para el indicador piel de cocodrilo se calcula de la siguiente manera:

Peso del indicador conforme atributo AHP: 0.40

Respuesta del indicador conforme función de valor: 0.47

Respuesta * Peso = $0.40 \times 0.47 = 0.188$

Ahora bien, para calcular el índice de deterioro del criterio, se tiene en cuenta que el requerimiento confort posee 2 criterios (fisuras y daños superficiales) y las fisuras tienen 2 indicadores (piel de cocodrilo y fisura de bloque), los daños superficiales tienen 1 indicador (pulimento del agregado).

Se calcula el índice de deterioro para la fisura de bloque y pulimento del agregado respectivamente, siguiendo el algoritmo descrito anteriormente, así, se tiene:

Índice de deterioro fisura de bloque = Peso del indicador * Respuesta indicador

Índice de deterioro fisura de bloque = $0.6 \times 0.9 = 0.54$

Índice de deterioro pulimento del agregado = $1 \times 0 = 0$

Así, el índice de deterioro para el criterio de fisuras, es:

Índice de deterioro para el criterio de fisuras = Peso del atributo * (índice de deterioro piel de cocodrilo + índice de deterioro fisura de bloque)

Índice de deterioro para el criterio de fisuras = $0.7 \times (0.188 + 0.54)$

Índice de deterioro para el criterio de fisuras = 0.5096

Siguiendo el mismo raciocinio, se calcula el índice de deterioro para el criterio de daños superficiales.

Índice de deterioro para el criterio de daños superficiales = $0.3 \times (0)$

Índice de deterioro para el criterio de daños superficiales = 0

Finalmente, para obtener el índice de deterioro para el requerimiento confort, se realiza de la siguiente manera:



índice de deterioro para el requerimiento confort = Peso del atributo * (Índice de deterioro para el criterio de fisuras + Índice de deterioro para el criterio de daños superficiales), así, se tiene:

$$\text{índice de deterioro para el requerimiento confort} = 0.1 * (0.5096 + 0)$$

índice de deterioro para el requerimiento confort = 0.05096

El índice de deterioro global de la vía será la suma de los 3 índices de deterioro de los requerimientos (confort, funcional y estructural).

En ese sentido, se obtienen un índice de deterioro global (macro) y consecuentemente índices de deterioro por criterios y requerimientos (micro), comprendiendo valores entre 0 y 1, donde **valores próximos de cero (0)** es una vía urbana de pavimento asfáltico en buenas condiciones y **valores cercanos a uno (1)** es una vía urbana que requiere atención e intervención a causa de su evidente deterioro.

A partir de la **Tabla 5.3.2**, son colocados los resultados del índice de deterioro global para la Avenida Paraná (Foz do Iguaçu).

Tabla 5.3.2 – Índice de deterioro (indicadores), Avenida Paraná.

RESP. * PESO	RESP.	PESO	INDICADORES
0.188	0.47	0.40	Piel de cocodrilo
0.54	0.9	0.60	Fisura de bloque
0	0	1.00	Pulimento del agregado (PU)
0	0	0.25	Fisura de borde
0.146	0.73	0.2	Fisura longitudinal
0	0	0.3	Fisura por reflexión de juntas
0.15	0.6	0.25	Fisura transversal
0.2	0.2	1	Parches
0	0	0.35	Ahuellamiento
2.5	6.25	0.4	Ondulación (OND)
0	0	0.25	Exudación
0	0	1	Afloramiento de finos

0.1	0.1	1	Baches
0	0	1	Pérdida del agregado (PA)
0	0	1	Separación de la berma

Fuente: Autor (2022).

Como bien, explicado en el apartado anterior, en la **Tabla 5.3.2** fueron calculados los índices de deterioro por indicadores, siendo estos el producto del peso del atributo (indicador) por la respuesta obtenida en la función de valor.

Tabla 5.3.3 – Índice de deterioro (criterios), Avenida Paraná.

RESP.	PESO	CRITERIOS
0.5096	0.7	Fisuras
0	0.3	Daños superficiales
0.0592	0.2	Fisuras
0.07	0.35	Parches y baches
0.375	0.15	Deformaciones superficiales
0	0.15	Otros daños
0.035	0.3	Parches y baches
0	0.35	Daños superficiales
0	0.25	Otros daños

Fuente: Autor (2022).

Las respuestas aquí obtenidas, son sumadas y multiplicadas por el peso del requerimiento para así, conseguir la respuesta del requerimiento. En ese sentido, el grupo de fisuras y daños superficiales hacen parte del requerimiento confort, por tanto, $(0.5096 + 0) * 0.1 = 0.05096$, siendo este, el valor adquirido en la **Tabla 5.3.4**.

Tabla 5.3.4 – Índice de deterioro (requerimientos), Av. Paraná.

RESP.	PESO	REQUERIMIENTOS
0.05096	0.1	Confort
0.17647	0.35	Funcional
0.01925	0.55	Estructural

INDICE DE DETERIORO GLOBAL
0.24668

Fuente: Autor (2022)

Como fue descrito anteriormente, el índice de deterioro global es la suma de los 3 requerimientos, por tanto, para la Avenida Paraná se tiene un ID: 0.24668. Representa un valor cercano de cero (0) lo que significa que el trecho estudiado parcialmente se encuentra en una condición aceptable.



A partir de la **Tabla 5.3.5** son presentados los índices de deterioro para la Avenida República Argentina.

Tabla 5.3.5 – Índice de deterioro (indicadores), Av. República Argentina.

RESP. * PESO	RESP.	PESO	INDICADORES
0.232	0.58	0.40	Piel de cocodrilo
0.24	0.4	0.60	Fisura de bloque
0	0	1.00	Pulimento del agregado (PU)
0.18	0.72	0.25	Fisura de borde
0.115	0.575	0.2	Fisura longitudinal
0	0	0.3	Fisura por reflexión de juntas
0.14	0.56	0.25	Fisura transversal
0.26	0.26	1	Parches
0	0	0.35	Ahuellamiento
2	5	0.4	Ondulación (OND)
0	0	0.25	Exudación
0	0	1	Afloramiento de finos
0.35	0.35	1	Baches
0	0	1	Pérdida del agregado (PA)
0	0	1	Separación de la berma

Fuente: Autor (2022).

De la **Tabla 5.3.5** se puede inferir que los valores obtenidos para los indicadores son mayores que los de la Av. Paraná, esto significa que su índice de deterioro global será mayor y, por ende, en términos comparativos la Av. República Argentina posee más desgaste en la calzada.

Tabla 5.3.6 – Índice de deterioro (criterios), Av. República Argentina.

RESP.	PESO	CRITERIOS
0.3304	0.7	Fisuras
0	0.3	Daños superficiales
0.087	0.2	Fisuras
0.091	0.35	Parches y baches
0.3	0.15	Deformaciones superficiales
0	0.15	Otros daños
0.1225	0.3	Parches y baches

0	0.35	Daños superficiales
0	0.25	Otros daños

Fuente: Autor (2022).

Considerando que las fisuras representan un 70% en relación a los criterios, siempre son los que representan valores más altos a la hora de realizar los cálculos correspondientes, y esto puede ser corroborado tanto en la **Tabla 5.3.6** como en las demás que fueron calculadas.

Tabla 5.3.7 – Índice de deterioro (requerimientos), Av. República Argentina.

RESP.	PESO	REQUERIMIENTOS
0.03304	0.1	Confort
0.1673	0.35	Funcional
0.06738	0.55	Estructural

INDICE DE DETERIORO GLOBAL
0.267715

Fuente: Autor (2022).

Para el caso de la Av. República Argentina, se obtuvo un ID: 0.267715, un poco mayor con relación a la Av. Paraná, sin embargo, aún se considera un ID bajo, así, en esas condiciones, es un pavimento aceptable para el trecho analizado.

En ese sentido, como fue explicado el algoritmo de solución de los índices de deterioro y a su vez, fueron presentados los cálculos para dos (2) vías, a partir de la **Tabla 5.3.8** se muestran los resultados para todas las vías objeto de estudio.

Tabla 5.3.8 – Índices de deterioro (indicadores) para todas las Avenidas/calles.

INDICADOR	N° De Avenida/Calle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Piel de cocodrilo	0.188	0.232	0.08	0.236	0.215	0	0	0	0.132	0
Fisura de bloque	0.54	0.24	0	0.206	0.219	0.348	0.3	0.24	0.222	0.225
Pulimento del agregado (PU)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura de borde	0	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura longitudinal	0.146	0.115	0.094	0.148	0.114	0.084	0.098	0.089	0.071	0.082
Fisura por reflexión de juntas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura transversal	0.15	0.14	0.155	0.158	0.141	0.096	0.113	0.097	0.106	0.104



Parches	0.2	0.26	0	0.2	0.16	0.166	0.233	0.25	0.2	0.175
Ahuellamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ondulación (OND) (mm)	2.5	2	0	0	0	0	0	0	8	0
Exudación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Afloramiento de finos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baches	0.1	0.35	0.27	0.33	0.1	0.266	0.275	0.766	0.25	0.66
Pérdida del agregado (PA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Separación de la Berma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor (2022).

De la **Tabla 5.3.8**, en el cual fueron organizados todos los índices de deterioro para los indicadores de las 10 calles/avenidas, se interfiere que la calle con los mayores índices de deterioro (requerimientos) es la calle 4 (Av. Costa e Silva).

Tabla 5.3.9 – Índice de deterioro (criterios) para todas las Avenidas/calles.

CRITERIO	N° De Avenida/Calle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fisuras	0.51	0.3304	0.056	0.3097	0.304	0.2436	0.21	0.168	0.2478	0.158
Daños superficiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisuras	0.059	0.087	0.05	0.0613	0.051	0.0362	0.042	0.037	0.0355	0.037
Parches y baches	0.07	0.091	0	0.07	0.056	0.0581	0.082	0.088	0.07	0.061
Deformaciones superficiales	0.375	0.3	0	0	0	0	0	0	1.2	0
Otros daños	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parches y baches	0.035	0.1225	0.095	0.1155	0.035	0.0931	0.096	0.268	0.0875	0.231
Daños superficiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros daños	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor (2022).

Por criterios, se infiere que quien posee mayor índice de deterioro es la calle 2 (Av. República Argentina), sin embargo, estos resultados son más específicos, para entender en qué aspectos está presentando fallas la vía.

Tabla 5.3.10 – Índice de deterioro (Requerimientos) para todas las Avenidas/calles.

REQUERIMIENTOS	N° De Avenida/Calle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confort	0.051	0.033	0.006	0.031	0.03	0.0244	0.021	0.017	0.0248	0.016
Funcional	0.176	0.1673	0.017	0.0459	0.037	0.033	0.043	0.044	0.4569	0.034
Estructural	0.019	0.0674	0.052	0.0635	0.019	0.0512	0.053	0.147	0.0481	0.127

Fuente: Autor (2022).

Con los índices de deterioro por requerimientos calculados, se procede a realizar la ponderación de los valores (confort, funcional y estructural) para así, finalmente en la **Tabla 5.3.11** representar los índices de deterioro global para todas las avenidas/calles.

Tabla 5.3.11 – Índice de deterioro global para todas las Avenidas/calles.

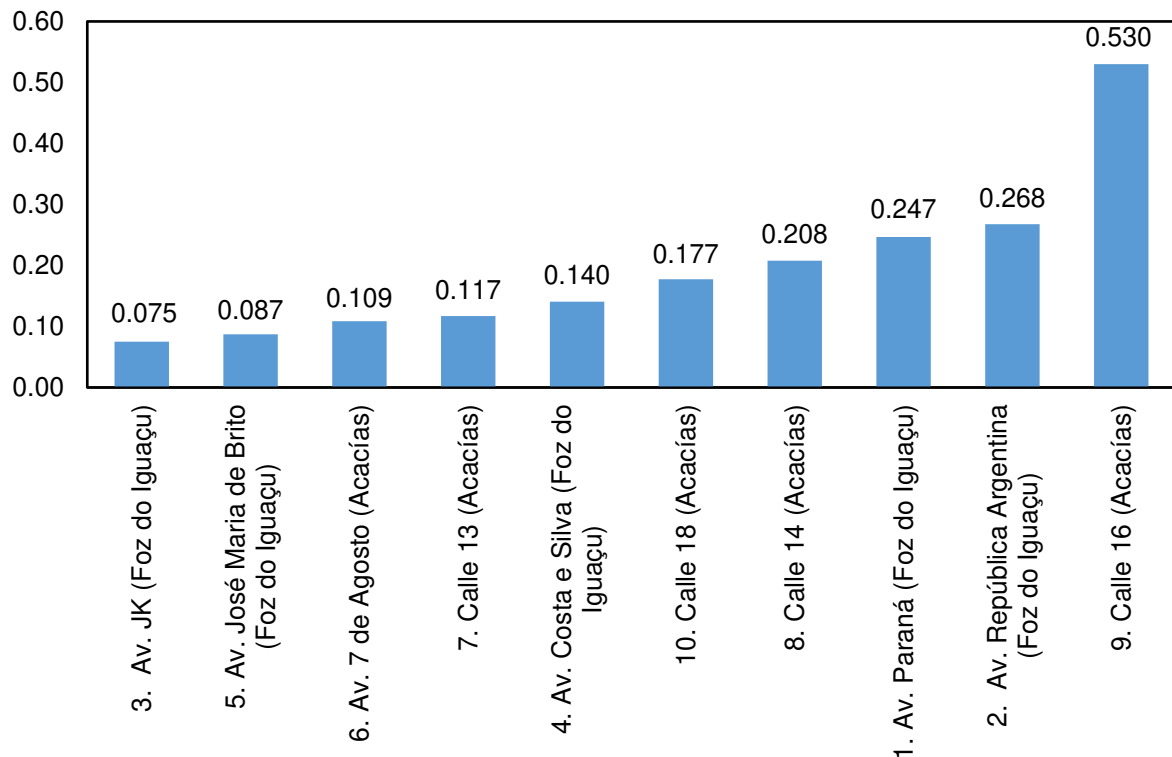
RESPUESTA	N° De Avenida/Calle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de deterioro global	0.247	0.2677	0.075	0.1404	0.087	0.1086	0.117	0.208	0.5298	0.177

Fuente: Autor (2022).

Si bien, los resultados indican que no hay ninguna carretera con una condición deplorable o próximo de uno (1) sin embargo, esta herramienta metodológica implementada puede ser replicada a una mayor extensión de vía sin ningún inconveniente. Ahora bien, se procede a ordenar de manera ascendente los resultados obtenidos, de la vía que presenta menor condición del pavimento y la vía que en su defecto debería prestarse más atención para futura intervención. En la **Figura 5.3.1** son mostrados en forma de gráfico de barras los resultados para mejor interpretación y entendimiento.



Figura 5.3.1 – Índice de deterioro global de forma ascendente.



Fuente: Autor (2022).

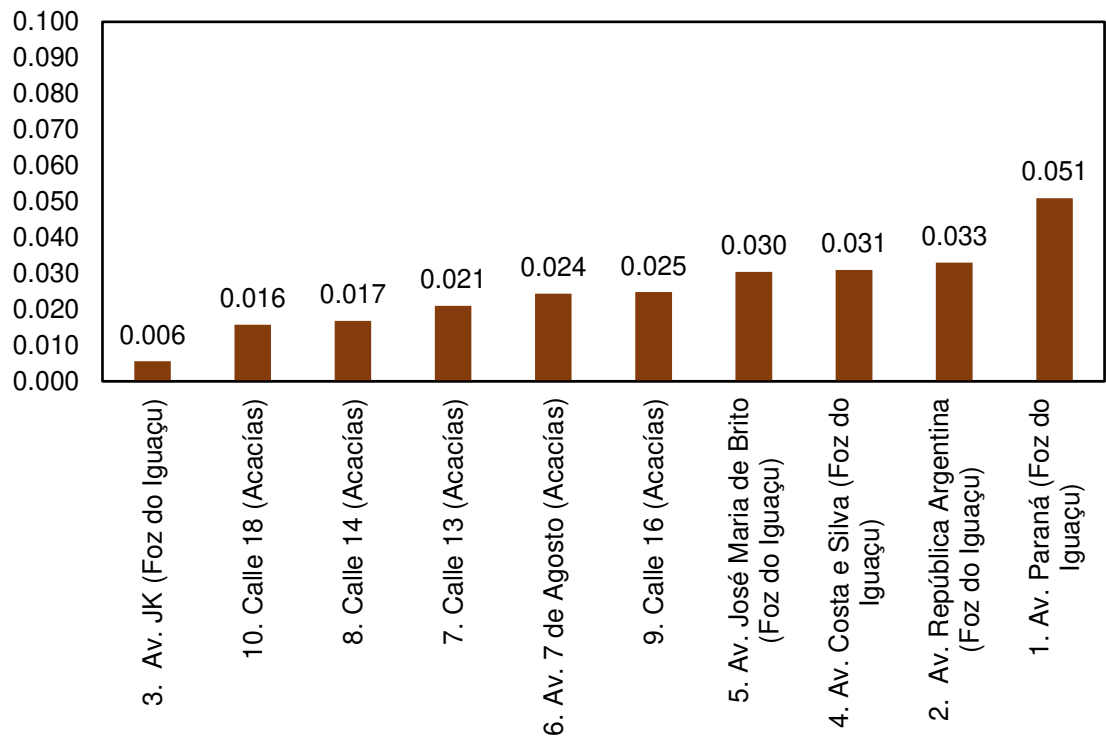
Del gráfico se puede inferir que, la vía que presenta un índice de deterioro más próximo de uno (1) es la Calle 16 (Acacías) con ID: 0.530 y la vía que se encuentra con mejores condiciones es la Avenida JK (Foz do Iguaçu).

Por otra parte, las vías que fueron objeto de estudio fueron analizadas con el mayor rigor posible, referente a flujos vehiculares e importancias en cada una de las ciudades.

De esta manera, es posible realizar el mismo análisis de forma ascendente para observar cuáles de las vías presenta mejor índice de deterioro con relación a los 3 requerimientos (confort, funcional y estructural).

En la **Figura 5.3.2** se observa los resultados del índice de deterioro con relación al confort.

Figura 5.3.2 – Índice de deterioro de forma ascendente para el confort.



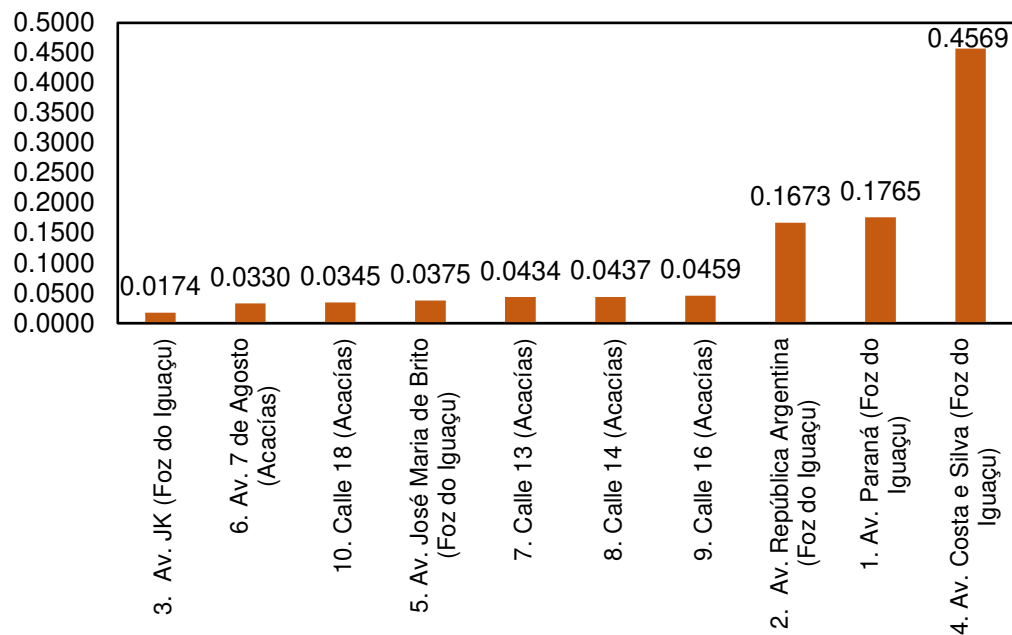
Fuente: Autor (2022).

De la **Figura 5.3.2** está organizada de forma ascendente, por tanto, la vía que mejor presenta índice de confort con relación a las demás, es la Avenida JK y la vía que presenta un índice de confort más “alto” es la Avenida Paraná, sin embargo, esto no significa que la vía presente problemas de incomodidad al transitar, puesto que el valor de ID es 0.051, un valor que relativamente está más próximo del cero (0) que del uno (1). En resumidas cuentas, las vías en mención presentan una condición de comodidad y bienestar.

En la **Figura 5.3.3** se anexan los resultados de forma ascendente para el índice funcional de las calles objeto de estudio.



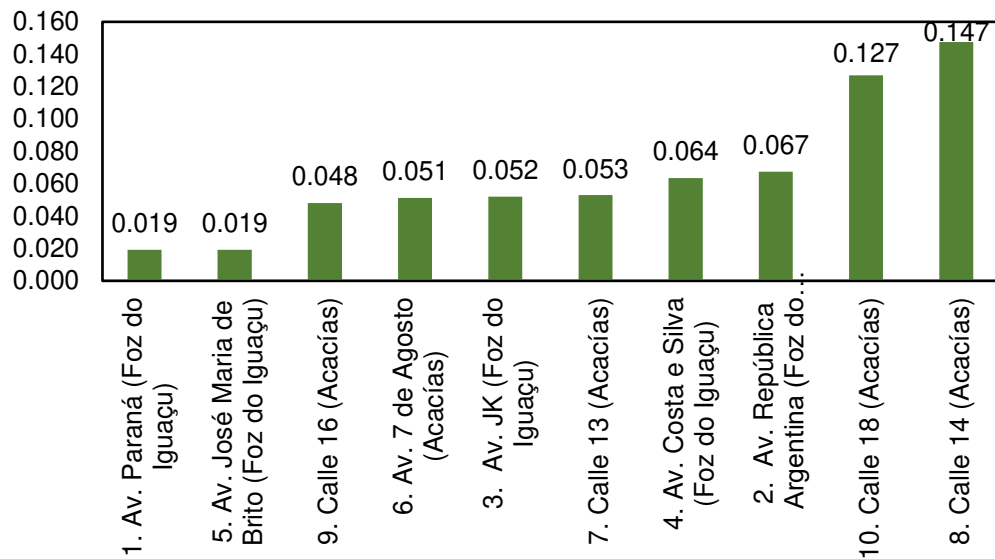
Figura 5.3.3 – Índice funcional de forma ascendente para las vías.



Fuente: Autor (2022).

De la **Figura 5.3.3** se infiere que la vía que presenta mejor condición funcional es la Avenida JK y la vía que menos condición funcional posee es la Av. Costa e Silva, sin embargo, estos valores en términos generales no presentan un índice de deterioro muy próximos a uno (1), lo que significa, que las condiciones en cuanto al requerimiento funcional son aceptables.

En la **Figura 5.3.4** se observan los resultados con relación a la condición estructural de las vías analizadas, organizadas de manera ascendente.

Figura 5.3.4 – Índice de condición estructural de forma ascendente.

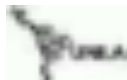
Fuente: Autor (2022).

De la **Figura 5.3.4** se infiere que la vía que mejor condición estructural presenta es la Avenida Paraná, y la que “peor” condición estructural posee, es la Calle 14 (Acacias), si bien, se ha descrito antes, estos valores no implican que realmente la Calle 14 se encuentre en una condición estructural ineficiente, por el contrario, al tener un ID: 0.147 es un valor relativamente bajo, pero con relación a las otras vías, es la carretera que mayor índice posee; si lo llevamos a términos más coherentes, en cuanto a la condición estructural, todas las vías poseen buena condición estructural, no habiendo necesidad de intervención a corto plazo.

5.4 FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y CREACIÓN DE MAPAS

Como fue descrito en la metodología del capítulo 3, se seleccionaron 5 trechos de vías para realizar el sobrevuelo con el Drone para la identificación de patologías y así, reducir el tiempo de inspección en 1/3 con relación al método tradicional de inspección visual, las vías utilizadas fueron:

1. Avenida para ti.
2. Calle Buritama.
3. Calle Guariba.
4. Calle Rio Claro.
5. Trecho gramadão.



Con una altura de 20 metros con relación al suelo, se obtuvieron las siguientes fotografías por calle, conforme **Figura 5.4.1**.

Figura 5.4.1 - Trecho Av. Para ti.



Fuente: Autor (2022).

Figura 5.4.2 – Trecho Rua Buritama.



Fuente: Autor (2022).

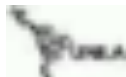
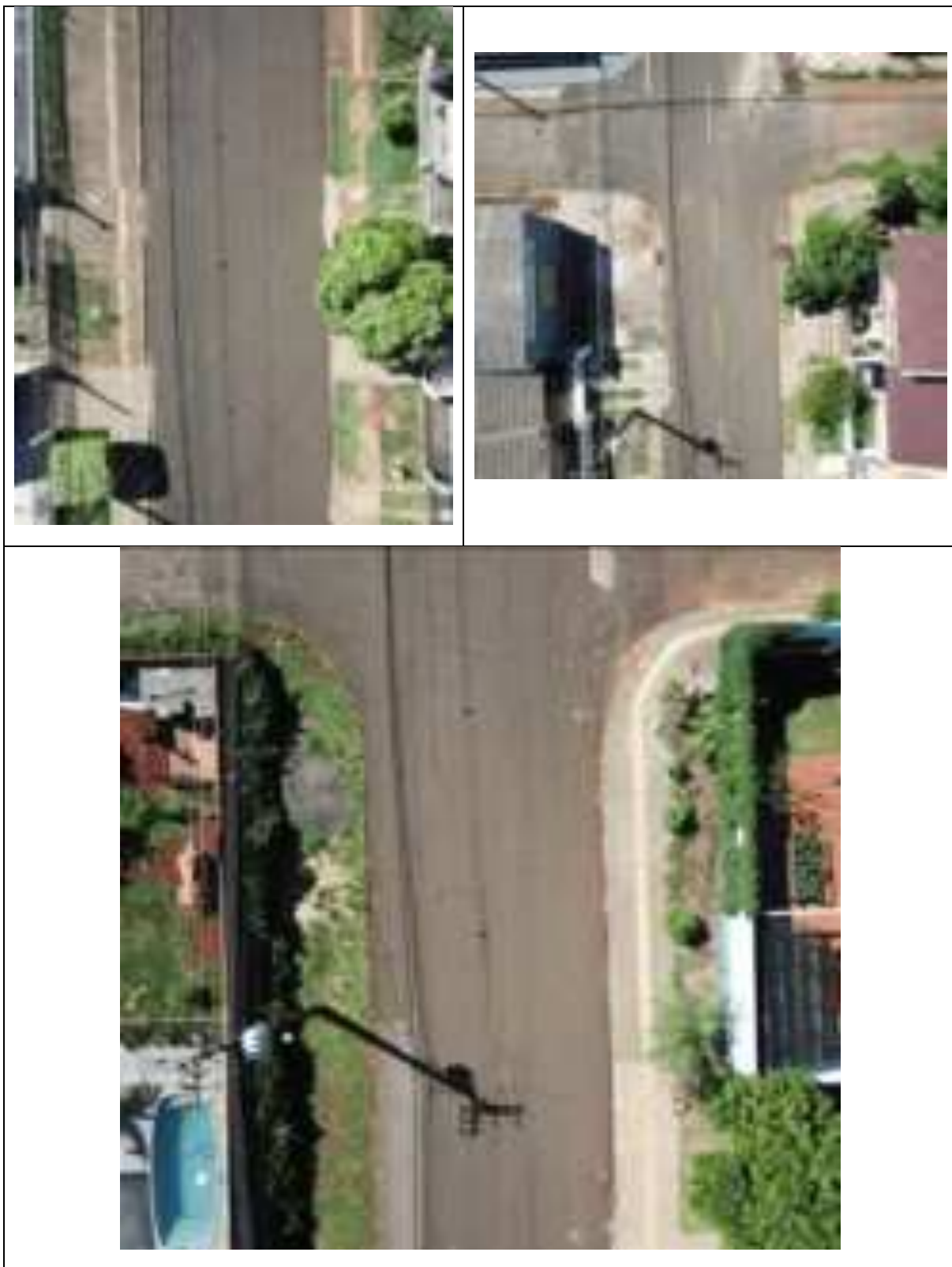


Figura 5.4.3 – Trecho Rua Guariba.



Fuente: Autor (2022).

Figura 5.4.4 – Trecho Rua Rio Claro.



Fuente: Autor (2022).

Figura 5.4.5 – Trecho Gramado.



Fuente: Autor (2022).

Con las tomas aéreas obtenidas y la simbología adoptada en la **Tabla 3.8.1** del capítulo 3, es posible realizar el procesamiento de las imágenes por medio del software QGis, debidamente georreferenciadas para así lograr la debida identificación de las patologías encontradas en cada trecho.

Las imágenes que se tomaron como referencia para el procesamiento y creación de los mapas fueron unas aleatorias y otras presentadas en las figuras anteriores.

En la **Figura 5.4.6** se representa el mapa obtenido para unas secciones de vía del trecho gramado.

Figura 5.4.6 – Mapa georreferenciado, Av. Gramado.



Fuente: Autor (2022).

Con la simbología adoptada por medio de colores y la imagen georreferenciada en el SIRGAS 2000, se identifican las patologías en el trecho de vía y de fácil entendimiento, se tienen patologías piel de cocodrilo, pulimento del agregado, fisuras longitudinales, transversales, etc.

Figura 5.4.7 – Mapa georreferenciado, Av. gramado B.



Fuente: Autor (2022).

De la **Figura 5.4.7** se pueden inferir datos como identificación de la patología. En este caso se percibe la presencia de la fisura piel de cocodrilo en varios tramos del trayecto, y a su vez, se puede evidenciar la cobertura de extensión que esta posee. De tal forma, también es posible realizar una cuantificación de ocurrencia (cantidad de veces que cada patología es encontrada), todo esto disminuyendo el tiempo de ejecución que llevaría realizarlo de manera tradicional.

En la **Figura 5.4.8** se observa el mapa del tramo C de la Av. Gramado debidamente georreferenciado.

Figura 5.4.8 – Mapa georreferenciado, Av. Gramado C.

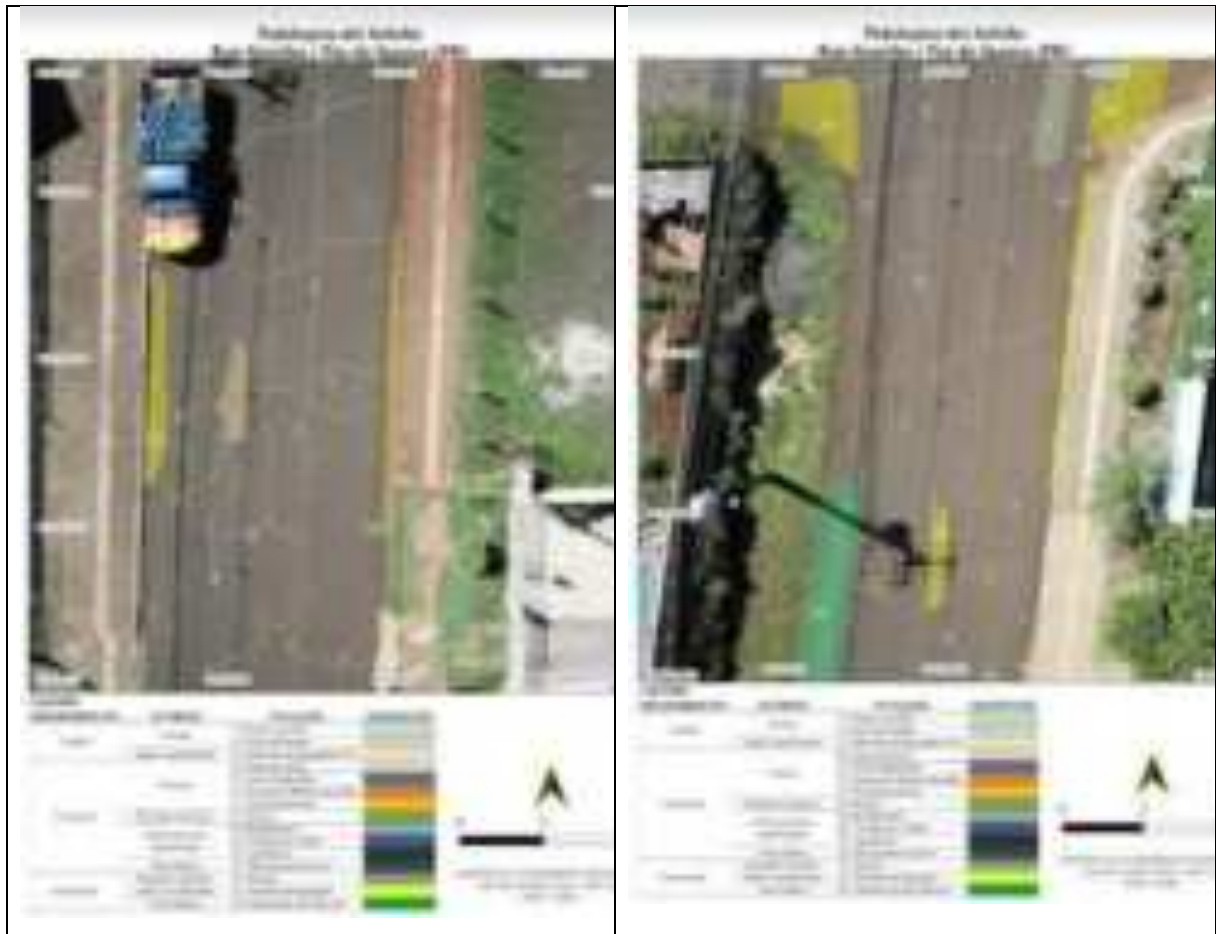


Fuente: Autor (2022).

En esta figura, se observa que es un tramo de vía con menos extensión, y las patologías más evidentes son el pulimento del agregado y la fisura piel de cocodrilo, estas siendo identificadas ya sea por su respectiva numeración o también por la coloración estipulada.

En ese sentido, como ya fue explicado los datos que se puede extraer de los mapas georreferenciados, serán colocados de manera secuencial los mapas restantes. Primeramente, en la **Figura 5.4.9** se disponibilizan los resultados para la calle Guariba en trechos A y B.

Figura 5.4.9 – Mapas georreferenciados, Calle Guariba A y B.

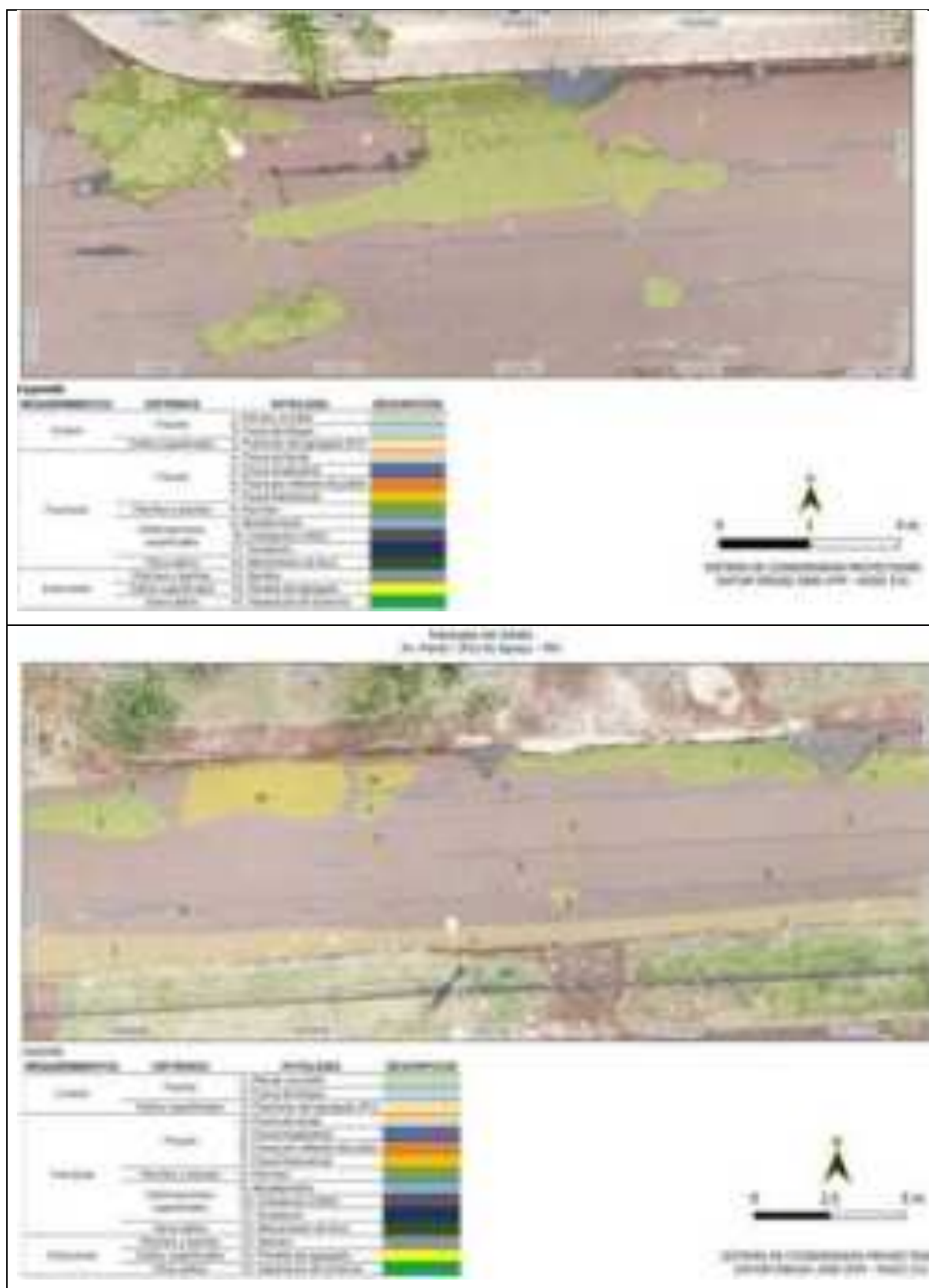


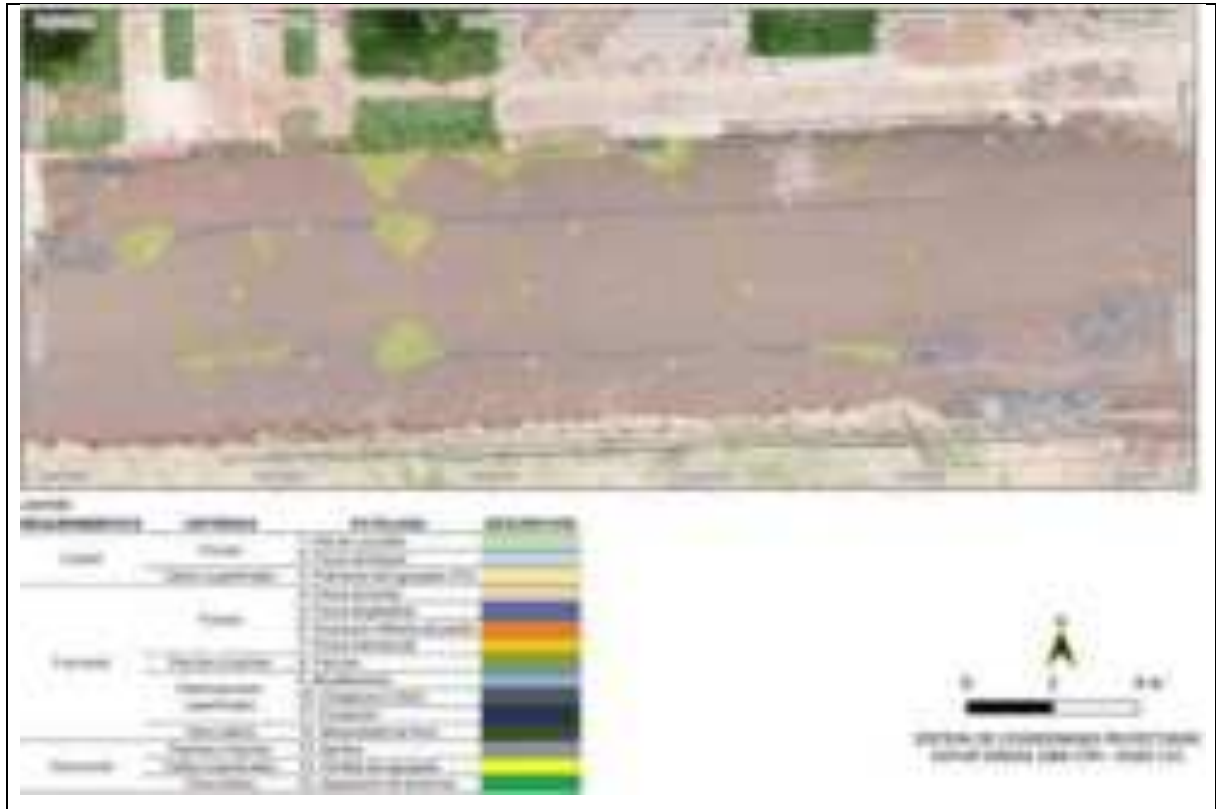
Fuente: Autor (2022).

Conforme las figuras encima, se logra evidenciar la presencia en mayoría de fisuras longitudinales y parte de transversales, con ciertos tramos que muestran pérdida del agregado sobre los bordes del trecho de vía. Indiscutiblemente esta es una alternativa bastante más aplicable, presentable y de fácil comprensión.

En la **Figura 5.4.10** son presentados los resultados de los mapas georreferenciados para la Avenida Para ti, en los trechos A, B y C.

Figura 5.4.10 – Mapas georreferenciados, Av. Para ti, trechos A, B y C.





Fuente: Autor (2022).

Gracias a la identificación de las patologías por numeración y coloración en estos tramos de vía de la Av. Gramado, fue de mucha practicidad poder recolectar los datos de cuantificación y de tal forma, tener una base para implementar la metodología implementada en este trabajo de conclusión de curso, Así, se logró presentar de manera consistente 2 métodos de inspección e identificación de patologías en pavimentos flexibles sin desviarnos del objetivo general.

En la **Tabla 5.4.1** es presentada la cuantificación de las patologías para las vías escogidas que sirven como base, que podrán ser utilizados para posteriores análisis del grado de deterioro asociado.

Tabla 5.4.1 – Cuantificación de indicadores localizados en las vías por medio del Drone.

REQUERIMIENTO	CRITERIO	INDICADOR	N° De Avenida/Calle				
			1	2	3	4	5
Confort	Fisuras	Piel de cocodrilo	20	21	1	6	10
		Fisura de bloque	-	3	2	-	-
	Daños superficiales	Pulimento del agregado (PU)	4	-	-	10	5
Funcional	Fisuras	Fisura de borde	-	-	-	-	-
		Fisura longitudinal	24	4	3	-	1
		Fisura por reflexión de juntas	-	-	-	-	-
		Fisura transversal	12	14	1	-	3
	Parches y baches	Parches	-	-	2	1	2
	Deformaciones superficiales	Ahuellamiento	-	-	-	-	-
		Ondulación (OND)	-	-	-	-	-
		Exudación	-	-	-	-	-
Estructural	Otros daños	Afloramiento de finos	-	1	-	-	-
	Parches y baches	Baches	11	7	3	5	5
	Daños superficiales	Pérdida del agregado (PA)	1	2	10	6	4
	Otros daños	Separación de la Berma	-	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).



6. CONCLUSIONES

En este trabajo de conclusión de curso fue calculado el índice de deterioro mediante la incorporación de una metodología nueva, basada en el modelo MIVES, el cual permitió incluir y evaluar componentes urbanos de análisis de valor de manera separada e integrada.

La concepción del MANUAL UNIFICADO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS como referencia para el desarrollo de la metodología estructurada, ya que cuenta con todos los aspectos necesarios y fundamentales del inventario de patologías utilizado.

Realizado a partir de herramientas como el árbol de requerimientos (que fue el pilar central), la AHP (Proceso de jerarquía analítica) el cual permitió priorizar los atributos y cuantificar las respuestas de cada indicador (patología) siendo apoyados por un grupo de especialistas expertos en el área; las funciones de valor, que sin estas dos últimas herramientas no hubiese sido posible calcular el índice de deterioro del pavimento asfáltico,

La implementación del vehículo aéreo no tripulado (VANT) como fuente alternativa para la inspección e identificación de patologías fue de gran ayuda para lograr visualizar y corroborar la reducción en los tiempos, con características de vuelo que permitieron tener un margen de visión mayor, sin embargo, la creación de los mapas requieren el uso de más artificios matemáticos y de programas específicos que, generan mejor presentación y practicidad de los resultados, consumen más tiempo en su debido procesamiento de imágenes. Es una alternativa que hoy en día viene siendo muy utilizada en las diversas áreas de la ingeniería civil, adaptándose a la era tecnológica, pero sin dejar los modelos tradicionales de lado, porque van ligados, se complementan.

Este estudio otorga resultados cuantitativos a través del modelo matemático, que, a su vez, posee simplicidad a la hora de ser aplicado, porque prioriza condiciones del pavimento que son de vital importancia para mejorar la calidad del tránsito del usuario y que sirve como base para las prefecturas municipales tener el control de sus vías urbanas y saber cuáles pueden presentar una debida intervención de manera inmediata.

Por otra parte, en las vías analizadas en el caso de Foz do Iguaçu y Acacías los índices de deterioro calculados no presentaron una condición de pavimento deplorable, en tanto, esto se debe a que los trechos seleccionados en su mayoría presentan condiciones aceptables por ser carreteras de mayor uso (transitadas) y, además, no son calzadas antiguas desde su tiempo de ejecución.

Finalmente, se resalta que este trabajo de conclusión de curso mezcla diversas áreas de trabajo, como lo son: Amplias referencias bibliográficas, conceso de especialistas del área de pavimentos, levantamientos de campo en dos diferentes países, inspecciones visuales e inspecciones aéreas, herramientas metodológicas matemáticas, criterios de análisis de valor que respaldan las correctas decisiones tomadas en el recorrer del trabajo.

El objetivo principal fue cumplido sin ningún contratiempo y sus respectivos objetivos generales, y, por tanto, la herramienta metodológica puede ser usada y replicada en cualquier otro escenario que lo requiera, sirviendo de auxilio a las entidades gubernamentales y pudiendo ser también, alternativas para distintas líneas de pesquisa futuras.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALVO, Maria Cristina Marino *et al.* **Estratificação de municípios brasileiros para avaliação de desempenho em saúde**. Florianópolis: Epidemiol.Ser.Saude, 2016. 10 p. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/ress/a/nYQtkd4HypncJ5Rkk9hKntS/?lang=pt&format=pdf>. Acceso en: 16 set. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (2017). **Pesquisa de Rodovias: Principais Dados**. CNT. 2017. Disponible en: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/resumo-para-imprensa> . Acceso en: 17 set. 2022.

MELO, R. 2016. **Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

BREEN, Barbara Bollard *et al.* **Aplication of an unmanned aerial vehicle in spatial mapping of terrestrial biology and human disturbance in the McMurdo Dry Valleys, East Antarctica**. Polar Biology. V.38, n.4, 573-578 p. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1586-7> . Acceso en: 18 set. 2022.

ALARCÓN, N. **Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles**. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña. Programa de doctorado en ingeniería civil. Escuela Técnica superior de estudios de ingenieros, caminos y canales de Barcelona. ISBN: 8469019279.

ORMAZABAL, G; VIÑOLAS, B & AGUADO, A. (2008). **Enhancing value in crucial decisions: Line 9 of the Barcelona subway**. Journal of Management in Engineering. Vol. 24, (Pp. 265-272).

JOSÉ, J & GARCIA, A. (2008). **Planteamiento MIVES para la evaluación caso de la EHE**. Dialnet. N. 91, (Pp. 28-36)

ROCA, M; VILLEGAS, N; VIÑOLAS, B; JOSA, A; AGUADO, A. (2008). **Evaluación y jerarquización de departamentos universitarios mediante análisis de valor**. Revista de Investigación en Educación, nº 5, 2008, pp. 27-40. Pp. 27-40. ISSN: 1697-5200. Disponible en: <http://webs.uvigo.es/reined/> . Acceso en: 4 oct. 2022.

VALDÉS, V; PÉREZ, J; CALABI, F. (2012). **La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro**. Revista de ingeniería de obras civiles (RIOC), Vol. 1, 2012, pp. 26-36. ISSN: 0719-0514. Disponible en: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1964/1754> . Acceso en: 15 oct. 2022.

ALARCÓN, C. **Análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos**. 2015. 17 f. Tese - Curso de Especialización En Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil,

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2015. Disponible en:
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15195/MartinezAlarconCarlosAlberto2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acceso en: 20 oct. 2022.

SONCIM, S; JÚNIOR, J. **Modelo de previsão do índice de condição dos pavimentos flexíveis**. The journal of transport literature, Vol. 3, 2015, pp. 25-29. ISSN: 2238-1031. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n3a5> . Acceso en: 22 oct. 2022.

HUAMÁN, N; CHANG, A (2016). **La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú**. Perfiles de ingeniería, 11(11). Disponible en:
http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/402 . Acceso en: 24 oct. 2022.

MIRANDA, J. (2010). **Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos**. Tesis de grado Universidad austral de Chile. Facultad de ciencias de la Ingeniería. Escuela de construcción civil. Santiago, Chile.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program**. Publication No. FHWA – RD – 03 – 031. June 2003.

MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. **Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Octubre 2006.

DNIT (2003). **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia NORMA DNIT 005/2003 – TER**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

KEENEY, R; RAIFA, H; MEYER, R. (1976). **Decisions whith multiple objectives: Preferences and value tradeoffs**. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

VIÑOLAS B; CORTÉS, F; MARQUES, A; JOSA, A; AGUADO, A. (2009). **MIVES: Modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad – ICSMM 2009**. Universidad Politécnica de Cataluña. II Congrés internacional de Mesura i modelització de la sostenibilitat ICSMM 2009. Barcelona. Disponible en:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2022/02/Articulo-MIVES.pdf> . Acceso en: 20 nov 2022.

ALARCÓN N. (2008). **Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles**. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña. Programa de doctorado en ingeniería civil. Escuela Técnica superior de estudios de ingenieros, caminos y canales de Barcelona. ISBN: 8469019279.

ORMAZABAL G.; VIÑOLAS B; AGUADO A. (2008). **Enhancing value in crucial decisions: Line 9 of the Barcelona subway**. Journal of Management in Engineering. Vol. 24, (Pp. 265-272).



SAN JOSÉ J; GARCIA, A. (2008). **Planteamiento MIVES para la evaluación caso de la EHE**. Dialnet. N. 91, (Pp. 28-36).

ROCA MARTÍN, S; VILLEGAS, N; VIÑOLAS, B; JOSA, A; AGUADO, A. (2008). **Evaluación y jerarquización de departamentos universitarios mediante análisis de valor**. Revista de Investigación en Educación, nº 5, 2008, pp. 27-40. Pp. 27-40. ISSN: 1697-5200. Disponible en: <http://webs.uvigo.es/reined/>. Acceso en: 21 nov. 2022.

VIÑOLAS, B; CORTÉS, F; MARQUES, A; JOSA, A; AGUADO, A. (2009). **MIVES: modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad - ICSMM 2009**. II Congreso Internacional de Mesura i Modelització de la Sostenibilitat ICSMM 09. CIMNE, Barcelona.

VIÑOLAS, B; AGUADO, A; JOSA, A; VILLEGAS, N; FERNÁNDEZ, M. (2009). **Aplicación del análisis de valor para una evaluación integral y objetiva del profesorado universitario**. Revista de Universidad y Sociedad del conocimiento RUSC. vol. 6 n.º 2 (2009) Pp 22-37| ISSN 1698-580x. Monográfico "Evaluación de la calidad en la educación".

VILLEGAS, N. (2009). **Análisis de valor en la toma de decisión aplicado a carreteras**. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña UPC. Departamento de Caminos, canales y puertos de Barcelona.

AGUADO, A; CAÑO, A; DE LA CRUZ, M; GÓMEZ, D; JOSA, A. (2011). **Sustainability assessment of concrete structures within the Spanish structural concrete code**. Journal of Construction Engineering and Management. Vol.138, (Pp. 268-276).

DEL CAÑO, A; GÓMEZ, D; DE LA CRUZ, M. (2012). **Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: A probabilistic method**. Construction and Building Materials. Vol. 37, (Pp. 865- 873).

ENRICA, D'AULA. (2012). ICADA. **Base para un índice de calidad acústica global de la arquitectura interior: aplicación a los espacios comerciales urbanos**. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I.

PONS, O; DE LA FUENTE, A. (2013). **Integrated sustainability assessment Method applied to structural concrete columns**. Construction and Building Materials. Vol. 49, (Pp. 882-893).

JATO, D; RODRIGUEZ, J; VALERI, V; BALLESTER, F. (2014). **A fuzzy stochastic multi-criteria model for the selection of urban pervious pavements**. Expert Systems with Applications. Vol. 41, (Pp. 6807-6817). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.008> Acceso en: 21 nov. 2022.

CASANOVAS, M. (2014). **Metodología para la evaluación y seguimiento de procedimientos constructivos de forma sostenible e integrada**. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria de la Construcció.

REYES, J; SAN JOSÉ, J; CUADRADO, J; SANCIBRIAN, R. (2014). **Health & Safety criteria for determining the sustainable value of construction projects.** Safety science. Vol. 62, (Pp. 221-232).

HOSSEINI, S; DE LA FUENTE, A; PONS, O. (2015). **Multi criteria decision making model for assessing the sustainability index of wind- turbine support systems: application to a new precast concrete alternative.** Journal of Civil Engineering and Management.

HOSSEINI, S; DE LA FUENTE, A; PONS, O. (2016). **Multi criteria decision making method for sustainable site location of post disaster temporary housing in urban areas.** Journal of Civil Engineering and Management. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14680629.2018.1474788>. Acceso en: 21 nov. 2022.

GÓMEZ, A. (2015). **Estudio comparativo de los modelos de gestión en la recogida de residuos urbanos mediante criterios de sostenibilidad.** Tesis de grado Universidad de Cataluña. Escuela técnica Superior de Ingeniería de caminos, canales y puertos. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79419/TFG_Aitor_Gomez.pdf . Acceso en: 22 nov. 2022.

DE LA FUENTE, A; PONS, O; JOSA, A; AGUADO, A. (2016). **Multi Criteria Decision Making in the sustainability assessment of sewerage pipi systems.** Journal of cleaner production.

GOLSHID, G; BLANCO, A; DE LA FUENTE, A. (2017). **A New Sustainability Assessment Approach Based on Stakeholders Satisfaction for Building Façades.** ScienceDirect. Vol 115, (Pp. 50-58). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217322051>. Acceso en: 22 nov. 2022.

PLÀ PENADÉS, V. (2017). **Aplicación de la toma de decisión Multi-criterio al diseño sostenible de puentes de Hormigón.** Tesis de Master Universidad Politécnica de Valencia. Programa de Master en Ingeniería Civil. Ingeniería de la construcción y proyectos de Ingeniería Civil.

PUJADAS, P; CAVALARO, S; AGUADO, A. (2018). **MIVES multicriteria assessment of urban- pavement conditions: application to a case study in Barcelona.** Barcelona, España.

PUJADAS, P; PARDO, F; AGUADO, A. (2017). **MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona.** Land use and policy Journal. Vol. 64, (Pp. 29-37). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.014>. Acceso en: 22 nov. 2022.



ÁLVAREZ, J. (2018). **Estudio comparativo de sostenibilidad de carreteras mexicanas**. Tesis de Master Universidad Politécnica de Cataluña. Programa de Master en Ingeniería Civil. Escuela técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos de Barcelona.

PALACIOS, M. (2018). **Automatización de la construcción**. Tesis de Maestría Universidad de Cataluña. Programa de Master en Ingeniería Civil. Escuela Técnica Superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/118137> . Acceso en: 22 nov. 2022.

MERODIO, J. (2018). **Optimización de la sostenibilidad de un condensador de vapor para una central de producción de energía eléctrica**. Tesis de Master Universidade da Coruña. Escola politécnica Superior. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2183/22079> . Acceso en: 22 nov. 2022.

GONZÁLES, A. (2018). **Proyecto de una nave de almacenaje con estructura metálica y dinteles en celosía y análisis comparativo de su sostenibilidad**. Tesis de grado Universidad de la Coruña. Facultad de Ingeniería. Escola politécnica Superior. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2183/21677>. Acceso en: 22 nov. 2022.

GONZALES, S; ZAMORA, J. (2019). **Desarrollo de un instrumento de evaluación multicriterio, para valorar el estado actual del soporte físico de un polígono de actividad económica (PAE)**. Disertación de conferencia, Universidad politécnica de Cataluña UPC. Laboratorio de innovación y tecnología en la arquitectura. Barcelona.

VACA, I. (2020). **Selección de material híbrido alternativo o no convencional para la construcción, utilizando métodos multicriterio y simulación de esfuerzos-deformación para optimizar el material**. Tesis de grado Universidad Internacional SEK. Facultad de Arquitectura e Ingeniería.

TORRES, B. (2020). **Impactos ambientales en la construcción de vías vehiculares, peatonales, áreas verdes en Av. Juan Velasco Alvarado, distrito de Pilco Marca – Huánuco**. Tesis de grado Universidad de Huánuco. Facultad de Ingeniería. Programa académico de Ingeniería ambiental. Disponible en: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3381>. Acceso en: 23 nov. 2022.

GARCÍA, L; MATIENZO, H. (2020). **Reactivación del sector inmobiliario considerando el factor social y económico**. Tesis de grado Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela profesional de Ingeniería Civil. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3829>. Acceso en: 23 nov. 2022.

HERRERA, I. (2020). **Estudio de diferentes tipologías de puentes desde el punto de vista de su sostenibilidad**. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña UPC. Departamento de caminos, canales y puertos de Barcelona.

ARNAIZ, M. (2021). **Estudio Multicriterio de alternativas para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en países empobrecidos**. Tesis de grado Universidad de Cantabria. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Disponible en:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/22166/TFG%20Maria%20Antonia%20Arnaiz%20Gorostegui.pdf?sequence=1> . Acceso en: 23 nov. 2022.

MORA, K. (2021). **Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de gestión de residuos municipales a través del modelo MIVES. Estudio de caso en la comuna de la concepción (Chile).** Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña UPC. Departamento de caminos, canales y puertos de Barcelona.

ARAYA, J. (2021). **Modelo para la toma de decisiones en la evaluación de destinos turísticos basado en el criterio de sostenibilidad: Estudio de caso situado en Costa Rica.** Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña UPC. Departamento de caminos, canales y puertos de Barcelona.

HOSSEINI, S; GHALAMBORDEZFOOLY, R; DE LA FUENTE, A. (2022). **Modelo de sostenibilidad para seleccionar la ubicación óptima del sitio para unidades de vivienda temporal: combinación de GIS y el modelo MIVES** *Mochila. Sostenibilidad*, 14 (8), 4453. MDPI AG. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/su14084453>. Acceso en: 23 nov. 2022.

SAATY, T. (1980). **AHP: The analytic Hierarchy Process.** Mc Graw-Hill. USA.

ROY, B. (1968). **Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE).** *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)* (8): 57–75.

BRANS, J. (1982). **L'ingénierie de la décision: élaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE.** Presses de l'Université Laval.

KAHNEMAN, D; TVERSKY, A. (1979). **Prospect theory: An analysis of decision under risk** *Econometrica*. 47 pp. 263-292.

HWANG, C; YOON, K. (1981). **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications.** New York: Springer-Verlag.

MILES, G. (1956). **The magic number seven, plus or minus two.** *The Psychological Review*. Vol. 63 (Pp. 81-97). New York.

ASSIS, A; et al. (2019). **Uso de Aeronave Remotamente Pilotada (arp) na identificação de patologias referentes ao pavimento flexível da UFRRJ.** *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR 2019.* São José dos Campos, Brasil, 2019.

RAGNOLI, A; et al. (2018). **Pavement Distress Detection Methods: A Review.** *Infrastructures*, 3(4), 58.

VASCONCELOS, R; CABRAL, A; DANTAS, G; TINOCO, V; DA SILVEIRA, B; JUNIOR, A. (2021). **Mapeo de manifestaciones patológicas en pavimento asfáltico por medio del uso de drones.** *Revista ALCONPAT*, 11 (1), pp. 61 – 72, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521>. Acceso en: 24 nov. 2022.



SANTANA, N. (2017). **Monitoramento e levantamento dos defeitos existentes no pavimento da UFPE campus CAA com uso do drone**. Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em engenharia civil. Universidade Federal de Pernambuco.

Disponível em:

<https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/41284/1/CARVALHO%2c%20Nicolas%20Henrique%20Santana%20de.pdf> . Acesso em: 24 nov. 2022.

MEDINA, J; MOTTA, L. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, v. 23, 1997.

MORALES, R; ARNOLDO, C. (2007). **Control de calidad en la evaluación de pavimentos asfálticos existentes**. Universidad de Guatemala. Disponível em: <http://www.biblioteca.usac.edu.gt/biblioteca2/index.php> . Acesso em: 19 nov. 2022.

VITILLO, N. (2013). **Pavement Management Systems Overview**. New Jersey. Krieger. 1p.

DUQUE, J; LONDOÑO, G. **APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE LA MALLA VIAL DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN**. Ing.Usbmed., Medellín, v. 3, n. 2, p. 1-15, 10 dic. 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/277/192> . Acesso em: 25 nov. 2022.

ÁLVAREZ, F; LÓPEZ, J; CANITO, F; MORAL, A. **Development of a measure model for optimal planning of maintenance and improvement of roads**. Computers & Industrial Engineering, Vol. 52, Issue 3, pp. 327-335, Abril 2007.

CHEN, W; YUAN, J; LI, M. (2012). **Application of GIS/GPS in Shanghai Airport Pavement Management System**. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education. Tongji University, Shanghai 200092, P.R. China, Shanghai Airport Authority, Shanghai 200335, P.R. China.

SANTOS, M. S.; PINA, M. F.; CARVALHO, M. S. (Org.). **Conceitos de Sistemas de Informações Geográficas e Cartografia Aplicados à Saúde**. Brasília: Organização Panamericana de Saúde, 2000.

FERNANDES, F. (2011). **Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento para conservação do pavimento de vias urbanas, através de um sistema de informações geográficas (SIG)**. Dissertação de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95710/296875.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 25 nov. 2022.

8. ANEXO A – FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS CON EL DRONE

Fotografía 8.1 – Avenida Para ti.

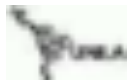


Fuente: Autor (2022).

Fotografía 8.2 – Avenida Para ti 2.



Fuente: Autor (2022).



Fotografia 8.3 – Calle Buritama.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 8.4 – Calle Rio Claro.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 8.5 – Trecho gramadão.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 8.6 – Trecho gramadão B.



Fuente: Autor (2022).

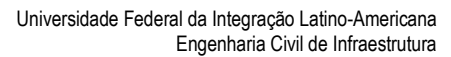


Figura 9.1 – Aforo vehicular Avenida Costa e Silva.

Figura 9.1 – Aforo vehicular Avenida Costa e Silva.

Fuente: Autor (2022).

Figura 9.2 – Aforo vehicular Avenida Paraná

Fuente: Autor (2022).

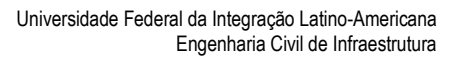
Figura 9.3 – Aforo vehicular Avenida República Argentina.

Fuente: Autor (2022)

Date		Description		Amount		Balance	
Month	Year	Particulars	Debit	Credit	Debit	Credit	Balance
Jan	2020	Salaries	1000		1000		1000
Feb	2020	Salaries	1000		1000		1000
Mar	2020	Salaries	1000		1000		1000
Apr	2020	Salaries	1000		1000		1000
May	2020	Salaries	1000		1000		1000
Jun	2020	Salaries	1000		1000		1000
Jul	2020	Salaries	1000		1000		1000
Aug	2020	Salaries	1000		1000		1000
Sep	2020	Salaries	1000		1000		1000
Oct	2020	Salaries	1000		1000		1000
Nov	2020	Salaries	1000		1000		1000
Dec	2020	Salaries	1000		1000		1000
Total			12000		12000		12000

[illegible][illegible]

Versão Final Homologada
23/01/2023 11:48



Customer Information		Product Information		Sales Information		Financial Information	
Customer Name	Customer Address	Product Name	Product Description	Sales Date	Sales Amount	Net Amount	Net Amount
John Doe	123 Main St, New York, NY 10001	Product A	Product A Description	2023-01-01	100.00	80.00	80.00
Jane Smith	456 Elm St, Los Angeles, CA 90001	Product B	Product B Description	2023-01-02	200.00	160.00	160.00
Bob Johnson	789 Oak St, Chicago, IL 60601	Product C	Product C Description	2023-01-03	300.00	240.00	240.00
Alice Brown	101 Pine St, San Francisco, CA 94101	Product D	Product D Description	2023-01-04	400.00	320.00	320.00
Charlie Davis	202 Cedar St, Houston, TX 77001	Product E	Product E Description	2023-01-05	500.00	400.00	400.00
Diana Prince	303 Birch St, Phoenix, AZ 85001	Product F	Product F Description	2023-01-06	600.00	480.00	480.00
Edward Norton	404 Spruce St, Philadelphia, PA 19101	Product G	Product G Description	2023-01-07	700.00	560.00	560.00
Fiona Green	505 Ash St, San Diego, CA 92101	Product H	Product H Description	2023-01-08	800.00	640.00	640.00
George Hamilton	606 Hickory St, Dallas, TX 75201	Product I	Product I Description	2023-01-09	900.00	720.00	720.00
Helen Keller	707 Walnut St, San Jose, CA 95101	Product J	Product J Description	2023-01-10	1000.00	800.00	800.00

[illegible]

Versão Final Homologada
23/01/2023 11:48

10. APÉNDICE B – FICHAS DE CARACTERIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS

Figura 10.1 – Ficha de caracterización Av. República Argentina.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Rurrem. Orientador: Dr. Ing. Noel Villegas Flores	
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	
1. FATIGUE CRACKING/ PIEL DE COCODRILO	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	35
2	60
3	40
4	35
5	35
6	60
7	40
8	35
9	35
10	60
11	40
Media	58
2. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	20
2	40
3	50
4	50
Media	40
3. EDGE CRACKING / FISURA DE BORDE	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	60
2	60
3	60
4	60
5	60
Media	72



4. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	50
2	100
3	70
4	50
5	60
6	40
7	70
8	60
9	60
10	70
11	50
12	50
Media	57,5
5. TRANSVERSE CRACKING/ FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	50
2	50
3	50
4	60
5	70
6	70
7	50
8	60
9	70
10	50
11	20
12	50
13	70
Media	58
6. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	20
2	30
3	20
4	30
5	20
6	30
7	30
Media	28

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.2 – Ficha de caracterización Av. JK.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Romero Orientador: Dr. Ing. Noel Villegas Flores	
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	
1. FATIGUE CRACKING/ PIEL DE COCOIRILO	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
Media	20
2. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	60
2	50
3	30
4	30
5	50
6	50
7	30
8	60
9	50
Media	47
3. TRANSVERSE CRACKING/ FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	60
2	50
3	50
4	90
5	60
6	50
7	50
8	30
9	40
10	50
11	70
12	50
13	60
14	70
Media	57



4. PHOTOLEST BACHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	30
2	20
3	30
Media	27

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.3 – Ficha de caracterización Av. Costa e Silva.




Discente: Juan Pablo Rubio Romero

Orientador: Dr. Ing. Noel Villegas Flores

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS

1. FATIGUE CRACKING/ PIEL DE COCODRILO	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	10
2	40
3	75
4	75
5	10
6	20
7	75
8	75
9	10
10	75
11	40
12	75
13	75
14	75
Media	58

2. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	10
2	10
3	20
4	50
5	40
6	50
7	20
8	40
9	40
Media	31,1

3. LONGITUDINAL CRACKING/ FISSURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	90
2	40
3	70
4	50
5	90
6	50
7	70
8	90
9	100
10	70
11	90
12	100
Media	78

4. TRANSVERSE CRACKING/ FISSURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	90
2	70
3	90
4	100
5	40
6	50
7	90
8	90
9	90
10	40
11	20
12	20
Media	63.3

5. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	20
2	20
3	20
Media	20

6. POTHOLES/ BACHES	
REGISTRO	MEDIDAÇÃO: Pontos
1	20
2	40
3	40
4	20
5	40
6	40
Media	33.3

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.4 – Ficha de caracterização José María de Brito.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Romero Orientador: Dr. Ing. Nels Villegas Flores	
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	
1. FATIGUE CRACKING/ PIEL DE COCODRILO	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	65
2	40
3	10
4	10
5	20
6	10
7	40
8	75
9	10
10	10
11	10
12	10
13	15
14	65
15	10
16	40
Media	53,75
2. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	20
2	40
3	10
4	10
5	50
6	40
7	40
8	50
9	10
Media	38,88

3. LONGITUDINAL CRACKING/ FISSURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	10
2	40
3	60
4	10
5	40
6	50
7	90
8	70
9	50
10	50
Media	57
4. TRANSVERSE CRACKING/ FISSURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	90
2	10
3	10
4	60
5	50
6	20
7	40
8	50
9	20
Media	46.6
5. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	20
3	10
4	20
5	10
Media	16
6. PHOTOLES/ BACHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	10
Media	10

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.5 – Ficha de caracterização Av. 7 de agosto.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Romero Orientador: Dr. Ing. Noé Villegas Flores	
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	
1. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	40
2	50
3	70
4	70
5	60
6	50
7	70
Media	58,3
2. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	10
2	50
3	30
4	40
5	50
6	30
7	50
8	40
9	40
Media	42,2
3. TRANSVERSE CRACKING/ FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDICÃO: Pontos
1	10
2	30
3	30
4	50
5	10
6	40
7	30
8	50
Media	30,7

4. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	10
2	20
3	20
Media	16.6
5. PHOTOLES/ BACHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	30
3	30
Media	26.6

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.6 – Ficha de caracterización calle 13.




Discente: Juan Pablo Rubio Romero
Orientador: Dr. Ing. Noel Villegas Flores

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS

1. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	40
2	70
3	40
Media	50

2. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	20
3	40
4	50
5	40
6	60
7	60
8	70
9	70
10	60
Media	49



3. TRANSVERSE CRACKING / FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	20
3	40
4	30
5	50
6	50
7	70
8	70
9	80
Media	48,9

4. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	30
3	20
Media	23,3

5. PHOTOLOG / BACHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	20
3	10
4	30
Media	20,0

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.7 – Ficha de caracterización calle 16.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Romero	Orientador: Dr. Ing. Nels Villegas Flores
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	

1. FATIGUE CRACKING / PIEL DE COCODRILLO	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	40
2	40
3	20
Media	33,3

2. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	30
2	30
3	10
4	40
5	50
6	30
7	10
Media	37
3. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	20
3	30
4	40
5	30
6	50
7	50
8	20
9	60
Media	35.5
4. TRANSVERSE CRACKING/ FISURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	30
2	30
3	50
4	60
5	60
6	40
7	40
8	30
Media	42.5
5. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	40
3	10
4	10
Media	20
6. PHOTOLES/ BACHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	30
Media	25
7. SHOVING / ONDULACIÓN	
REGISTRO	MEDIÇÃO: mm
1	20
Media	20

Fuente: Autor (2022).

Figura 10.8 – Ficha de caracterização calle 18.

 	
Discente: Juan Pablo Rubio Romero. Orientador: Dr. Ing. Nób Villegas Flores.	
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS	
1. BLOCK CRACKING/ FISURA DE BLOQUE	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	30
3	30
4	40
5	40
6	40
7	50
8	50
Media	37,5
2. LONGITUDINAL CRACKING/ FISURA LONGITUDINAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	30
2	30
3	20
4	30
5	50
6	40
7	40
8	50
9	60
10	50
11	40
Media	41

3. TRANSVERSE CRACKING/ FISSURA TRANSVERSAL	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	30
2	20
3	20
4	40
5	50
6	40
7	50
8	60
9	60
10	70
11	70
Media	41.8

4. PATCH DETERIORATION / PARCHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	20
2	10
3	20
4	20
Media	17.5

5. PHOTOLES/ BACHES	
REGISTRO	MEDIÇÃO: Pontos
1	70
2	70
3	80
Media	73.3

Fuente: Autor (2022).

Fotografía 10.1 – Bache en la Av. José María de Brito.



Fuente: Autor (2022).



Fotografia 10.2 – Piel de cocodrilo Av. República Argentina.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 10.3 – Fisura transversal Av. JK.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 10.4 - Medición de profundidad de Bache, Av. Costa e Silva.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 10.5 – Fisura de bloque, Av. Paraná.



Fuente: Autor (2022).



Fotografia 10.6 – Piel de cocodrilo, Av. 7 de agosto.



Fuente: Autor (2022).

Fotografia 10.7 – Parche, Calle 13.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 10.8 - Bache, calle 14.



Fuente: Autor (2022).

Fotografía 10.9 – Piel de cocodrilo, calle 16 y bache, calle 18.



Fuente: Autor (2022).

APÉNDICE C – MANUAL UNIFICADO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS.

JUAN PABLO RUBIO ROMERO

MANUAL UNIFICADO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS

PAVIMENTOS FLEXIBLES

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
(UNILA)

Algo he aprendido en mi larga vida: que toda nuestra ciencia,
contrastada con la realidad, es primitiva y pueril; y, sin embargo, es lo
más valioso que tenemos.

Albert Einstein

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Patología “Fatigue Cracking”	4
Figura 2. Grados de severidad, Patología “Block Cracking”	4
Figura 3. Grados de Severidad, “Fatigue Cracking”	4
Figura 4. Caracterización de la patología “Fatigue cracking”	5
Figura 5. Baja severidad “Fatigue cracking”	5
Figura 6. Severidad intermedia “Fatigue cracking”	5
Figura 7. Severidad alta “Fatigue cracking”	5
Figura 8. Dimensiones de la patología “Block Cracking”	6
Figura 9. Forma de medición, “Block Cracking”	6
Figura 10. Caracterización de la patología “Block Cracking”	7
Figura 11. Severidad Alta ”Block Cracking”	7
Figura 12. Dimensiones de la patología “ Transverse Cracking”	8
Figura 13. Patología, “Transverse Cracking”	8
Figura 14. Severidad Baja - “Transverse Cracking”	9
Figura 15. Severidad Intermedia - “Transverse Cracking”	9
Figura 16. Severidad Alta - “Transverse Cracking”	9
Figura 17. Esquematización de la patología “Longitude cracking”	10
Figura 18. Forma de medición, “Longitudinal Cracking”	10
Figura 19. Severidad Intermedia “Longitudinal Cracking”	11
Figura 20. Dimensiones de la patología “ Edge Cracking”	12
Figura 21. Patología, “Edge Cracking”	12
Figura 22. Severidad alta “Edge Cracking”	13
Figura 23. Severidad baja “Edge Cracking”	13
Figura 24. Patología “Reflection cracking at joints”	14
Figura 25. Caracterización de la Patología.	14
Figura 26. Severidad alta “Reflection cracking at joints”	15
Figura 27. Patología “Fisuras en juntas de construcción”	16
Figura 28. Caracterización de la Patología “Fisuras en juntas de construcción”	16
Figura 29. Fisura longitudinal en junta de construcción.	17
Figura 30. Fisura transversal en junta de construcción.....	17
Figura 31. Patología “Fisuras en medialuna”	18
Figura 32. Caracterización de la patología “Fisura en medialuna”	18
Figura 33. Patología “Patch”	19
Figura 34. Caracterización de la patología.....	19
Figura 35. Severidad Baja - “Patch”	20
Figura 36. Severidad Intermedia - “Patch”	20
Figura 37. Severidad Alta - “Patch”	20
Figura 38. Dimensiones de la patología “Potholes”	21

Figura 39. Patología - “Potholes”	21
Figura 40. Severidad Baja - “Potholes”	22
Figura 41. Severidad Intermedia - “Potholes”	22
Figura 42. Severidad Alta - “Potholes”	22
Figura 43. Caracterización de la patología “Rutting”	23
Figura 44. Patología - “Rutting”	23
Figura 45. Profundidad visible sobre la carpeta asfáltica	24
Figura 46. Agua posada a causa del ahuellamiento.	24
Figura 47. Patología “Shoving”	25
Figura 48. Forma de medición.	25
Figura 49. Caracterización de la patología “Shoving”	26
Figura 50. Patología “Bleeding”	27
Figura 51. Caracterización de la patología “Bleeding”.	27
Figura 52. Descoloración discontinua en zonas de la carpeta asfáltica.	28
Figura 53. Agregados oscuros.	28
Figura 54. Pérdida de textura.....	28
Figura 55. Patología “Polished Aggregate”	29
Figura 56. Caracterización de la patología “Polished Aggregate”	29
Figura 57. Patología “Raveling”	30
Figura 58. Caracterización de la patología “Raveling”.	30
Figura 59. Pérdida de agregado fino.....	31
Figura 60. Pérdida de agregados finos y gruesos.....	31
Figura 61. Pérdida de agregado grueso.....	31
Figura 62. Patología “Cabezas duras”	32
Figura 63. Caracterización de la patología “Cabezas duras”	32
Figura 64. Patología “Desgaste Superficial”	33
Figura 65. Caracterización de la patología “Desgaste Superficial”	33
Figura 66. Patología “Surcos”	34
Figura 67. Caracterización de la patología “Surcos”	34
Figura 68. Patología “Lane-To-Shoulder Dropoff”	35
Figura 69. Diferencia de elevación entre la calzada y la berma	35
Figura 70. Caracterización “Lane-to-Shoulder Dropoff”	35
Figura 71. Patología “Water Bleeding and pumping”	36
Figura 72. Afloramiento de finos.	36
Figura 73. Patología “Water Bleeding and pumping”	37
Figura 74. Afloramiento de agua sobre la calzada.	37
Figura 75. Posible infiltración de agua.	37

INDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN.....4

1.1. FATIGUE CRACKING (PIEL DE COCODRILO)..... 4

1.2. BLOCK CRACKING (FISURA DE BLOQUE)..... 6

1.3. TRANSVERSE CRACKING (FISURA TRANSVERSAL) 8

1.4. LONGITUDINAL CRACKING (FISURA LONGITUDINAL)..... 10

1.5. EDGE CRACKING (FISURA DE BORDE)..... 12

1.6. REFLECTION CRACKING AT JOINTS (FISURA POR REFLEXIÓN DE JUNTAS)..... 14

1.7. FISURAS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN 16

1.8. FISURAS EN MEDIALUNA (FML) 18

2. PATCHING AND POTHOLE (PARCHES Y BACHES)..... 19

2.1. PATCH / PATCH DETERIORATION (PARCHES)..... 19

2.2. POTHOLE (BACHES) 21

3.1. RUTTING (AHUELLAMIENTO) 23

3. SURFACE DEFORMATION (DEFORMACIÓN SUPERFICIAL) 23

3.2. SHOVING (ONDULACIÓN) 25

4.1. BLEEDING (EXUDACIÓN) 27

4. SURFACE DEFECTS (DAÑOS SUPERFICIALES) 27

4.2. POLISHED AGGREGATE (PULIMENTO DEL AGREGADO) 29

4.3. RAVELING (PÉRDIDA DEL AGREGADO) 30

4.4. CABEZAS DURAS..... 32

4.5. DESGASTE SUPERFICIAL (DS)..... 33

4.6. SURCOS (SU) 34

5.1. LANE-TO-SHOULDER DROPOFF (SEPARACIÓN DE LA BERMA) 35

5.2. WATER BLEEDING AND PUMPING (AFLORAMIENTO DE FINOS) 36

5.3. AFLORAMIENTO DE AGUA..... 37

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 38

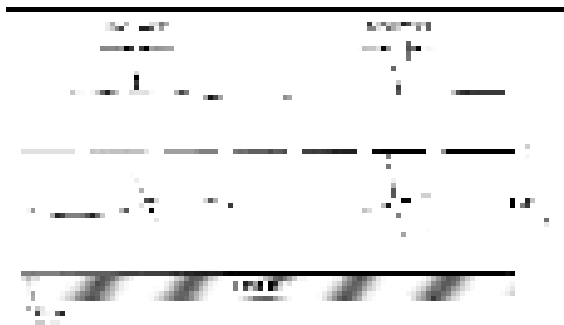
PREFACIO

El siguiente Manual de inspección de patologías es una revisión Bibliográfica basada principalmente en el manual de identificación de fisuras de Estados Unidos (*Distress identification manual for the long-term Pavement performance program*), la normativa brasileira DNIT 005/2003 – *Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirígidos. Terminologia*, y el manual para la inspección visual de pavimentos flexibles de INVIAS, Colombia. Estructura auxiliar desarrollada para el trabajo de conclusión de curso de Ingeniería civil de Infraestructura de la Universidad Federal Latino-Americana, UNILA. Prohíbese la divulgación de este material sin previa autorización.

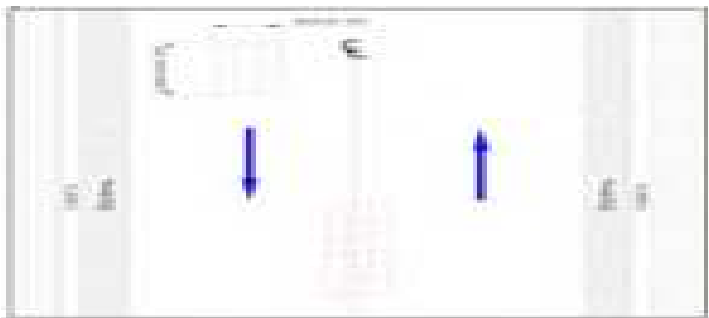
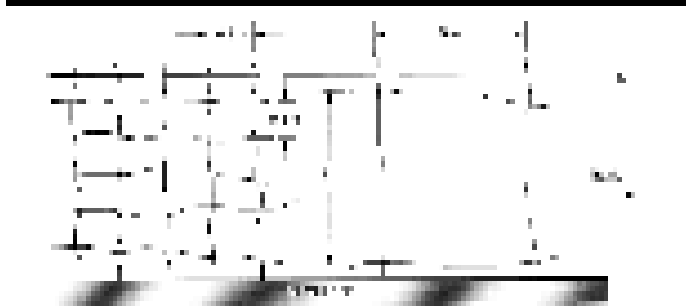
Los pavimentos asfálticos flexibles, dependiendo el tipo de deformación que presenten se clasifican conforme un grado de severidad asociada (Bajo, Intermedio, alto), de tal forma se puede obtener una noción del problema y generar la solución más viable tanto constructiva como económica.

La evaluación de pavimentos permite la identificación de fallas constructivas que se manifiestan precozmente, como también lo acompaña el desgaste natural que sufren todos los pavimentos, contribuyendo para que las inaceptables intervenciones sean bien seleccionadas y ejecutadas en el momento adecuado. (MACHADO, 2013¹)

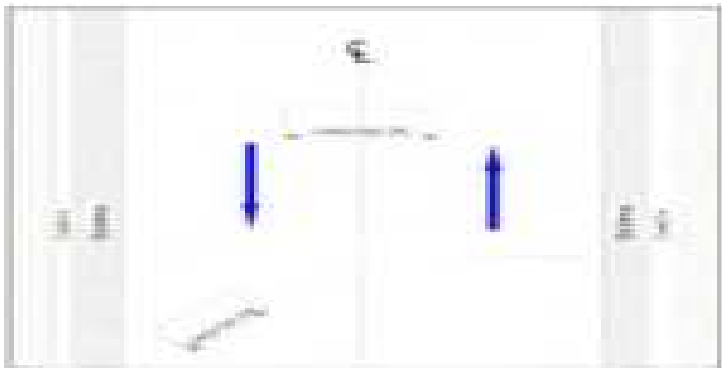
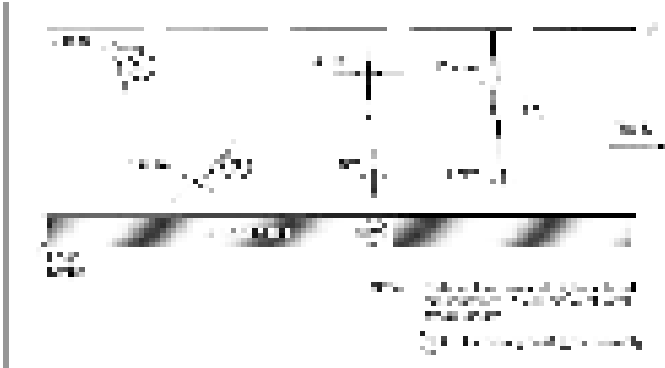
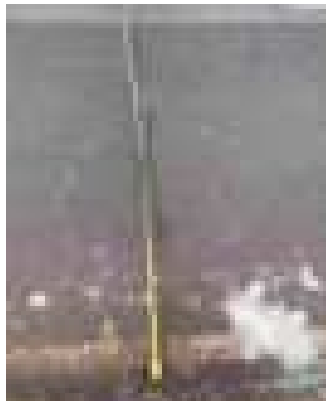
1, CRACKING (FISURAS)

1.1. FATIGUE CRACKING (PIEL DE COCODRILO)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Ruptura de la superficie de rodamiento por fisuras interconectadas	Identificación con características de “piel de cocodrilo”	Repetición de cargas del tráfico.	Normalmente en la trayectoria de las ruedas.	Deformaciones, descascaramientos, baches.	
Representación Gráfica					
					
Figura 1. Patología “Fatigue Cracking”			Figura 2. Grados de severidad, Patología “Block Cracking”		
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla			• Límite de su capacidad. • El pavimento ha sido sometido a cargas mayores a las de diseño. • Las dimensiones del espesor son menores a las solicitadas por el proyecto. • Ausencia de control de calidad en ejecución de obra. • Presencia de agua debilitado la estructura del pavimento.		
Grados de Severidad			Inspección visual para medir el grado de Severidad		
Bajo			Pocas rupturas o con poca interconexión. Las rupturas se encuentran abiertas, sin sellamiento. No hay evidencia de bombeo de finos.		
Intermedio			Apreciación de áreas de ruptura interconectada formando patrones de fisuramientos. No hay evidencia de bombeo de finos.		
Alto			Apreciación de rupturas/áreas moderadamente (o severamente) abiertas interconectadas formando patrones de fisuramientos. Las piezas pueden moverse debido al paso del tráfico vehicular. Existe evidencia clara de bombeo de finos.		
Forma de inspección y medición					
Levantamiento y medición (en metros cuadrados) de las áreas con presencia de patologías, discriminando por nivel de severidad. En caso de observar distintos grados de severidad, se mide el total del área afectada y se define según la patología con mayor presencia.					
			Figura 3. Grados de Severidad, “Fatigue Cracking”		

Representación Fotográfica	
 Figura 4. Caracterización de la patología “Fatigue cracking”.	 Figura 5. Baja severidad “Fatigue cracking”
 Figura 6. Severidad intermedia “Fatigue cracking”	 Figura 7. Severidad alta “Fatigue cracking”

1.2. BLOCK CRACKING (FISURA DE BLOQUE)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Ruptura de la superficie de rodamiento por fisuras con patrón definido. Formas rectangulares en bloque	Identificación con rectángulos entre 0.1 y 10(m².)	-Exceso de contracciones en la mezcla asfáltica. -Variación de la humedad en capas inferiores.	En toda la sección transversal.	Piel de cocodrilo, descascaramientos.	
Representación Gráfica					
 Figura 8. Dimensiones de la patología “Block Cracking”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla			• Origen térmico en capa superficial. • Tiempo de mezcla prolongado (Pérdida de Elasticidad) • Temperatura de mezclado superior a normativa. • Uso de cemento en bases o suelos tropicales.		
Grados de Severidad			Inspección visual para medir el grado de Severidad		
Bajo			Ancho de rupturas ≤ 6 mm o rupturas cerradas.		
Intermedio			Ancho de rupturas entre > 6 mm y ≤ 19 mm		
Alto			Ancho de ruptura ≤ 19 mm		
Forma de inspección y medición					
Se registra el área afectada en (m².), Cuando en un área se combinen varias severidades y no sea fácil diferenciar las áreas correspondientes a cada una, se reporta el área completa asignándole la mayor severidad que presente.			 Figura 9. Forma de medición, “Block Cracking”		

Representación Fotográfica	
 Figura 10. Caracterización de la patología “Block Cracking”	 Figura 11. Severidad Alta ”Block Cracking”

1.3. TRANSVERSE CRACKING (FISURA TRANSVERSAL)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la dirección perpendicular de la vía.	Identificación con fisuras discontinuas variando entre menos de 6 mm y mayores de 19 mm respectivamente.	Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler.	Normalmente en la trayectoria de las ruedas.	Piel de cocodrilo, desintegración, descascamientos, fisuras en bloque, asentamientos transversales (ingreso de agua)	
Representación Gráfica					
					
Figura 12. Dimensiones de la patología “ Transverse Cracking”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla		• Esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura • Límite máximo del material • Problemas de fatiga en toda la estructura o de alguna de sus partes. • Zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.			
Grados de Severidad		Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo		Abertura de la fisura menor que 6 mm, cerrada o con sello en buen estado.			
Intermedio		Abertura de la fisura entre 6 mm y 19 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar desportillamientos leves, existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.			
Alto		Abertura de la fisura mayor de 19 mm, puede presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.			
Forma de inspección y medición					
- Es posible determinar el área de afectación por este deterioro en metros cuadrados (m²) , multiplicando la longitud total de la fisura por un ancho de referencia establecido en 0.6 m. - se registra la longitud total de la fisura con el mayor grado de severidad encontrada. Fisuras diagonales son clasificadas como fisuras transversales Nota: No se registran fisuras con menos de 0.3 m de longitud.					
Figura 13. Patología, “Transverse Cracking”					

Representación Fotográfica	
 Figura 14. Severidad Baja - "Transverse Cracking"	 Figura 15. Severidad Intermedia - "Transverse Cracking"
 Figura 16. Severidad Alta - "Transverse Cracking"	

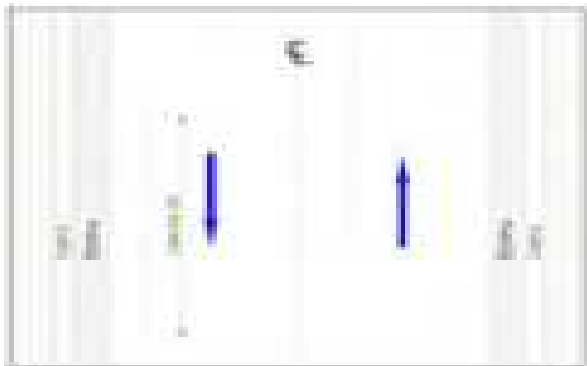
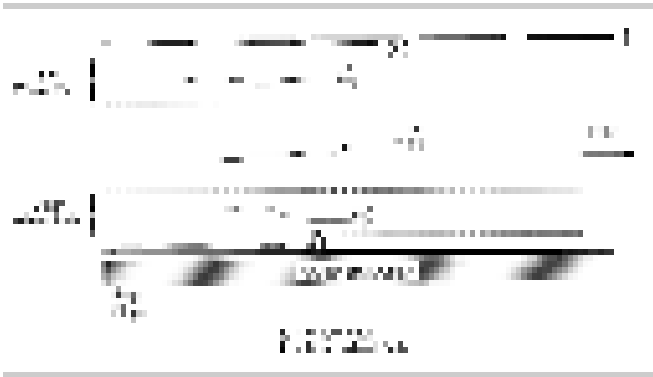
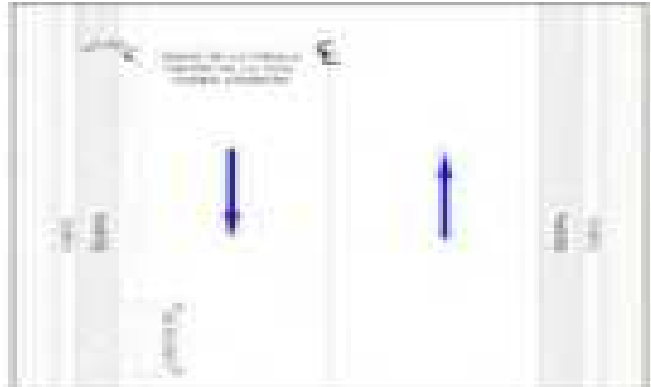
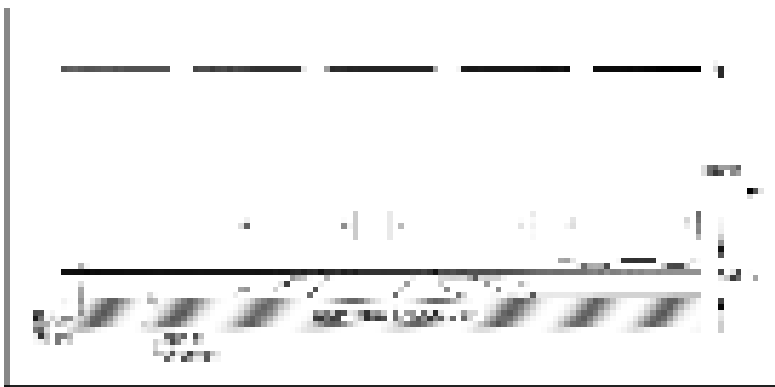
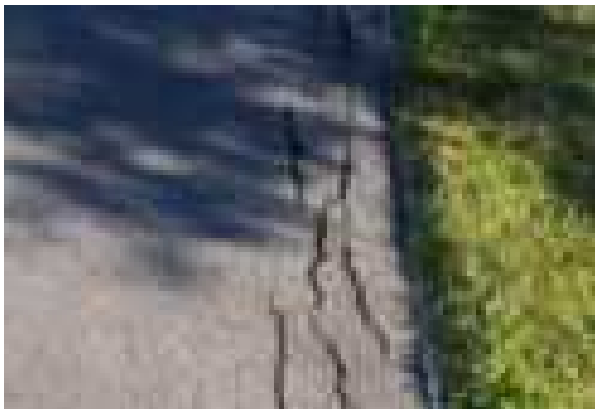
1.4. LONGITUDINAL CRACKING (FISURA LONGITUDINAL)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la dirección paralela al eje de la vía.	Identificación con fisuras discontinuas variando entre menos de 6 mm y mayores de 19 mm respectivamente.	Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler.	Normalmente en la trayectoria de las ruedas.	Piel de cocodrilo, desintegración, descascamientos, fisuras en bloque, asentamientos transversales (ingreso de agua)	
Representación Gráfica					
					
Figura 17. Esquematización de la patología “Longitude cracking”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla			• Espesores de carpeta muy bajos. • Alto contenido de arena en la mezcla asfáltica • Exceso de ligante o presencia de polvo durante la ejecución del riego de liga. • Carencia de penetración de la imprimación en bases granulares.		
Grados de Severidad			Inspección visual para medir el grado de Severidad		
Bajo			Abertura de la fisura menor que 6 mm.		
Intermedio			Abertura de la fisura entre 6 mm y 19 mm.		
Alto			Abertura de la fisura mayor de 19 mm.		
Forma de inspección y medición					
Cuando en una misma fisura existan diferentes severidades, se ser posible se reportará la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor grado de severidad. Cuando existan varias fisuras muy cercanas, se reportará el área total afectada en metros cuadrados (m².) , de ser posible por severidad, de lo contrario, asignando a toda el área la mayor severidad encontrada.					
Figura 18. Forma de medición, “Longitudinal Cracking”					



Figura 19. Severidad Intermedia “Longitudinal Cracking”

1.5. EDGE CRACKING (FISURA DE BORDE)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada.	Identificación con fisuras semicircular a longitudinal con ancho de hasta 0,6 m ²	Falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos.	Dentro de una franja paralela al borde de la calzada.	Desprendimiento del bloque o descascaramiento.	
Representación Gráfica					
 Figura 20. Dimensiones de la patología “ Edge Cracking”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla		• Tránsito circulando cerca de los bordes • Anchos de bermas insuficientes • Sobrecarpetas que llegan al borde del carril			
Grados de Severidad		Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo		Grietas sin ruptura o pérdida de material.			
Intermedio		Grietas con ruptura y pérdida de material, hasta en un 10% de la longitud de la porción de pavimento afectada.			
Alto		Grietas con ruptura considerable y pérdida de material de más de 10% de la longitud de la porción de pavimento afectada.			
Forma de inspección y medición					
Registrar la longitud en metros (m) del borde de pavimento afectado en cada nivel de severidad. La cantidad de fisuras en los bordes no puede exceder la longitud total de la sección afectada.					
Figura 21. Patología, “Edge Cracking”					

Representación Fotográfica	
A close-up photograph of a dark, textured surface, likely asphalt, showing a network of interconnected, irregular cracks. A light-colored, possibly concrete or metal, edge is visible at the bottom of the frame.	A close-up photograph of a dark, textured surface, similar to the one in Figure 22, but with fewer and less pronounced cracks. A light-colored edge is also visible at the bottom.
Figura 22. Severidad alta “Edge Cracking”	Figura 23. Severidad baja “Edge Cracking”

1.6. REFLECTION CRACKING AT JOINTS (FISURA POR REFLEXIÓN DE JUNTAS)

Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Existencia de una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido. Nota: Se debe conocer las dimensiones de la placa debajo del concreto asfáltico para identificar la reflexión de las fisuras en las juntas.	Se presenta como grietas en las placas de concreto rígido, apareciendo por la proyección en la superficie de las juntas de dichas placas.	Generado por los movimientos de las juntas entre las placas de concreto rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en este.	En las Juntas entre las placas de concreto rígido o de bloques.	Fisuras en bloque, descascarimientos, baches.	

Representación Gráfica

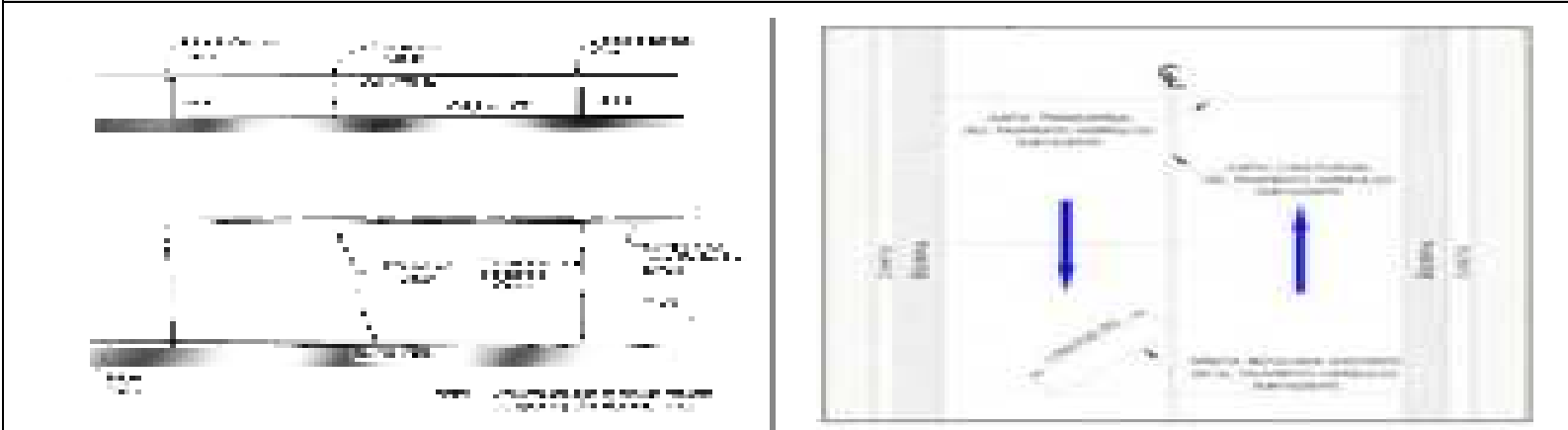


Figura 24. Patología “Reflection cracking at joints”

Forma de la Patología

Hipótesis de Falla	• Cambios de temperatura y humedad. • Generalmente no se atribuyen a las cargas del tránsito, aunque estas pueden provocar fisuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.
Grados de Severidad	Inspección visual para medir el grado de Severidad
Bajo	Abertura de la fisura menor que 6 mm.
Intermedio	Abertura de la fisura entre 6 mm y 19 mm.
Alto	Abertura de la fisura mayor de 19 mm.

Forma de inspección y medición

Cuando en una misma fisura existan diferentes severidades, se ser posible se reportará la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor grado de severidad.

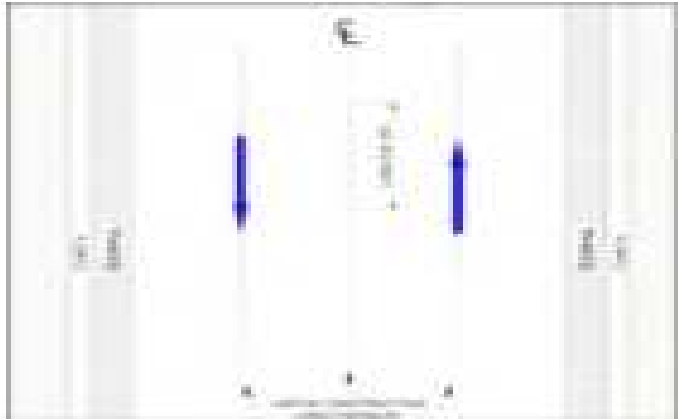
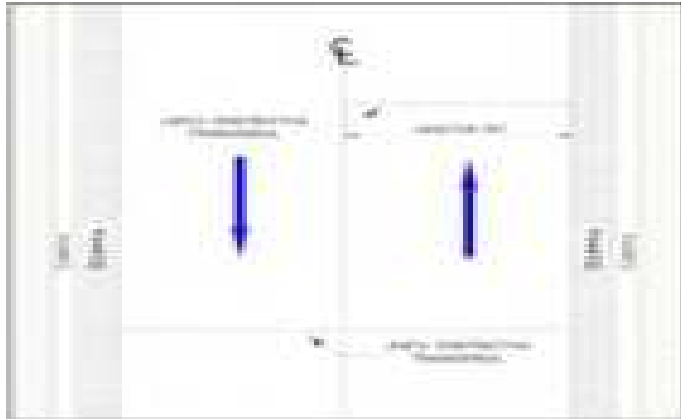
Cuando existan varias fisuras muy cercanas, se reportará el área total afectada en metros cuadrados (m².), de ser posible por severidad, de lo contrario, asignando a toda el área la mayor severidad encontrada.



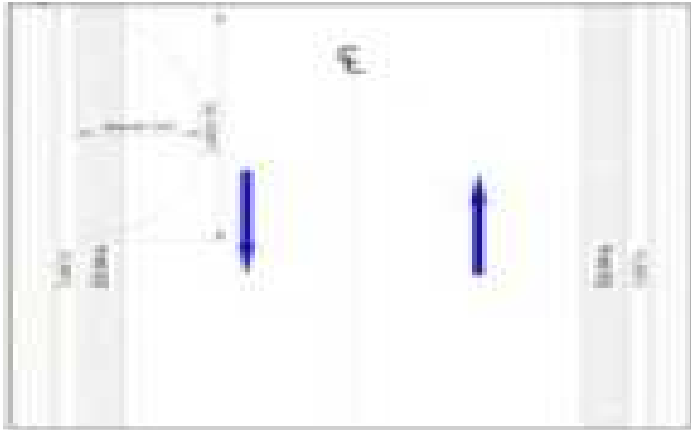
Figura 25. Caracterización de la Patología.



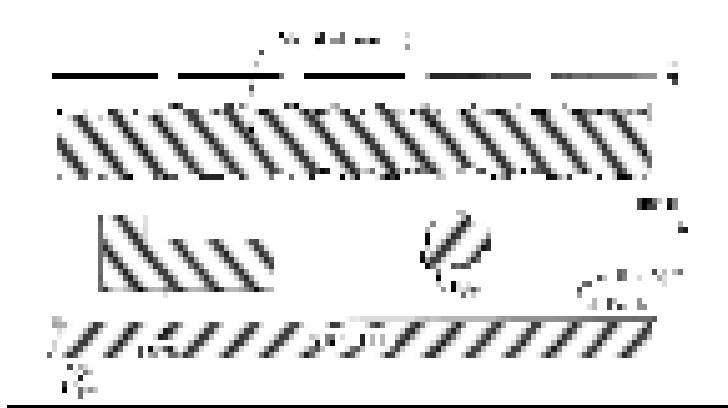
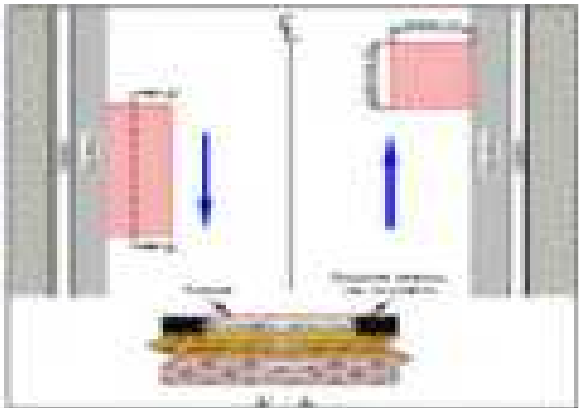
Figura 26. Severidad alta “Reflection cracking at joints”

1.7. FISURAS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación.	Identificación con fisuras discontinuas variando entre menos de 6 mm y mayores de 19 mm respectivamente.	Carencia de ligante en las paredes de la junta. Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad.	Se localizan generalmente en el eje de la vía.	Pérdida de agregado, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales, piel de cocodrilo, desportillamientos.	
Representación Gráfica					
					
Figura 27. Patología “Fisuras en juntas de construcción”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla		- Deficiencias de compactación en la zona de la junta. - Unión entre materiales de diferente rigidez.			
Grados de Severidad		Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo		Abertura de la fisura menor que 1 mm.			
Intermedio		Abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras, con aberturas menores a 1 mm.			
Alto		Abertura de la fisura mayor de 3 mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras, con aberturas mayores a 1 mm.			
Forma de inspección y medición					
Quando en una misma fisura existan diferentes severidades, se ser posible se reportará la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor grado de severidad. Quando existan varias fisuras muy cercanas, se reportará el área total afectada en metros cuadrados (m².) , de ser posible por severidad, de lo contrario, asignando a toda el área la mayor severidad encontrada.					
Figura 28. Caracterización de la Patología “Fisuras en juntas de construcción”					

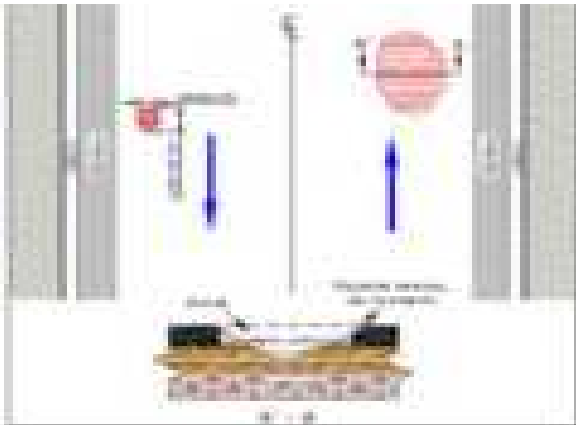
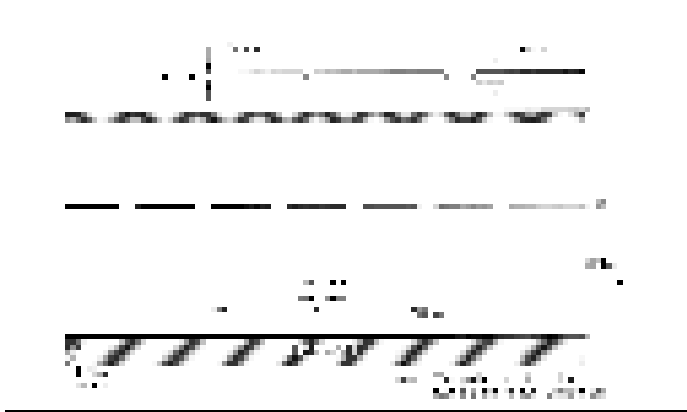
Representación Fotográfica	
 Figura 29. Fisura longitudinal en junta de construcción.	 Figura 30. Fisura transversal en junta de construcción.

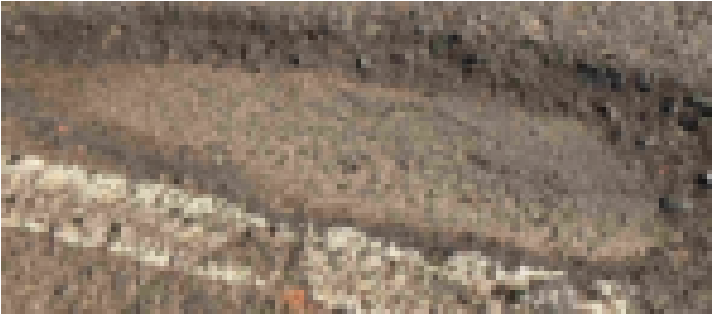
1.8. FISURAS EN MEDIALUNA (FML)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.	Identificación con fisuras discontinuas en forma de parábola variando entre menos de 6 mm y mayores de 19 mm respectivamente.	En general este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación.	Se localizan generalmente en el eje de la vía.	Ampliación del proceso (aumento del área afectada), aumento del hundimiento, pérdida de la banca.	
Representación Gráfica					
					
Figura 31. Patología “Fisuras en medialuna”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla		• Falla lateral del talud en zonas de terraplén. • Fallas del talud en zonas de corte a media ladera. • Ausencia o falla de obras de contención de la banca. • Desecación producida por la presencia de árboles muy cerca al borde de la vía • Consolidación de los rellenos que acompañan las obras de contención.			
Grados de Severidad		Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo		Abertura de la fisura menor que 1 mm.			
Intermedio		Abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras, con aberturas menores a 1 mm.			
Alto		Abertura de la fisura mayor de 3 mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras, con aberturas mayores a 1 mm.			
Forma de inspección y medición					
Cuando en una misma fisura existan diferentes severidades, se ser posible se reportará la longitud correspondiente a cada severidad, de lo contrario se reportará la longitud total de la fisura con el mayor grado de severidad.					
Cuando existan varias fisuras muy cercanas, se reportará el área total afectada en metros cuadrados (m².) , de ser posible por severidad, de lo contrario, asignando a toda el área la mayor severidad encontrada.					
Representación Fotográfica					
					
Figura 32. Caracterización de la patología “Fisura en medialuna”					

2. PATCHING AND POTHoles (PARCHES Y BACHES)

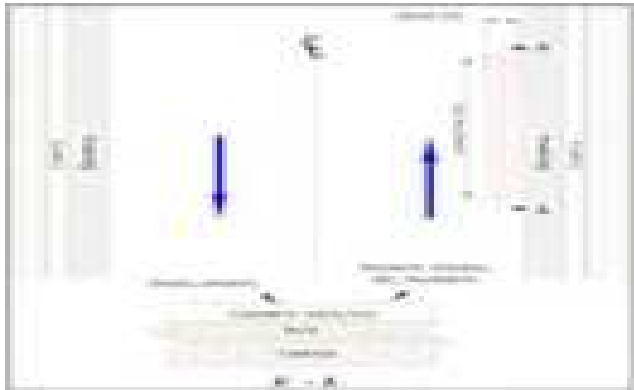
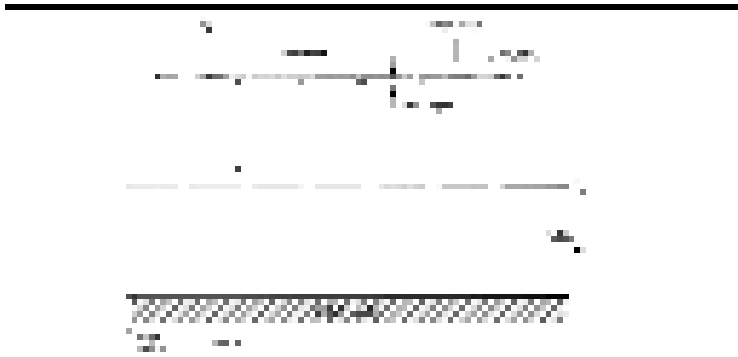
2.1. PATCH / PATCH DETERIORATION (PARCHES)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Parte de la superficie del pavimento mayor o igual a 0.1 m2 que se ha eliminado y material reemplazado o adicional aplicado al pavimento después de la construcción original.	Los parches pueden ser inspeccionados mediante la observación de áreas del pavimento original que fue removido y reemplazado por un material similar, ya sea para reparar la estructura.	Progresión del daño inicial por el cual debió realizarse el parcheo (cuando la intervención fue inadecuada para solucionar el problema.	Sobre la calzada.	De acuerdo con la naturaleza del daño. Sin embargo, puede existir una aceleración del deterioro general del pavimento.	
Representación Gráfica					
					
Figura 33. Patología “Patch”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla		- Deficiencias en las juntas. - Propagación de daños existentes. - Procesos Constructivos deficientes.			
Grados de Severidad		Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo		El parche está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.			
Intermedio		El parche presenta danos de severidad baja o media y deficiencias en los bordes.			
Alto		El parche está gravemente deteriorado, presentan danos de severidad alta y requiere ser reparado pronto.			
Forma de inspección y medición					
Se mide en metros cuadrados (m².). Para el reporte de daño es necesario anotar el área de todo el parche y cuando este sea muy grande y no presente afectación en toda su longitud. También debe anotarse en las aclaraciones el tipo de daños presentes en el parche y las zonas aledañas a él, si estas últimas están afectadas.					
Figura 34. Caracterización de la patología.					

Representación Fotográfica	
 Figura 35. Severidad Baja - “Patch”	 Figura 36. Severidad Intermedia - “Patch”
 Figura 37. Severidad Alta - “Patch”	

2.2. POTHOLES (BACHES)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuesto los materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debida a la acción del tráfico, también se encuentran los baches “ojos de pescado” son de geometría redonda y profundidad variable.	El pavimento comienza a mostrar síntomas menores de deterioro que requieren el inicio de labores de mantenimiento rutinario menor (sellado de grietas, reparación de huecos y bacheo menor).	Se asocian factores como Agrietamiento por cargas (fatiga), Agrietamiento por contracción (termo-fractura), Desintegración, Ocasionados por factores no intrínsecos de la estructura.	Capas estructurales del pavimento.	Destrucción de la estructura.	
Representación Gráfica					
 					
Figura 38. Dimensiones de la patología “Potholes”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla		- Retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de los esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. - Defectos constructivos (carencia de penetración en la imprimación en bases granulares) o de una deficiencia de capas estructurales. - Puede producirse también en zonas donde el pavimento o la subrasante son débiles.			
Grados de Severidad		Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo		Profundidad de afectación menor o igual que 25 mm, corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.			
Intermedio		Profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.			
Alto		Profundidad de afectación mayor que 50 mm, que llega a afectar la base granular.			
Forma de inspección y medición					
Se miden en metros cuadrados (m².), de área afectada, registrando la mayor severidad existente.					
Figura 39. Patología - “Potholes”					

Representación Fotográfica	
 Figura 40. Severidad Baja - "Potholes"	 Figura 41. Severidad Intermedia - "Potholes"
 Figura 42. Severidad Alta - "Potholes"	

3. SURFACE DEFORMATION (DEFORMACIÓN SUPERFICIAL)

3.1. RUTTING (AHUELLAMIENTO)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos.	Depresiones con profundidades variando de 1 mm a más de 25 mm.	Ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante.	Trayectoria de las llantas de los vehículos.	Piel de cocodrilo y desprendimientos	
Representación Gráfica					
					
Figura 43. Caracterización de la patología “Rutting”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla			- La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción. - La falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas.		
Grados de Severidad			Inspección visual para medir el grado de Severidad		
Bajo			Profundidad Menor de 10 mm.		
Intermedio			Profundidad entre 10 mm y 25 mm.		
Alto			Profundidad mayor que 25 mm.		
Forma de inspección y medición					
Se mide en metros cuadrados (m².) de área afectada, asignando la severidad del acuerdo con la mayor profundidad.					
Figura 44. Patología - “Rutting”					

Representación Fotográfica	
 Figura 45. Profundidad visible sobre la carpeta asfáltica.	 Figura 46. Agua posada a causa del ahuellamiento.

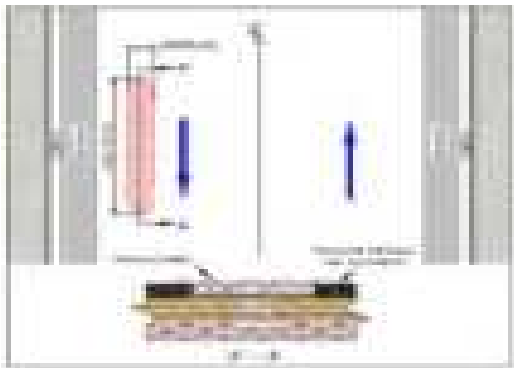
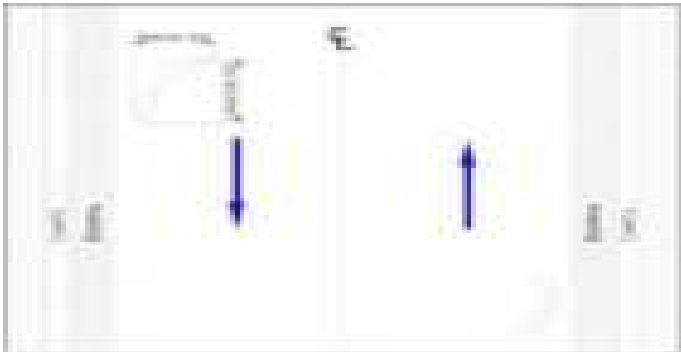
3.2. SHOVING (ONDULACIÓN)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura posible	Índice de deterioro
También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas menores a 1 metro.	Identificación con ondas en la superficie del pavimento, perpendiculares a la dirección del tránsito, siendo la longitud entre crestas menores a 1 metro.	La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de la mezcla en climas cálidos por la mala dosificación del asfalto, ligantes blandos o agregados redondeados.	Normalmente en zonas de frenado o aceleración de los vehículos.	Exudación, ahuellamiento.	
Representación Gráfica					
					
Figura 47. Patología “Shoving”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla			• Pérdida de estabilidad en la mezcla asfáltica. • Exceso de compactación en la capa asfáltica. • Exceso o mala calidad del asfalto. • Falta de curado en las mezclas de la vía.		
Grados de Severidad			Inspección visual para medir el grado de Severidad		
Bajo			Profundidad máxima menor de 10 mm, causa poca vibración del vehículo, la cual no genera incomodidad al conductor.		
Intermedio			Profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm, causa una mayor vibración al vehículo, generando incomodidad al conductor.		
Alto			Profundidad mayor a 20 mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, siendo necesario reducir la velocidad por seguridad.		
Forma de inspección y medición					
Se debe reportar el área de este tipo de deterioro en metros cuadrados (m²) , de área afectada con la mayor severidad posible.					
Figura 48. Forma de medición.					

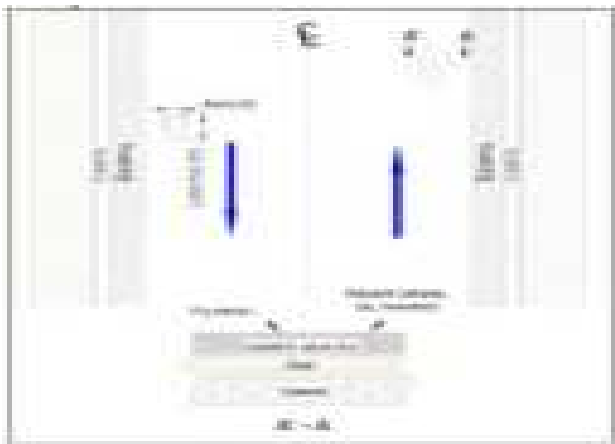
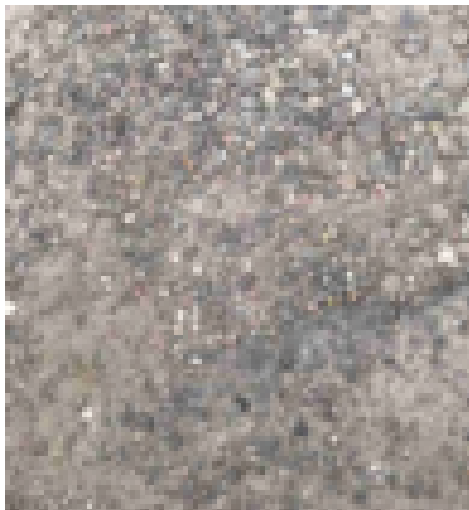


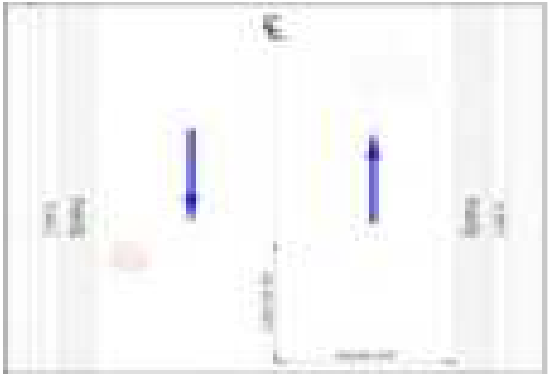
Figura 49. Caracterización de la patología “Shoving”

4. SURFACE DEFECTS (DAÑOS SUPERFICIALES)

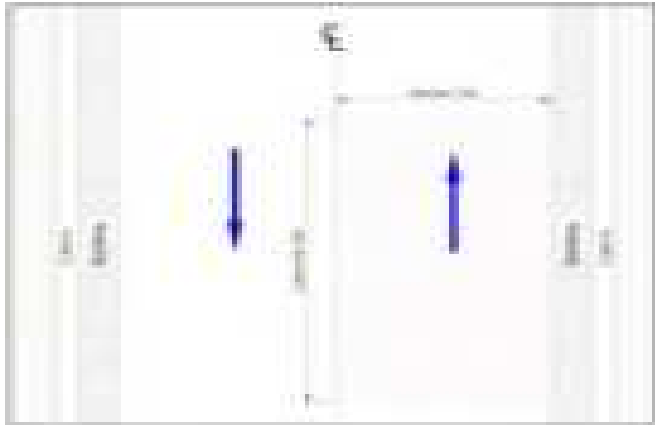
4.1. BLEEDING (EXUDACIÓN)				
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Índice de deterioro
Exceso de ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento, generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.	Se observa notablemente el exceso de ligante asfáltico con un brillo característico con el agregado oscurecido a causa del exceso y pegajosa al tacto.	La mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo.	Normalmente en las huellas del tránsito.	
Representación Gráfica				
				
Figura 50. Patología “Bleeding”				
Forma de la Patología				
Hipótesis de Falla	• Uso de asfaltos muy blandos. • Derrame de ciertos solventes.			
Grados de Severidad	Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo	La exudación se hace visible en la superficie, aunque en franjas aisladas y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos.			
Intermedio	Apariencia característica, con exceso de asfalto libre que conforma una película que cubre parcialmente los agregados, con frecuencia localizado en las huellas del tránsito, se torna pegajoso en climas cálidos.			
Alto	Presencia de una cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, lo que da un aspecto húmedo de intensa coloración negra y se torna pegajoso en los climas cálidos.			
Forma de inspección y medición				
Se debe reportar el área de este tipo de deterioro en metros cuadrados (m²) , con la mayor severidad posible.				
Figura 51. Caracterización de la patología “Bleeding”.				

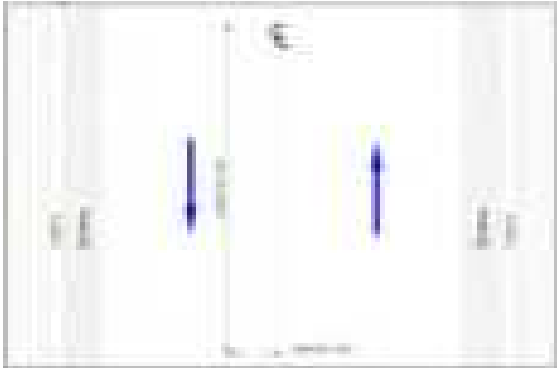
Representación Fotográfica	
 Figura 52. Descoloración discontinua en zonas de la carpeta asfáltica.	 Figura 53. Agregados oscuros.
 Figura 54. Pérdida de textura.	

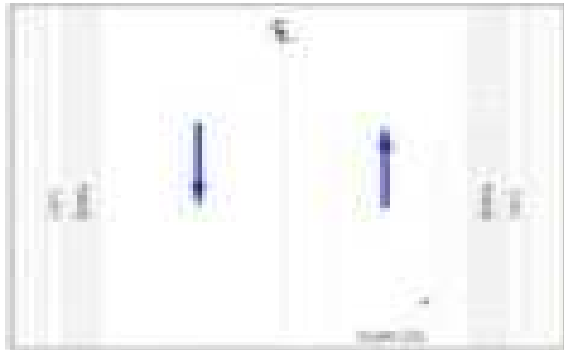
4.2. POLISHED AGGREGATE (PULIMENTO DEL AGREGADO)				
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Índice de deterioro
Este daño se evidencia por la presencia de agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.	Se observan agregados lisos y planos sobre la superficie del pavimento.	Baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento.	Superficie de la carpeta asfáltica.	
Representación Gráfica				
				
Figura 55. Patología “Polished Aggregate”				
Grados de Severidad		NO PRESENTA GRADOS DE SEVERIDAD ASOCIADOS.		
Forma de inspección y medición		Se mide en metros cuadrados (m²)		
Representación Gráfica				
				
Figura 56. Caracterización de la patología “Polished Aggregate”				

4.3. RAVELING (PÉRDIDA DEL AGREGADO)				
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Índice de deterioro
Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.	Separación de los agregados gruesos y finos de la capa de rodadura generando pequeños huecos.	Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales, problemas de adherencia entre agregado y asfalto, uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.	En la Capa de rodadura.	
Representación Gráfica				
 Figura 57. Patología “Raveling”				
Forma de la Patología				
Hipótesis de Falla	• Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico. • Endurecimiento significativo del asfalto. • Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica. • Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina u otros.			
Grados de Severidad	Inspección visual para medir el grado de Severidad			
Bajo	Los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.			
Intermedio	Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.			
Alto	Existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos.			
Forma de inspección y medición				
Se debe reportar el área de este tipo de deterioro en metros cuadrados (m²) , con la mayor severidad posible.		 Figura 58. Caracterización de la patología “Raveling”.		

Representación Fotográfica	
 Figura 59. Pérdida de agregado fino.	 Figura 60. Pérdida de agregados finos y gruesos.
 Figura 61. Pérdida de agregado grueso.	

4.4. CABEZAS DURAS				
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Índice de deterioro
Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo para el conductor.	Agregados gruesos presentes en la superficie del pavimento de diferentes granulometrías.	Uso de agregados gruesos con tamaños inadecuados, distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas, Segregación de los agregados durante su manejo en obra o heterogeneidad en la dureza de los agregados.	Superficie del pavimento.	
Representación Gráfica				
				
Figura 62. Patología “Cabezas duras”				
Grados de Severidad		NO PRESENTA GRADOS DE SEVERIDAD ASOCIADOS.		
Forma de inspección y medición		Se mide en metros cuadrados (m²)		
Representación Gráfica				
				
Figura 63. Caracterización de la patología “Cabezas duras”				

4.5. DESGASTE SUPERFICIAL (DS)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura Posible	Índice de deterioro
Corresponden al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida de ligante y mortero.	Se observa partículas sueltas sobre la calzada de granulometría gruesa.	Generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades intermedias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.	Zona donde transitan los vehículos.	Pérdida del agregado.	
Representación Gráfica					
					
Figura 64. Patología “Desgaste Superficial”					
Forma de la Patología					
Hipótesis de Falla	- Falta de adherencia del asfalto con los agregados. - Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla. - Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.				
Grados de Severidad	Inspección visual para medir el grado de Severidad				
Bajo	Cuando la superficie ha perdido su textura uniforme y se muestra ligeramente áspera o rugosa, con irregularidades de hasta 3 mm aproximadamente.				
Intermedio	Cuando la profundidad de las irregularidades es mayor a 3 mm y llega a 10 mm. Se observan las partículas del agregado grueso, y se siente la vibración y una diferencia de sonido de las llantas al transitar sobre el pavimento.				
Alto	Si en la superficie ha comenzado a producirse la desintegración superficial de la capa de rodadura y se presenta desprendimientos evidentes y las partículas sueltas sobre la calzada.				
Forma de inspección y medición					
Se debe reportar el área de este tipo de deterioro en metros cuadrados (m²) , con la mayor severidad posible.					
Representación Fotográfica					
					
Figura 65. Caracterización de la patología “Desgaste Superficial”					

4.6. SURCOS (SU)					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología Futura Posible	Índice de deterioro
Corresponde a franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica.	Desprendimientos longitudinales de agregados sobre la calzada.	En tratamientos superficiales se da por la distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, lo cual genera el desprendimiento de los agregados; en concreto asfáltico está relacionado con la erosión producida por agua en zonas de alta pendiente.	Sobre la calzada.	Pérdida de agregado, descascaramiento, baches.	
Representación Gráfica					
					
Figura 66. Patología “Surcos”					
Forma de la Patología					
Grados de Severidad		NO PRESENTA GRADOS DE SEVERIDAD ASOCIADOS.			
Forma de inspección y medición					
Se debe reportar el área de este tipo de deterioro en metros cuadrados (m²)					
Representación Fotográfica					
					
Figura 67. Caracterización de la patología “Surcos”					

5. MISCELLANEOUS DISTRESSES (OTROS DAÑOS)

5.1. LANE-TO-SHOULDER DROPOFF (SEPARACIÓN DE LA BERMA)

Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología futura posible	Índice de deterioro
Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y la berma, este daño permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.	Aberturas de la junta que van desde 3 mm, hasta más de 10 mm.	Generalmente está relacionada con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños o con la ausencia de la liga entre calzada y berma cuando se construyen por separado.	Junta entre la calzada y la berma.	Puede presentar hundimientos y fisuras de borde.	

Representación Gráfica

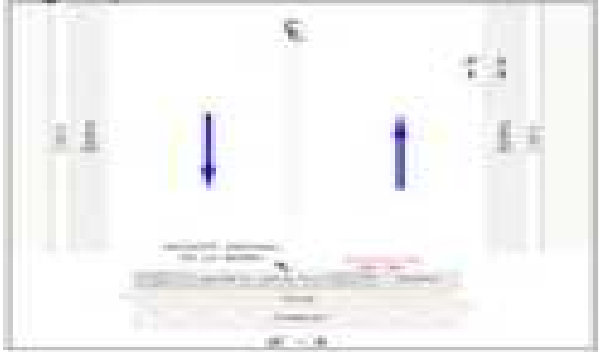


Figura 68. Patología “Lane-To-Shoulder Dropoff”

Forma de la Patología

Grados de Severidad	Inspección visual para medir el grado de Severidad
Bajo	Abertura menor que 3 mm.
Intermedio	Abertura entre 3 mm y 10 mm.
Alto	Abertura mayor a 10 mm.

Forma de inspección y medición

Este daño se cuantifica en longitud afectada (m)

Representación Fotográfica



Figura 69. Diferencia de elevación entre la calzada y la berma.



Figura 70. Caracterización “Lane-to-Shoulder Dropoff”

5.2. WATER BLEEDING AND PUMPING (AFLORAMIENTO DE FINOS)

Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología futura posible	Índice de deterioro
Corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas del tránsito.	Presencia de machas o material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas	Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura.	Principalmente en pavimentos semirígidos (con base estabilizada)	Piel de cocodrilo, descascamientos, baches.	

Representación Gráfica

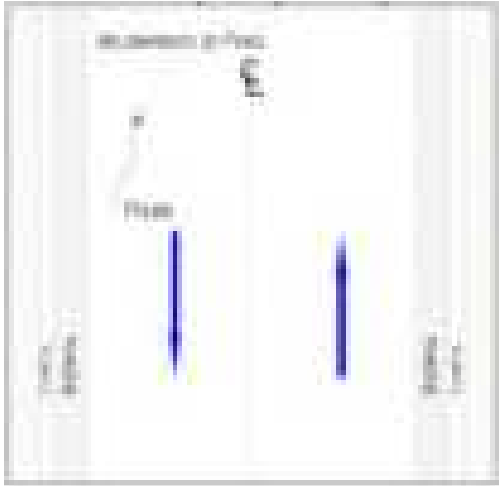


Figura 71. Patología “Water Bleeding and pumping”

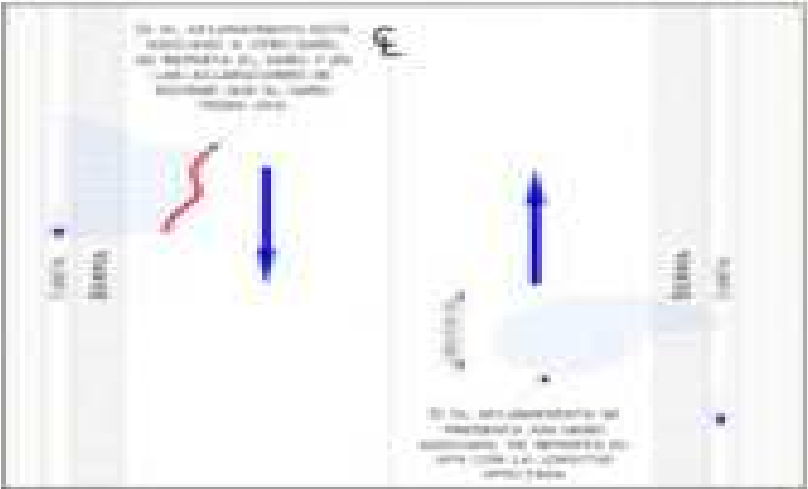
Forma de inspección y medición

Dado que el afloramiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo, fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de finos.

Representación Fotográfica



Figura 72. Afloramiento de finos.

5.3. AFLORAMIENTO DE AGUA					
Descripción	Forma visual de Inspección	Posibles Causas	Ocurrencia	Patología futura posible	Índice de deterioro
Presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes los cuales no hay lluvia.	Agua sobre la superficie.	Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, filtración de aguas.	Superficie del pavimento.	Piel de cocodrilo, descascaramientos, baches.	
Representación Gráfica					
					
Figura 73. Patología “Water Bleeding and pumping”					
Forma de inspección y medición					
Este daño se cuantifica en longitud afectada (m), cuando no tiene ningún otro daño asociado, sin embargo, cuando el afloramiento se presenta donde existe un daño (por ejemplo, una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de agua.					
Representación Fotográfica					
					
Figura 74. Afloramiento de agua sobre la calzada.			Figura 75. Posible infiltración de agua.		

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION.
Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program.
Publication No. FHWA – RD – 03 – 031. June 2003.

MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – UNIVERSIDAD
NACIONAL DE COLOMBIA. **Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles.**
Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Octubre 2006.

MACHADO, D.M.C.(2013). **Avaliação de Normas de Identificação de defeitos para fins
de Gerencia de Pavimentos flexíveis.** 126 P. Dissertação (Mestrado)- Escola de
Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DNIT (2003). **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia NORMA
DNIT 005/2003 – TER.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de
Janeiro, RJ.

