

**PROPUESTA PARA ACTUALIZACIÓN DEL MANUAL DE
INSPECCIÓN VISUAL DE VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
2006 DE INVIAS**

JORGE ANDRÉS RUIZ ORDOÑEZ

MIGUEL ÁNGEL MENDOZA GALÁN



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA**

ESCUELA DE INGENIERÍAS

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2021

**PROPUESTA PARA ACTUALIZACIÓN DEL MANUAL DE
INSPECCIÓN VISUAL DE VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 2006
DE INVIAS**

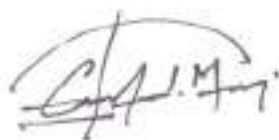
JORGE ANDRÉS RUIZ ORDOÑEZ

MIGUEL ÁNGEL MENDOZA GALÁN

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

MSc. CRISTIAN ANDRÉS MEJÍA PARADA



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA**

ESCUELA DE INGENIERÍAS

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2021

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. MARCO TEÓRICO.....	13
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
4.1. Revisión bibliográfica.....	20
4.2. Identificación de procedimientos novedosos	21
4.3. Comparación de las metodologías	22
4.4. Análisis de los procedimientos de inspección.....	22
5. DESARROLLO METODOLÓGICO	23
5.1. Objetivo específico primero: Revisión bibliográfica.....	23
5.2. Objetivo específico segundo: Identificación de nuevos procedimientos	23
5.2.1. Propuesta de daños a incorporar y definiciones a modificarse.	24
5.2.2. Nuevos procedimientos de inspección.....	34
5.2.3. Nuevo formato para registro de daños.....	40
5.2.4. Procedimientos de reparación de daños a incorporar.....	42
5.3. Objetivo específico tercero: Comparación de metodologías	49
6. ESTRUCTURACIÓN DE LA PROPUESTA DEL MANUAL.....	56

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	60
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fallas comunes en pavimento flexible.....	13
Figura 2. Formato ejemplo contenido en el manual mexicano	15
Figura 3. Formato para la evaluación de pavimento flexible del manual colombiano	15
Figura 4. Ejemplo de presentación de la evaluación, contenido en el manual colombiano.....	16
Figura 5. Pérdida de áridos y exudación en el pavimento	18
Figura 6. Formato de deterioro en unidad de muestreo usado en el manual chileno	18
Figura 7. Grietas por fatiga y niveles de gravedad de la fisura.....	24
Figura 8. Desintegración del borde con nivel de gravedad alto	25
Figura 9. Línea de caída del arcén.....	26
Figura 10. Presencia de agregados en un tramo de vía.....	26
Figura 11. Fisuras estructurales.....	27
Figura 12. Fisura térmica.....	28
Figura 13. Tipos de parches.....	29
Figura 14. Deterioro de parches.....	29
Figura 15. Shoving	30
Figura 16. Pérdida de agregados por desgaste.....	31
Figura 17. Descascaramiento.....	32
Figura 18. Reflexión fisuras en las articulaciones.....	32

Figura 19. Falla longitudinal y transversal.	33
Figura 20. Pavimento con agregado grueso expuesto	34
Figura 28. EVASIVA.....	36
Figura 29. Ciclo de trabajo del vehículo EVASIVA	37
Figura 30. Modelo de detección de baches en pavimento	38
Figura 31. UAV.....	39
Figura 32. Escáner laser.	40
Figura 21. Primera parte del formato propuesto para la recolección de datos en campo al momento de realizar la inspección del pavimento	41
Figura 22. Configuración del sellado	43
Figura 23. Aplicación de bacheo	45
Figura 24. Aplicación de pavimento reforzado	46
Figura 25. Aplicación de lechada asfáltica	47
Figura 26. Aplicación de microcarpeta	48
Figura 27. Sellador de grieta con emulsión asfáltica.	49
Figura 33. Tabla indicativa del valor de PCI, nivel de servicio e intervención propuesta	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Documentos de inspección de pavimentos.	50
Tabla 2. Comparativo del nivel de gravedad de las fisuras por reflexión.....	52
Tabla 3. Comparativo del nivel de gravedad de las fisuras transversales según otros manuales.....	53
Tabla 4. Comparativo del nivel de gravedad de las fisuras longitudinales según diferentes manuales	54
Tabla 5. Adición de daños.....	56
Tabla 6. Modificación de definiciones.....	57
Tabla 7. Parte A de matriz de validación	61
Tabla 8. Segunda parte B de matriz de validación	62

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: PROPUESTA PARA ACTUALIZACIÓN DEL MANUAL DE INSPECCIÓN VISUAL DE VÍAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES 2006 DE INVIAS

AUTOR(ES): Jorge Andrés Ruiz Ordoñez; Miguel Ángel Mendoza Galán

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Cristian Andrés Mejía Parada

RESUMEN

En la siguiente investigación se realizó una propuesta de actualización para el Manual de Inspección Visual de Pavimento Flexible del 2006 del INVIAS, con base en la revisión bibliográfica de fuentes nacionales e internacionales, mediante la comparación de diversos aspectos como definiciones, en formatos de campo, capítulos de manuales de inspección y nuevas propuestas intervención para solucionar los daños que se puedan encontrar en un tramo estudiado. De forma descriptiva se indaga sobre los procedimientos innovadores, métodos y herramientas que se implementan en otros países y que son incluidos en sus respectivos manuales, y son comparados con lo establecido en el manual vigente del país, para así determinar su aplicabilidad en el contexto nacional. Se encontró que el manual vigente no incluía ciertos daños que otras normas más recientes sí tenían en cuenta, esto de validado mediante una matriz, se define la estructuración que se le debe dar al nuevo manual actualizado del INVIAS, para que incluya más fallas que pueden presentarse en un pavimento. Además, en el marco de la propuesta se incluyen procedimientos de intervención a aplicarse para reparar daños y se presentan nuevos procedimientos para la inspección visual de carreteras que utilizan tecnología moderna. Por último, debido a que el manual ya tiene más de 10 años en vigencia, se considera desactualizado y se hace necesario revisar que hacen los otros países para así estar a la vanguardia en la implementación de nuevas y mejores metodologías para la inspección continua del buen estado de las vías del país.

PALABRAS CLAVE:

Actualización del manual, Deterioro vial, Inspección Visual, Pavimento flexible

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: PROPOSAL TO UPDATE INVIAS' 2006 VISUAL INSPECTION MANUAL FOR FLEXIBLE PAVEMENT TRACKS

AUTHOR(S): Jorge Andrés Ruiz Ordoñez; Miguel Ángel Mendoza Galán

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Cristian Andrés Mejía Parada

ABSTRACT

The following research made an update proposal for INVIAS 2006 Flexible Pavement Visual Inspection Manual, based on the bibliographic review of national and international sources, comparing various aspects such as definitions, in field formats, chapters of inspection manuals and new intervention proposals to address damage that can be found in a studied section. In a descriptive way, it is based on the innovative procedures, methods and tools that are implemented in other countries and that are included in their respective manuals and are compared to that set out in the current manual of the country, to determine their application in the national context. It was found that the input manual did not include certain damages than other more recent standards if they were considered, this validation and an array, the structuring that is due to the new updated INVIAS manual is defined, to include more faults that may occur on a pavement. In addition, the proposal includes intervention procedures to be applied to repair damage and present new procedures for visual inspection of roads using modern technology. Finally, because the manual is already more than 10 years on watch, it is considered outdated and necessary review is made that make other countries at the forefront of implementing new and better methodologies for inspection to continue the good condition of the country's roads.

KEYWORDS:

Manual Update, Road Deterioration, Visual Inspection, Flexible Pavement

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor del país, la gran mayoría de vías primarias y secundarias son de pavimento flexible, debido a que estas carreteras son de gran importancia para la comunicación entre municipios y departamentos, se hace importante que se realice periódicamente inspecciones para conocer el estado de deterioro y tomar las iniciativas respectivas.

La ley 80 del año 1993, dictamina que las todas las Entidades Estatales son responsables de la revisión periódica de las obras y proyectos contratados, para verificar sus condiciones se calidad que ofrecen los contratistas, por lo que el Instituto Nacional de Vías establece sus manuales de inspección de obras, como el creado mediante el convenio 587 realizado entre la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), se escribió el primer Manual para la Inspección Visual de Pavimientos Flexibles el cual fue publicado en octubre de 2006 y que sigue vigente hasta la fecha, este manual tuvo unas adiciones mínimas realizadas en el 2013 pero continuó con el mismo nombre debido a que solo fueron algunas modificaciones en cuanto a forma y no una actualización como tal, así lo afirmó el Director general del INVIAS Juan Esteban Gil Chavarría, pero el instituto se ha concentrado más en mantener renovadas otras de sus normativas y se hace necesario que se disponga de un manual de inspección más reciente que permita evaluar de forma más precisa el estado de una carretera.

Por otro lado, pocos países cuentan con un manual exclusivo para la evaluación de inspección vial, la gran mayoría consideran esto en una sección o capítulo en su respectivo manual principal de carreteras, y a su vez, estos se actualizan periódicamente para mantener sus procedimientos vigentes y mejorar la calidad de sus estudios y de las obras.

Por lo anterior, este documento propone una actualización para el Manual de Inspección Visual de Pavimento Flexible del 2006 de INVIAS, mediante la retroalimentación de manuales de otros países más recientes, investigaciones científica relacionadas con procedimiento innovadores y adelantos tecnológicos, de

manera que se estructuren todas las mejoras y modificaciones pertinente en el marco de esta investigación.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer una actualización al manual para inspección visual de vías de pavimento flexible del 2006 del INVIAS mediante la revisión bibliográfica de normas en otros países de Latinoamérica, la ASTM y publicaciones científicas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica a partir de fuentes de información nacional e internacional reciente que permitan la obtención de un panorama actual acerca de la inspección visual de pavimentos flexibles.
- Identificar cuales procedimientos a la vanguardia están siendo implementados en otros países para la inspección de pavimentos flexibles.
- Comparar las nuevas metodologías utilizadas actualmente y el manual de inspección visual de pavimentos flexibles de INVIAS 2006 vigente, para la identificación de falencias y obsolescencias del documento.
- Analizar los procedimientos de inspección visual de pavimentos flexibles encontrados en la literatura nacional e internacional aplicables al contexto de Colombia para la propuesta de actualización del manual vigente.

3. MARCO TEÓRICO

Los manuales de procedimiento son una herramienta importante para realizar actividades específicas que están debidamente reglamentadas, y en este documento se señalan aspectos particulares, procesos y pasos a seguir para realizar las actividades de manera eficiente y eficaz (Vivanco, 2017).

En Colombia, debido a la exigencia de la Ley 80 de 1993, INVIAS expide el manual de inspección visual de vías de pavimento flexible en el 2006, el cual es un documento guía que está dirigido para aquellos profesionales de la ingeniería que realicen funciones de revisión del estado de las obras de infraestructura vial, ejecutados mediante contratos de obra celebrados por el INVIAS. Este documento tuvo unas adiciones en el año 2013, pero no fue considerada una actualización y aún sigue en vigencia. Además, el manual incluye herramientas prácticas que pueden ser utilizadas para obtener informes detallados de daños encontrados en la inspección visual, para lograr identificar el tipo, severidad y magnitud de estos, también su localización en sectores de vías más afectados (INVIAS & Universidad Nacional de Colombia, 2006).

En el capítulo uno del manual, se especifican los daños más comunes encontrados en pavimentos flexibles (véase Figura 1), como son las fisuras, deformaciones, pérdida superficial de la capa asfáltica y otros daños causados por fuente externas al pavimento. En este espacio, se describen las definiciones de las diferentes formas de deterioro de la vía, así como procedimiento para la identificación y medición de estos (INVIAS; 2006).



Figura 1. Fallas comunes en pavimento flexible. Tomado de (*Tipos de Fallas en Pavimento Flexible*, 2014).

Algunos daños en el pavimento se inspeccionan de forma visual, otros con ensayos de laboratorio y en campo, para evaluar su severidad. Según sus características como el tamaño y la forma, es posible definir las causas que ocasionaron la falla y prever la evolución de esta o proponer una posible solución del problema (INVIAS, 2006).

Las fisuras son roturas superficiales del material asfálticos y se generan por tensiones en la parte superior de la capa, por retracciones térmicas, hidráulicas o entumecimientos en la parte libre y son ocasionada por presencia de capa asfáltica demasiado rígida, fatiga de la estructura y se cataloga su severidad según la medida de su ancho (360enConcreto, 2020). Las deformaciones pueden ser longitudinales y transversales, son de tipo plásticas que ocurren en el pavimento causadas por la circulación de vehículos y con el tiempo generan una huella causada por los neumáticos, también por pérdida en la estabilidad del pavimento o mala calidad de este (Padilla, 2000). A lo largo de la vía por la circulación de vehículos, clima, lluvias y otros factores ambientales, pueden causarse en el pavimento otros daños que se pueden identificar durante la inspección y funcionan para caracterizar la calidad y durabilidad de la capa asfáltica. También debido al tránsito que circula, pueden originarse fallas de pérdida de capas estructurales en la parte superior, que es el deterioro de la capa asfáltica en la superficie, causada por falencias durante el proceso constructivo, riego de liga deficientes, asfalto de alta permeabilidad, poco espesor, y su medición de severidad de cataloga según su tamaño y área de extensión (INVIAS, 2006).

El segundo capítulo del manual se profundiza en la forma correcta de hacer el registro de los daños localizados e identificados en la inspección, teniendo en cuenta información general de la ubicación de la vía, el deterioro, geometría de la vía, tipos de vehículos circundantes, entre otros. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2004) utiliza un formato para la recolección de características generales del tramo a analizar (vease Figura 2).

Por último, el tercer capítulo especifica los procedimientos para el reporte y análisis de lo recopilado durante la inspección, para la realización del respectivo informe. El reporte se hace mediante el conteo de daños en tramos de cada 100 metros, donde se especifica el deterioro y se clasifican los tipos de daños según la parte del carril que se analice (berma, obras de arte, entre otros), todo esto realizado en una hoja de cálculo con la información pertinente (véase Figura 4) (INVIAS, 2006).



ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 8987 DE 2003

FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2



TERMINAL: XXXXX

CÓDIGO DE LA VÍA: XXXXX

NOMBRE DE LA VÍA: XXXXX

FECHA: 20-00-00

CONTRATO No.: 000 de XXXX

LEVANTADO POR: XXXXX

CONCESIÓN:

MTTO INTEGRAL:

A.B.V.:

PERICIAL: PMS-100

PER FINAL: PMS-100

HOJA: 5 DE 5

PATOLOGIA								Pais	Anotaciones
Carril	Tipo	Sever	Daño		Reparación		Frec		
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)			
0	PC	M	2	1				15	Con fisuras longitudinales medianas, se recomienda el sello de 1 cm
0	PC	A	2.8	1.5				0	
	PC	B	10	0					
	FL	A	2.0						Con hundimiento
0	PC	A	3.1	0.5					Con bombas de tierra
0	PC	A	2.8	0.5				42	Con bombas de tierra y deformación lateral
0	PC	B	0.7	0.5					Con ablandamiento
1	CD		100	0					
0	PCB	M	7	1.5					
0	ASU	B	20	1					

Figura 4. Ejemplo de presentación de la evaluación, contenido en el manual colombiano. Tomado de (INVIAS, 2006)

Con la finalidad de que la consolidación de resultados sea consignada de forma correcta, INVIAS genera conjunto con al manual un instructivo para el respectivo diligenciamiento de los formatos para la evaluación de pavimento flexible. Esta instructivo es la guía básica para recopilar la información del estudio técnico de los corredores de la red vial nacional, donde se incluyen anotaciones aclaratorias sobre

los ítems requeridos y está dirigido a Contratistas e Interventores del INVIAS, de la Agencia Nacional de Infraestructura, o de cualquier otra dependencia pública o privada que use recursos para hacer estudios de inspección de vías de pavimento flexible (INVIAS, 2016).

La inspección de vías es un conjunto de procedimientos que se aplican durante la fase de mantenimiento vial, diversas entidades hacen este tipo de estudios, como en Salcedo y otros (2016) inspeccionaron un tramo vial en la ciudad de Pereira y determinar las fallas presentes, formulan posibles causas y proponen posibles actividades para la recuperación del pavimento, como el reparcho, relleno con lechada, asfalto reforzado, entre otros. Otras investigaciones, como en Ruge & Vargas (2019), se comparan la inspección visual tradicional dispuesta por el manual de INVIAS 2006 con métodos que utilizan sensores remotos, implementados en un tramo de un kilómetro, donde se determina que la inspección utilizando sensores es más rápida y precisa gracias a la alta calidad de imagen ofrecida por la cámara del dron utilizado, por otro lado, los métodos tradicionales tomaron más tiempo implementarse, además que requirió de una exhaustiva revisión del manual de inspección vial del INVIAS antes de llevar a cabo el procedimiento.

Por otro lado, para apoyar la investigación se consulta el paquete de normas dispuesto ASTM, la norma técnica Mexicana, manual técnico de carreteras de Chile, entre otros documentos más que estén disponibles en bases de datos para así hacer una exhaustiva recopilación de información y compararlos para estructurar la propuesta de renovación del manual actual de inspección visual de pavimento flexible en Colombia.

Algunos manuales se enfocan más en los procedimientos prácticos, como el instructivo de inspección visual de caminos pavimentados de Chile, aplicable para ambos tipos de pavimento y se utilizan procedimientos similares para la medición de fallas y cálculos de porcentaje de vía con daños. Presenta a detalle el análisis para la pérdida de áridos en el pavimento, así como también la exudación del mismo como se puede ver en la Figura 5 (Dirección de Vialidad, 2016).



Figura 5. Perdida de áridos y exudación en el pavimento. Tomado de (Dirección de Vialidad, 2016)

Asimismo, los respectivos manual de cada país utilizan sus propios formatos de inspección visual, en el cual se recopila información y a partir del cual se genera el informe de reporte de daños; y cada formato difieren en diversos requerimientos en comparación con los usados por el país, como se puede ver en la Figura 6.

Deterioros en Unidad de Muestreo													
Grietas Estructurales				Grietas Térmicas		Pierda de Áridos	Exudación	Abundamiento (máximo)	Características de la Berma				
LINEALES		COCODRILLO		angostas <=3 mm	anchas > 3 mm				Tipo	Ancho	Baches Abiertos	Erosión de Borde	Desc. > 3 cm
angostas <=3 mm	anchas > 3 mm	angostas <=3 mm	anchas > 3 mm	angostas <=3 mm	anchas > 3 mm	%	%	mm	m	m ²	m ²		
m	m	m ²	m ²	N°	N°								

Figura 6. Formato de deterioro en unidad de muestreo usado en el manual chileno. Tomado de (Dirección de Vialidad, 2016)

Por otro lado, la norma americana ASTM en sus documentos tiene diferentes procedimientos a seguir para la inspección de vías de pavimento flexible y considera como factor importante los datos históricos y el tiempo de servicio del tramo en análisis para realizar un mejor estudio detallado (Kitaha & Biligiri, 2017). Para determinar los daños de una vía, este paquete de normas (actualizados en 2020) se fundamentan en aplicar procedimientos visuales para determinar el PCI y calificar así el estado de la superficie del pavimento, que se basa en el deterioro observado, la integridad estructural y la condición de operación superficial (ASTM D6433-20, 2020).

Adicionalmente, en los últimos años se ha reconocido al dron como una herramienta importante para la ingeniería, por esto ASTM International publicará la nueva norma que contempla los requisitos mínimos para el uso de drones. Estos documentos fueron desarrollados por el comité de sistemas de aeronavez no tripuladas (UAS) de ASTM International, con contribuciones del comité de aplicaciones de seguridad nacional (E54) y un grupo de trabajo de seguridad pública. Estas nuevas alternativas cubren conocimientos, manejo y habilidades generales de campo que deben poseer los pilotos de drones para su correcto funcionamiento e implementación (ASTM International, 2020).

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se planteó una metodología secuencial, con la que se describe la temática desde lo general hacia lo particular, analizando cada capítulo del manual vigente de INVIAS a partir de principios generales y la comparación. Para la conformación de la propuesta de renovación se debe verificar que lo expuesto sea verídico y verificable, por lo que se utilizan investigaciones, estudios y manuales de fuentes indexadas y páginas de publicaciones oficiales.

Para dar cumplimiento con los objetivos planteados, se propusieron actividades diseñadas a partir de la revisión bibliográfica, como revisar a detalle cambios significativos que se encuentren en otras normas con respecto al manual nacional vigente, así como también se incluyen investigaciones publicadas acerca de los daños viales y otros estudios modernos que fueron incluidos para la conformación de la propuesta de renovación.

4.1. Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica es una de las partes más importantes para dar cumplimiento a los objetivos de este estudio, ya que la obtención de información verídica y proveniente de fuentes certificadas permite obtener un panorama real de lo que está sucediendo con la inspección de pavimentos a nivel nacional e internacional. En este apartado, se revisaron bases de datos reconocidas como lo fueron el caso de: SciELO, Science Direct, EBSCO Host, ASCE, ELS, Google Scholar, paginas oficiales de ASTM, entre otros.

Una vez revisado el material disponible, se realiza una clasificación de la información encontrada, esto con el objetivo de catalogar la información y aplicarla en el desarrollo de la propuesta según sea pertinente y enriquecer la investigación. Luego, se revisa cada una de las metodologías y procedimientos utilizados en diferentes países para identificar cuáles de estos se podrían aplicar al contexto colombiano (siempre y cuando sean diferentes e innovadoras) debido a que las características geográficas y geológicas son particulares de cada lugar. En base a lo anterior, se escogieron una

serie de manuales de inspección de vías e investigaciones que son aplicables al contexto colombiano.

Además, se analizaron varios documentos que permitieron conocer e identificar adelantos tecnológicos utilizados en la inspección de vías entre los que se encuentran el uso de drones para realizar una visualización completa de la zona afectada.

En los Anexos I y II, se muestra de forma resumida un ejemplo de cómo se catalogaron ciertos manuales e investigaciones relevantes para la estructuración de esta propuesta, aunque se cuenta con más información relacionada con la inspección de pavimento flexible la cual fue citada a lo largo del documento. Se cuenta con manuales de inspección de países de Suramérica y Centroamérica, así como también investigaciones de Norteamérica y Europa. Gran parte de la bibliografía está conformada por artículos de investigación, proyectos de grados de nivel de especialización o maestría debido a que el tema se ha tratado ampliamente por profesionales del área. Posteriormente, a partir de la revisión de destacan definiciones que deben ser modificadas o actualizadas y se agregan en el marco de la propuesta para un nuevo manual vigente, desarrolladas en el apartado 5.1 de este documento.

4.2. Identificación de procedimientos novedosos

En base a la búsqueda bibliográfica se conocieron y se identificaron las metodologías y procesos que son utilizados en la actualidad por los diferentes profesionales y entidades en la inspección de pavimento flexible. Cabe resaltar, que la gran mayoría de los manuales implementados actualmente también incluyen un apartado dedicado a los pavimentos rígidos. Debido a esto, se prestó mucha atención a este detalle ya que muchos de los daños que se producen en los pavimentos flexibles también se presentan en el pavimento rígido, entonces existe mucha facilidad en confundir las especificaciones especialmente en las definiciones.

A partir de las definiciones encontradas, se determinó que era necesario incorporar nuevas fallas sobre el pavimento flexible que el manual de 2006 no tenía en consideración y actualizar ciertas definiciones y causas que si contemplaba el manual

vigente, además se adiciona los criterios de severidad que en algunas fallas no son tenidas en cuenta.

4.3. Comparación de las metodologías

En esta sección, se realizó un comparativo entre el manual colombiano y otros manuales al igual que con otras investigaciones. Esto permite identificar las falencias presentes en el manual colombiano y de esta manera poder proponer modificaciones en este.

Entre las modificaciones propuestas esta la inclusión de varias definiciones, inclusión de información y cambios en varios de los criterios de gravedad de algunas daños que se incluyen en el manual, también se plasmaron cuadros comparativos de ciertos criterios relevantes al manual colombiano con el de otros de diferentes países. Al igual, se propone la modificación de ciertos formatos utilizados por el INVIAS y varias recomendaciones de uso de tecnología vigente para agilizar la identificación de estos daños en campo.

Entre los criterios escogidos para definir los parámetros a modificar o adicionar se encuentra la importancia en el uso actual, es decir, que tan importante son en la actualidad; la frecuencia con la que se presenta en los pavimentos, la gravedad del daño para el vehículo y la vida humana.

4.4. Análisis de los procedimientos de inspección

Teniendo en cuenta cada uno de los capítulos que conforman el Manual para la Inspección de Pavimento Flexible y después de realizar el debido análisis del contenido, se buscó dentro del material extraído de la literatura aquel que tuviera características similares al contexto colombiano y que se pudiera adaptar al mismo.

Con este material escogido y clasificado se realizó la propuesta de actualización del manual. Además, se genera el informe que permite evidenciar la propuesta para la actualización del manual.

5. DESARROLLO METODOLÓGICO

Como resultados de la investigación, se obtienen diversas modificaciones que se deben estructurar en el marco de la propuesta de actualización para el manual de inspección visual del pavimento flexible 2006 Invias y se desarrolla según los objetivos específicos planteados en el apartado 2.2 de este documento.

5.1. Objetivo específico primero: Revisión bibliográfica

Para el desarrollo de la investigación, inicialmente se hizo la búsqueda de bibliografía relacionada con la inspección visual de pavimento flexible en bases de datos disponibles, donde se encontró con diversos artículos publicados en el tema y ciertos manuales disponibles de algunos países de Latinoamérica como el de Guatemala, Chile, México y Cuba; asimismo las investigaciones utilizadas para la propuesta de actualización son publicaciones indexadas de países como Puerto Rico, Estados Unidos, Canadá, Brasil, Colombia, España, Uruguay, Cuba, Perú, Argentina, además de algunos trabajos de grados que sirvieron como base guía para este documento.

En los Anexos I y II se puede apreciar un ejemplo de cómo se catalogaron parte de la bibliografía, y en las Tablas 1 y 2 las comparaciones de documentos de relevancia para este estudio. En el Anexo III se puede apreciar de forma ilustrativa portadas algunas publicaciones y manuales utilizados con la finalidad de mostrar la pluralidad de documentación.

5.2. Objetivo específico segundo dos: Identificación de nuevos procedimientos

A partir de la revisión bibliográfica, se plantean definiciones de daños que serán incluidas y modificadas en la propuestas, además se incluyen nuevos mecanismos de inspección visual, se plantea un nuevo formato para el registro de daños que sea más detallado que el actual y se presentan procedimientos para la reparación de los daños y fallas que se puedan encontrar.

5.2.1. Propuesta de daños a incorporar y definiciones a modificarse.

En el capítulo uno del manual vigente 2006, se desarrollan las definiciones de los tipos de daños en pavimentos flexibles. Estas definiciones se encuentran clasificadas en categorías que son: fisuras, deformaciones, pérdida de las capas de la estructura, daños superficiales y otras fallas. Pero según la revisión bibliográfica, se encontraron definiciones de otras fallas más que pueden encontrarse y son consideradas adecuadas para enriquecer el capítulo de la norma. Estas se especifican a continuación

Fisura por fatiga: se presenta cuando el área se encuentra sometida a cargas constantes repetitivas producto del tráfico. En apariencia se puede observar un conjunto de grietas las cuales se encuentran interconectadas con el lado más largo de menos de 0.3 m. Para que pueda ser considerado como fisura debe tener un área cuantificable (Pérez, 2013).

Especificaciones: Se puede clasificar dependiendo del nivel de gravedad (véase Figura 7): bajo, no se puede observar a plena vista el bombeo, aparición de pocas grietas las cuales no están selladas; medio, aparición de grietas completamente interconectadas entre ellas y pueden estar selladas, el bombeo no es evidente; alto, aparición de grietas interconectadas estancadas de forma severa y las cuales pueden llegar a moverse con el paso del tráfico, el bombeo es evidente (US Department of Transportation, 2014).



Figura 7. Grietas por fatiga y niveles de gravedad de la fisura. *Adaptado al español de* (US Department of Transportation, 2014)

Desintegración de bordes: se presenta cuando hay un destrucción de forma progresiva de los bordes. Suele presentarse en vías sin hombro. Esta desintegración es causada por el paso sucesivo de vehículos por un mismo lugar de la vía que se

encuentra ubicado en los extremos de esta (véase Figura 8). Esta zona suele tener poca compactación (Arqhys, 2012).

Especificaciones: Se puede clasificar según el nivel de gravedad: bajo, aparición de fisuras leves en el borde; medio, aparición de fisuras en el borde con indicios de descascaramiento; alta, se observa el desprendimiento en la zona del borde de la vía lo que reduce el ancho de la vía (SIECA, 2010). Se recomienda medir los metros cuadrados afectados y clasificarlos según el nivel de gravedad que presente.



Figura 8. Desintegración del borde con nivel de gravedad alto. Tomado de (Arqhys, 2012)

Desnivel del pavimento: hace referencia a la diferencia de elevación entre la superficie recorrida y el borde del arcén (véase Figura 9). Esto ocurre cuando se presenta asentamientos en el arcén exterior por el uso de diferentes materiales en la capa de pavimento (US Department of Transportation, 2014).

Especificaciones: Este desnivel se debe registrar teniendo en cuenta el tipo de camino, si es una vía a nivel de red este desnivel > 30 mm, si es una vía concesionada > 10 mm (Ministerio de obras públicas, 2016).

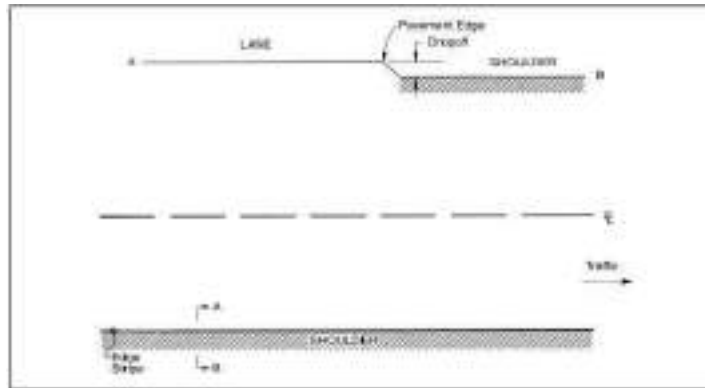


Figura 9. Línea de caída del arcén. Tomado de (US Department of Transportation, 2014)

Presencia de agregados: ocurre cuando hay agregados expuestos que no se encuentran dentro del material de liga (véase Figura 10). Esto puede presentarse cuando hay una deficiente granulometría, mala segregación de los agregados en obra, tránsito de vehículos durante la construcción del pavimento, ligante con poca capacidad de contener agregados y uso de agregados que no cumplan con la normatividad (Costa, 2019).

Especificaciones: Este tipo de daño se puede clasificar según el nivel de gravedad: bajo, se puede observar la exposición de agregado en un 20% del total del tramo; medio, se observan entre 20% y 50% de agregado en el total del tramo; alto, se observa más del 50% de agregados en el tramo total (SIECA, 2010). Se recomienda medir el total de metros cuadrados de área afectada y clasificarlos según el nivel de severidad.



Figura 10. Presencia de agregados en un tramo de vía. Tomado de (Ingeniería Salvador, 2009)

Fisura estructural: se presenta cuando hay un deterioro del asfalto el cual tiene forma de línea recta o de piel de cocodrilo (Costa, 2019) como se observa en la Figura 11.

Especificaciones: Se pueden presentar cuatro tipos de fisuras: de línea angosta, de línea ancha, de piel de cocodrilo angosta y de piel de cocodrilo ancha. La primera se caracteriza por tener una profundidad ≤ 3 mm y la segunda una profundidad > 3 mm (Ministerio de obras públicas, 2016), y se puede determinar el porcentaje de fisura con la siguiente formula:

$$\text{fisura lineal}\% = \frac{(\Sigma \text{longitud grietas lineales}) * 0.5}{\text{área de la unidad de muestreo}} * 100 \quad (1)$$

Por otro lado, la fisura estructural de piel de cocodrilo angosta se caracteriza por tener fisuras de ancho ≤ 3 mm y tener forma de malla. las fisuras estructurales de piel de cocodrilo anchas tienen un ancho, valga la redundancia, > 3 mm (Ministerio de obras públicas, 2016). Este tipo de fisuras pueden aparecer cuando la base o subbase se encuentra mal compactada. Se puede determinar el porcentaje de fisura con la siguiente formula:

$$\text{fisura piel de cocodrilo}\% = \frac{(\Sigma \text{áreas agrietadas})}{\text{área de la unidad de muestreo}} * 100 \quad (2)$$

Para medir las fisuras estructurales se debe identificar y cuantificar el área afectada en metros cuadrados y determinar el porcentaje de fisura según sea el caso correspondiente.



Figura 11. Fisuras estructurales. Tomado de (tecnocarreteras, 2012)

Fisuras térmicas: este tipo de fisuras se presenta cuando existe una variación de la temperatura lo que hace que el pavimento se expanda y se contraiga creando este tipo de fisuras (véase Figura 12).

Especificaciones: Se caracteriza por ser una línea recta. Se pueden dividir en angostas y anchas. La primera presenta fisuras con ancho ≤ 3 mm y la segunda con un ancho > 3 mm (Ministerio de obras públicas, 2016). Se puede determinar el porcentaje de fisuras térmica mediante la siguiente formula:

$$fisuratermica\% = \frac{(\sum \text{No. grietas} * \text{ancho de vía}) * 0.5}{\text{área de la unidad de muestreo}} * 100 \quad (3)$$

Para medir este tipo de fisuras se debe realizar un registro del número de fisuras que tenga un tramo de la vía analizada y registrar el porcentaje de fisura.



Figura 12. Fisura térmica. Tomado de (Constructora ProyecPlus, 2016)

Deterioro del parche: se presenta cuando el material aplicado sobre una zona, igual o superior a 0,1 m², que ha sido reparada se comienza a deteriorar (véase Figura 13).

Especificaciones: El deterioro del parche se puede clasificar dependiendo del nivel de gravedad: bajo, el bombeo no es evidente y el material utilizado para realizar el parcheo no se desprende, además, el parche con angustia de baja gravedad con hundimiento menor a 6 mm; medio, angustia moderada con un hundimiento entre 6 a 12 mm; alto, angustia alta con hundimiento mayor a 12 mm, presencia de material diferente en la zona donde se encuentra ubicado el deterioro dentro del parche y bombeo evidente (US Department of Transportation, 2014). El Distress Identification

Manual For The Long-Term Pavement Performance Program (2014), propone medir este tipo de deterioro registrando la cantidad de parches con sus respectivos metros cuadrados y los metros cuadrados afectados, estos últimos serán clasificados según su nivel de gravedad.

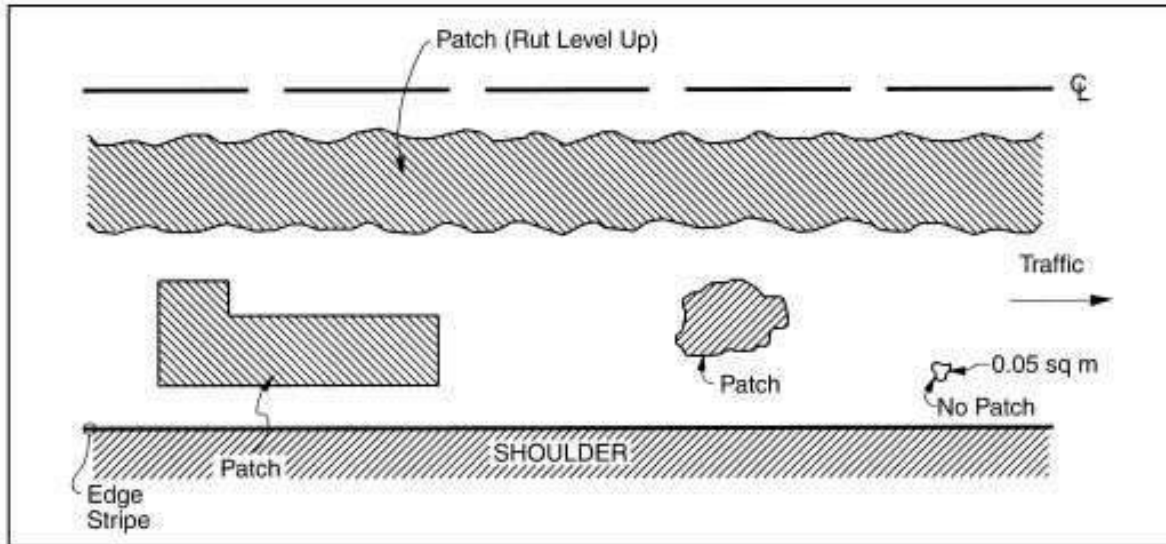


Figura 13. Tipos de parches. Tomado de (US Department of Transportation, 2014)

En ciertas vías con reparacheo, se pueden presentar diversas falla simultáneamente (véase Figura 14).



Figura 14. Deterioro de parches. Tomado de (Choquecota, 2020)

Shoving o empuje: hace referencia a un desplazamiento ocurrido en la superficie del pavimento debido a una aceleración o desaceleración provocada por los vehículos que hace que la mezcla asfáltica se mueva (véase Figura 15), puede llegar a desprenderse el material de la carpeta asfáltica y llegar a formar cordones laterales.

Especificaciones: Se puede presentar principalmente en colinas o en las curvas de intersección, también puede ser provocada por inestabilidad en la mezcla, pocos vacíos, mala ejecución del riego de liga o imprimación. Además, se le suele asociar con los desplazamientos verticales (US Department of Transportation, 2014). Se puede llegar a clasificar según el nivel de gravedad: bajo, se puede sentir el empuje como una leve vibración en el vehículo; medio, se siente una vibración fuerte al pasar por la zona afectada; alto, se siente una vibración más fuerte al pasar por la zona y puede llegar a generar riesgo de seguridad por lo que se debe disminuir la velocidad (SIECA, 2010).



Figura 15. Shoving. Tomado de (Coenen & Goirao, 2017)

Entre las definiciones existentes en el Manual de Inspección de Pavimento Flexible 2006 Invias, algunas son modificadas en el marco de la propuesta de actualización. Se presentan a continuación:

Desprendimiento: se presenta cuando existe un desgaste de la superficie del pavimento producto de la separación de las partículas que componen el agregado (véase Figura 16). Esto genera que disminuya la resistencia al deslizamiento, exposición de las capas inferiores y endurecimiento de la capa asfáltica. Este tipo de problemas se presenta cuando la mezcla bituminosa no queda bien (US Department of Transportation, 2014).



Figura 16. Perdida de agregados por desgaste. Tomado de (US Department of Transportation, 2014)

Descascaramiento: la definición original presentada por el manual de 2006 en su apartado 1.3.1 se debe adicionar la siguiente información:

Las capas que se desprenden corresponden a las últimas capas de agregados finos que pueden ser de las lechadas o de los tratamientos superficiales (véase Figura 17), y que otra de las causas de esta falla puede ser por esparcimiento de forma heterogénea del ligante, aplicación del ligante en clima lluvioso o con sereno en la

superficie de aplicación, mala compactación, falta de fraguado o aplicación de ligante envejecido (SIECA, 2010).



Figura 17. Descascaramiento. Tomado de (Ingeniería Salvador, 2009)

Fisura por reflexión en las articulaciones: la definición dada por el manual 2006 presentada en el apartado 1.1.3 se debe agregar entre las causas:

Estas fisuras que se presentan en la articulación entre capas cuando la subbase o base es de hormigón y la capa asfáltica es flexible. Se pueden presentar debido a movimientos en la capa de hormigón (véase Figura 18).

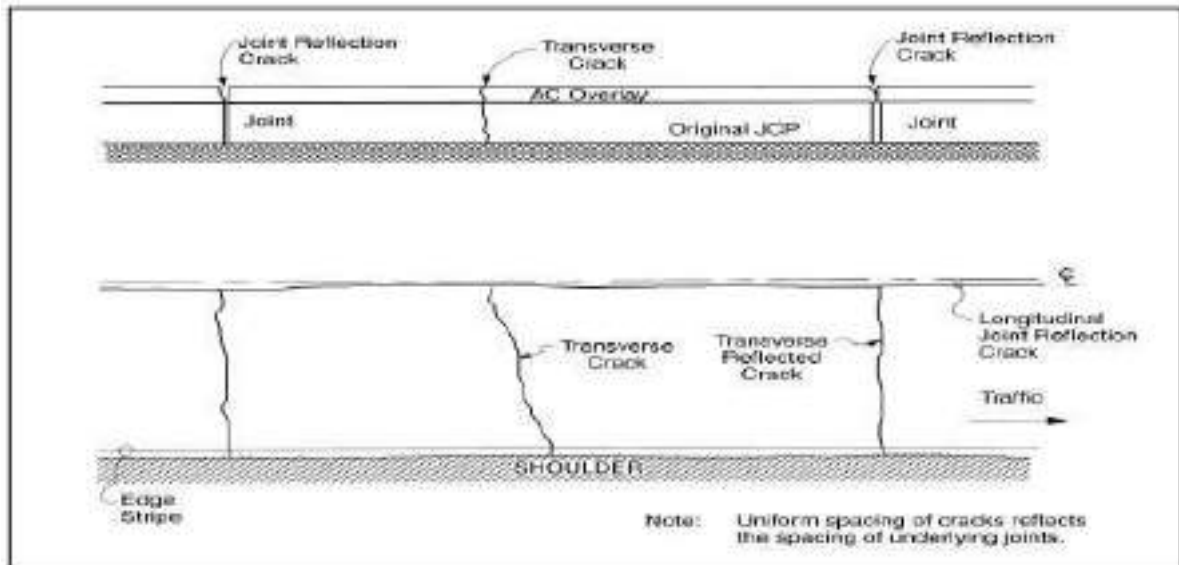


Figura 18. Reflexión fisuras en las articulaciones. Tomado de (US Department of Transportation, 2014)

Fisuras transversales y longitudinales: en el manual de inspección del Invias 2006, estos tipos de fisuras están definidos de forma unificadas en el apartado 1.1.1 y hacen la diferencia entre estas mediante ilustraciones, para efectos de la propuesta de actualización se considera necesario dividir ambos tipos de fisura y definirlos de forma independiente.

Fisuras transversales: son fisuras que se presentan de forma perpendicular a la línea media del pavimento, suelen ser aisladas pero pueden afectar todo el ancho del pavimento. Se pueden producir debido a la pérdida de flexibilidad del material asfáltico, aparición de reflexión en capas subyacentes o en la construcción de las juntas transversales (Andrade, Hernández, & Salomón, 2020)

Fisuras longitudinales: para el concepto de fisuras longitudinales, se propone: son fisuras que se presentan en el pavimento de forma paralela al eje de la vía (Ministerio de obras públicas, 2016). Normalmente se presentan en la zona donde mayor transita el vehículo, es decir, por donde pasa la rueda. Además, se puede llegar a presentarse de forma aislada o en grupo con longitudes variables. Se puede presentar debido a fatiga en la estructura, por la pérdida de flexibilidad de la mezcla ocasionando que al contraerse se generen las fracturas, mala ejecución en la construcción de las juntas longitudinales que ocasionan a su vez reflexión en estas y deficiencia en el confinamiento (SIECA, 2010).



Figura 19. Falla longitudinal y transversal. Tomado de (Andrade, Hernández, & Salomón, 2020)

Pulimiento del agregado: en el manual vigente, en su apartado 1.4.3 se desarrolla esta definición la cual no es muy detallada, por lo que se considera pertinente cambiar la definición, así:

Se presenta cuando el material aglutinante bituminoso que se encuentra extendido no es suficiente y esta desgastado, lo cual crea la exposición del agregado grueso reduciendo las áreas rugosas y angulares del asfalto (US Department of Transportation, 2014)., el material expuesto se evidencia de caras planas (véase Figura 20) y esto afecta la resistencia ante el deslizamiento.



Figura 20. Pavimento con agregado grueso expuesto. Tomado de (US Department of Transportation, 2014)

5.2.2. Nuevos procedimientos de inspección

En Colombia, la inspección visual de pavimento se realiza de forma tradicional donde el inspector transita por el tramo vial a pie, haciendo mediciones con un fisurómetro y conteo de fallas, y también identificando los daños con ayuda del catálogo e instrucciones del manual de inspección visual. Esta manera de realizar el análisis presenta muchas limitaciones ya que se encuentra condicionada al estado físico del inspector, la transitabilidad de la zona, requiere mucho tiempo de ejecución, es practico para tramos no muy extensos (menos de 5 km), depende del clima, entre otros (Echaveguren et al, 2011).

Algunas investigaciones postulan **procedimientos específicos** para la evaluación de ciertos daños, como “El Distress Identification Manual For The Long-Term Pavement Performance Program (2014)”, propone una forma de medir la fisura por fatiga registrando el área afectada en metros cuadrados y catalogarlas por nivel de gravedad siendo la predominante la gravedad que más esté presente y cuando existan grietas transversales cortas (menores a 0.3 m) en la zona donde se ubica la rueda entonces estas son consideradas como fisuras de fatiga; también muestra como medir el *rutting* basándose en la realización de estudios de pavimento SPS-3, el cual consta de registrar la profundidad en milímetros cada 15,25 m medidos en borde recto; así mismo se afirma que para medir los metros cuadrados afectados por desprendimiento, no se debe clasificar como *chipseal* (tratamiento que combina una o más capas de asfalto con una o más capas de agregado fino) y por último para los agregados pulidos propone que se deben medir los metros cuadrados de área afectada y que no se puede medir las secciones que han recibido un tratamiento preventivo ya que la superficie original no se podría observar.

Por otro lado, actualmente muchos países utilizan herramientas y equipos que permiten realizar la inspección del pavimento de forma más rápida y segura que empleando los métodos tradicionales. Entre los métodos utilizados se encuentran:

- a. Vehículo multifunción:** es un equipo para realizar levantamiento de deterioros, índice de internacional de rugosidad (IRI), profundidad de las deformaciones y macrotexturas. Estos datos son almacenados y procesados en el momento permitiendo emitir una evaluación de forma casi inmediata. Este equipo se encuentra equipado con: tecnología láser para hacer un escaneo transversal que arroja imágenes de alta resolución; un perfilómetro para determinar el IRI; cumple con las especificaciones ASTM E 950-98 y ASTM E 845-09 para realizar un perfil longitudinal y macrotextura respectivamente; y utiliza un scanner de laser transversal que permite detectar y caracterizar las deformaciones (Gonzales, 2016). El principal inconveniente de este equipo es su costo ya que

es muy elevado y al momento de su uso puede llegar a ocasionar tráfico en zonas viales con alta densidad de vehículos.

En países latinoamericanos, como Cuba, no cuentan con información veraz y oportuna acerca del estado de sus carreteras que conforman su red vial, debido a esto investigadores como Céspedes (2018), Ingeniero Geotecnista, desarrolló un estudio en el que comparó diversos mecanismos de detección de imperfecciones, de los cuales el más idóneo fue el Equipo Video Análisis Inspección Visual Alternativa (EVASIVA), que consiste en un vehículo multifunción (véase Figura 21) el cual gracias a su perspectiva de 120° realiza inspecciones visuales de los daños presentes en un tramo vial y registra a su vez las coordenadas (x, y, z) con su tecnología GPS. Es un producto de origen español (Sanchez, 2015).



Figura 21. EVASIVA. Tomado de (Céspedes, 2018)

Este vehículo multifuncional funciona con un ciclo de trabajo (vease Figura 22) que empieza con la filmación del pavimento con cámara de alta resolución, hasta la clasificación y cuantificación de los daños encontrados.

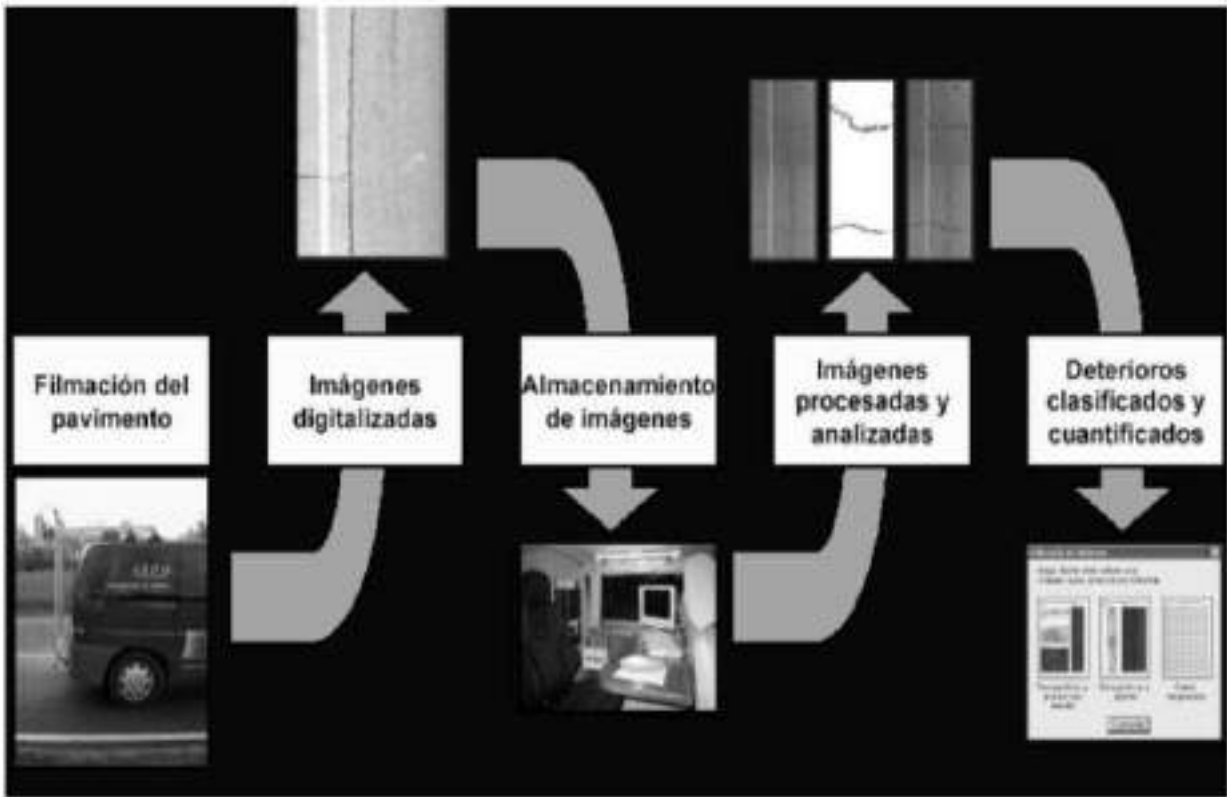


Figura 22. Ciclo de trabajo del vehículo EVASIVA. Tomando de (Céspedes, 2018)

b. Inteligencia artificial (IA): esta puede ser adaptada mediante un modelo de algoritmo de aprendizaje que permite detectar baches al analizar un conjunto de datos de imágenes (Cubero et al, 2017, pág. 39). Investigadores como Hoang (2018) utilizan imágenes digitales de un tamaño de 150X150 píxeles, que procesadas a través de un filtro gaussiano (GF) se eliminan redundantes detalles y se reduce el ruido en la imagen. Mediante el algoritmo programado, se reconoce aquellos píxeles en la imagen 2D que orientan al modelo que detecta baches basándose en la inteligencia artificial, a través de un proceso en el que se adquieren las imágenes, se construye una base de datos y luego se aplica IA para la predicción del modelo, así como se evidencia en la figura 23 (Hoang, 2018).

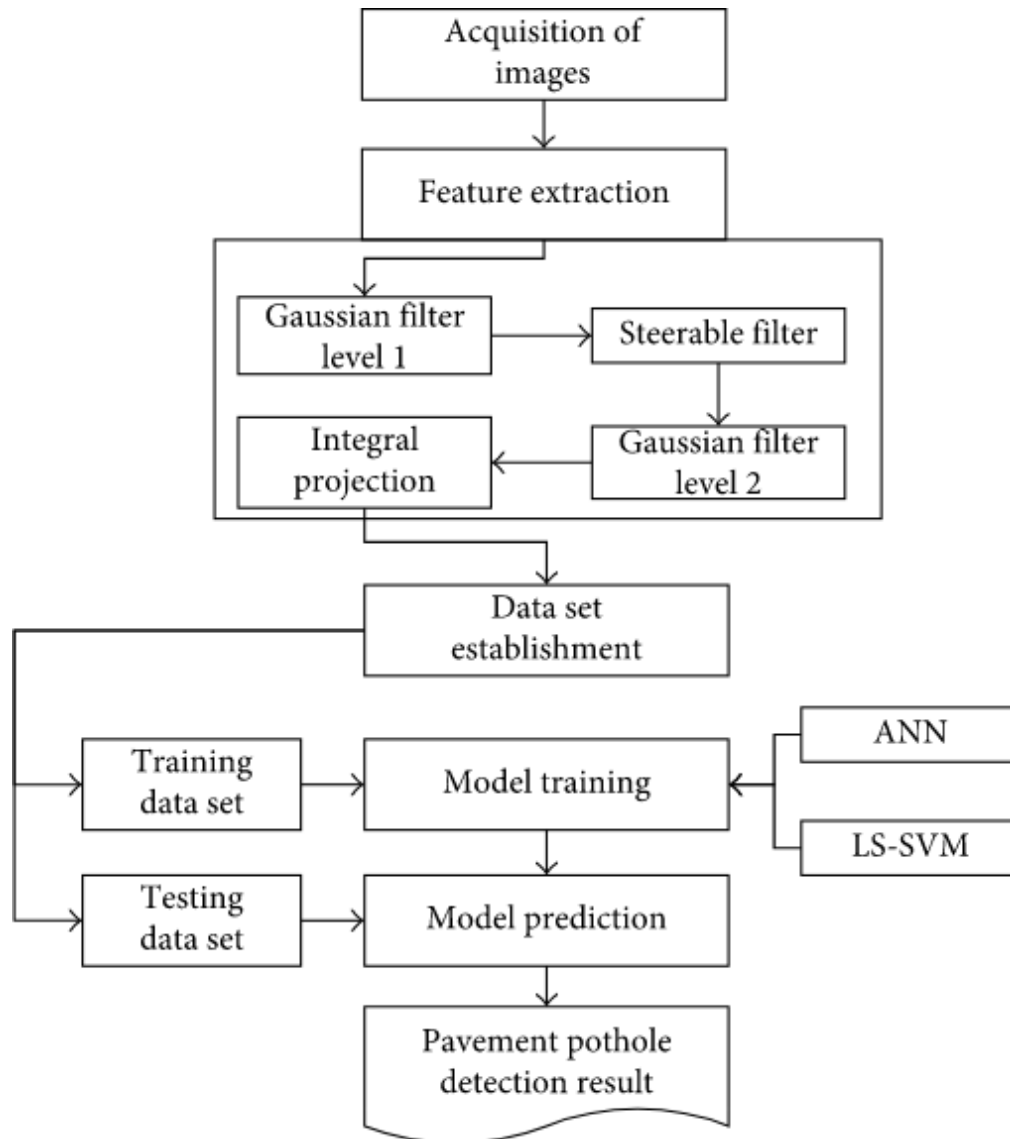


Figura 23. Modelo de detección de baches en pavimento. Tomado de (Hoang, 2018).

c. Vehículos aéreos no tripulados (UAV) con fotometría: son vehículos que se trasladan por el aire y que se manejan a control remoto, esto permiten tomar fotografías a distancias entre 10 a 15 m para poder determinar las características del bache, distancias mayores a estas presentan poca definición en las fotos (Romero et al, 2020). Estos vehículos toman fotografías georreferenciadas lo que permite determinar el lugar exacto donde se encuentra el daño. Esta tecnología es mucho más económica que el vehículo multifunción,

además es más segura ya que no se debe estar transitando por la vía sino que se puede estar ubicado a un lado del camino. También, puede alcanzar zonas difíciles de llegar. Además, investigadores como Pan et al (2021) han desarrollado el estudio acerca del monitoreo del pavimento para detección de las condiciones de este utilizando drones de vuelo bajo (véase figura 24), este toma fotografías de resolución espacial fina de un centímetro, que proporciona información detallada acerca de la textura del daño sobre el pavimento como baches y grietas, que luego combinado con la segmentación semántica multiescala mediante un modelo CNN se extrae la información de los daños sobre la vía con una precisión general entre el 87.83% y 92.96%.



Figura 24. UAV. Tomado de (Pan et al, 2021)

- d. Scanner laser tridimensional:** este método permite mediante el uso de un scanner equipado con un radar laser realizar recreaciones 3D de los baches. Esta tecnología utiliza un láser de exploración el cual es reflectante, lo que se hace es medir esta reflexión mediante la superficie del pavimento produciendo una figura 3D del pavimento analizado. Esto permite conocer las características del bache (Romero et al, 2020). Esta tecnología es mucho más costosa que la UAV con fotometría pero es más eficiente al momento de medir los baches y daños. Investigadores como Xin et al (2017) utilizan un escáner laser 3D (véase

figura 25) que recopilar datos acerca de la textura del pavimento para reconstruir modelos tridimensionales, que conformados por muchos microelementos, se crea un volumen de la macroestructura del pavimentos, así se le realiza un análisis cuantitativo para identificar la cantidad de daños sobre la vía.




Figura 25. Escáner laser. Tomado de (*tecnocarreteras, 2013*)

5.2.3. Nuevo formato para registro de daños

Para la recolección de información a partir de la inspección visual del pavimento, el actual manual vigente del 2006 utiliza un formato para el registro de daños desarrollados en el apartado 2.1.

Se propone realizar cambio el formato de registro, la primera parte de este se evidencia en la Figura 26, el cual contempla un registro detallado para la recolección de información durante la inspección.


FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - VI



Universidad Pontificia Bolivariana
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

TERRITORIAL: _____ FECHA: _____ CONCESIÓN: _____
 CÓDIGO DE LA VÍA: _____ CONTRATO No.: _____ MTO INTEGRAL: _____
 NOMBRE DE LA VÍA: _____ LEVANTADO POR: _____ A.M.V.: _____

PR. INICIAL: _____
 PR. FINAL: _____
 HOJA: _____ DE _____

Número de calidades: _____ Ilustración: 

Número de carril por calada: _____

Ancho de la berma: _____ **a**

Unidad de medida: _____

SIN		PATOLOGÍA										DECLARATIVOS															
		Carril	Ancho carril	Tipo	Sever.	Fallo		Ranuras		Foto	Categorización de la Berma																
PR. Inicial	PR. Final					Largo	Ancho	Largo	Ancho		Tipos	Sever.	Borde		Foto												
b			c																								

COMENTARIOS: _____

Figura 26. Primera parte del formato propuesto para la recolección de datos en campo al momento de realizar la inspección del pavimento. Elaboración propia

- a. Se determinó que para entender y diligenciar de forma más fácil y rápida los datos recolectados durante la inspección del pavimento se hace necesario introducir una imagen de la vía analizada, indicar el sentido de cada carril, su respectiva dirección y ancho de las mismas.
- b. Se adiciona una casilla en donde se identifique las abscisas de inicio y fin por tramo estudiado, esto para ser más específico en las zonas donde se encuentren daños.
- c. Se traslada la casilla de ancho de carril junto a la de patología debido a que cuando existe un alto deterioro del pavimento o la invasión por parte de agentes externos a la vía el ancho del carril puede verse reducido.
- d. Se adicionó una sección para la identificación de los daños ocurridos dentro de la berma. Actualmente, se realiza un análisis aparte de las bermas, esto

se debe a que en Colombia no todas las vías poseen una y no se hace necesario hacer este registro, pero cuando la vía cuenta con berma realizar el reporte de estos daños en formato diferente implica que se debe realizar otro trabajo adicional.

En la segunda parte del formato donde se desarrollan las especificaciones de la inspección, se propone a esta tabla adicionar los daños descritos anteriormente en el apartado 5.2.1 de este documento y esta sección del formato se evidencia en el Anexo IV. Donde se agregan:

- En la sección de fisuras agregar: Fisura por fatiga (FF), fisura estructural (FE) y fisura térmica (FTA).
- Deformaciones: Rutting (RUT).
- Perdida de la capa de la estructura: desintegración de bordes (DBO), deterioro del parche (DPCH), baches en bermas (BB), empuje (EM) y desprendimiento (DES).
- Daños superficiales: presencia de agregados (PAG).
- Otros tipos de daños: Desnivel del pavimento (DP).

Además, de adicionar la clasificación de la respectiva severidad (según tolerancias) teniendo en cuenta los datos proporcionados los cuales se deberían poner a prueba en laboratorio y así corroborar su veracidad o realizar los ajustes que se consideren necesarios.

5.2.4. Procedimientos de reparación de daños a incorporar

Actualmente, el manual del INVIAS no cuenta con una sección que permita conocer los diferentes métodos de mantenimiento para los daños que se presentan en el pavimento asfáltico. Es por esta razón, que se propone incluir en el manual una sección dedicada a los métodos de intervención utilizados actualmente. Entre las propuestas de intervención se encuentran:

Sello de fisuras y grietas:

Es un mantenimiento preventivo para fisuras o grietas (véase figura 27) menores a 12 mm de ancho, este tratamiento impermeabiliza las capas del pavimento, se usa cuando se presentan fisuras longitudinal y transversal para evitar la aparición de daños como la piel de cocodrilo y baches (SIECA, 2010).

- i. Restricciones: no se debe implementar cuando:
 - Zonas con bloques interconectados
 - Deflexión en la fisura
 - Zonas con muchos bacheos
- ii. Materiales:
 - Material bituminoso termoplástico que cumpla con las especificaciones ASTM D-5893.
 - Asfalto líquido que cumpla con las especificaciones AASTHO M 140 o AASHTO M 208.
 - Asfalto líquido que contenga modificaciones con polímeros y que cumpla con las especificaciones ASTM D-5078.
 - Arena con granulometría que pase el tamiz No. 8
- iii. Configuración de los sellos:

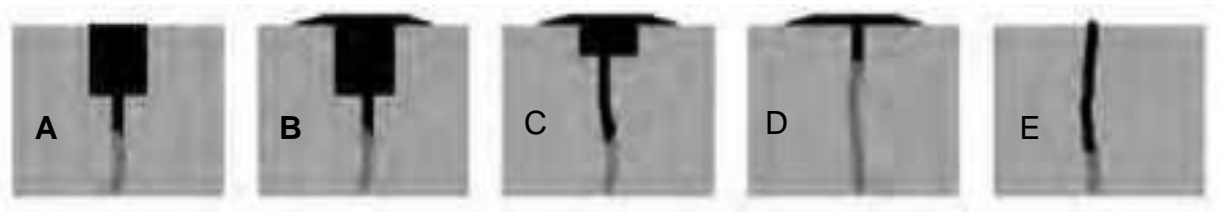


Figura 27. Configuración del sellado. Tomado de (SIECA, 2010).

- A. Llenado de fisura al ras
- B. Llenado de fisura al ras con venda
- C. Llenado debajo de venda
- D. Venda
- E. Llenado a ras

- iv. Procedimiento de ejecución:
 - Identificación: como primer paso se deben ubicar las fisuras o grietas que serán tratadas marcándolas con un color visible.
 - Limpieza: este procedimiento se debe realizar con un dispositivo de aire comprimido.
 - Aplicación del sello: se realizará la aplicación del material sellante teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por el fabricante y sin utilizar exceso de material.
 - Colocación de la arena: se esparce una capa delgada de arena la cual será aplicada entre 1 y 3 minutos después de aplicar el sello.

Áreas de falla, bacheo profundos y superficial:

Se presenta debido a zonas de inestabilidad en las capas estructurales del pavimento (SIECA, 2010).

- i. Materiales:
 - Material de relleno: el material utilizado para relleno se debe encontrar limpio. Se pueden utilizar dos tipos de relleno: de base triturada o de concreto asfáltico.
 - Material de liga
- ii. Procedimiento de ejecución (SIECA, 2010):
 - Excavación: es la remoción hasta la subbase del material que se encuentra en la zona del daño. primero se delimita el área a ser excavada, luego se procede a extraer el material a retirar dejando los bordes parejos. Después, se compacta y nivela para ser rellenados el mismo día.
 - Colocación de liga: esta será aplicada dentro de la superficie excavada (véase Figura 28).
 - Relleno: es la deposición de material dentro de la zona excavada. Cuando se utiliza material de relleno de base triturada no se debe

exceder de la cota de la subbase. Al utilizar relleno con concreto asfáltico se debe garantizar que la capa quede a la misma altura de la capa existente. El relleno se debe aplicar en capas del mismo espesor el cual será distribuidos de tal forma que no se segreguen los materiales. después, se procederá a compactar la mezcla al aplicar cada capa.



Figura 28. Aplicación de bacheo. Tomado de (*El Sol de San Luis*, 2019)

Asfalto de refuerzo (frio o caliente)

Consiste en aplicar una capa de asfalto sobre la capa ya existente con el objetivo de rehabilitar la vía (SIECA, 2010).

i. Procedimiento de ejecución:

- Se debe garantizar que el lugar donde se va a colocar el asfalto se encuentre seco y en buen estado, es decir, si existen daños sobre el pavimento estos deben ser reparados antes de verter la mezcla.
- Se realizará el riego de imprimación y el riego de liga
- La mezcla será esparcida con una maquina terminadora (véase Figura 29) teniendo en cuenta las indicaciones determinadas por el supervisor. En zonas donde no alcance la terminadora se puede realizar de forma manual.
- Se procederá a compactar de forma uniforme.



Figura 29. Aplicación de pavimento reforzado. Tomado de (*El Sol de San Luis*, 2019)

Lechada asfáltica

Es la aplicación de una mezcla sobre la vía para sellar daños existentes, dar textura y funcionar como antideslizante (SIECA, 2010).

i. Materiales:

- Agregados pétreos: es recomendado usar una mezcla de arena natural y arenas extraídas de la trituración. Estas deben cumplir con las normas: ASTM D-2419, ASTM C-131 y ASTM D-3910.
- Emulsión asfáltica: debe ser un cemento asfáltico emulsificador. La emulsión utilizada debe cumplir con la norma ASTM D-977.
- Llenante mineral: se recomienda utilizar cemento tipo Portland, cal, cenizas volante. Cualquier llenante mineral que se utilice debe cumplir con las especificaciones ASTM D-242.
- Agua potable

ii. Procedimiento de ejecución:

- Se debe asegurar que el sistema de calibración del equipo mecánico que va a aplicar la lechada se encuentre correcto.

- Se debe garantizar que todos los equipos que se van a utilizar deben estar limpios al igual que la vía.
- Se debe probar el equipo mediante el empleo de franjas de prueba.
- Cuando las franjas de prueba apliquen las cantidades solicitadas se procederá a colocar la lechada en donde se requiera (véase Figura 30).



Figura 30. Aplicación de lechada asfáltica. Tomado de (*mantoasfalticoconstruya.com, 2021*)

Microcarpeta (Microsurfacing):

Consiste en una mezcla de asfalto frío la cual puede ser aplicada en capas (véase Figura 31). Se utiliza para corregir daños en la superficie como hundimiento, desniveles, entre otros (PCM, 2021).

- i. Materiales:
 - Materiales asfálticos: debe ser un cemento asfáltico el cual debe incorporar una emulsión asfáltica modificada con polímero tipo CSS-1HP.
 - Agregado mineral: deben ser materiales que cumplan con la ASTM D-2419, ASTM C-131.
 - Agregado mineral fino: se recomienda utilizar cemento tipo Portland o cal hidratada.
 - Agua: debe cumplir con lo establecido en la AASHTO T-263.
 - Aditivos: se pueden utilizar y ser agregados a la emulsión de asfáltica modificada, al agua o a la mezcla.

- ii. Procedimiento de ejecución (SIECA, 2010):
 - Para la aplicación del material se debe asegurar que la temperatura atmosférica sea mayor de 15°C.
 - Se debe preparar la superficie de tal forma que se encuentre totalmente limpia.
 - Después que la superficie este limpia se procede a colocar la mezcla mediante un mezclador con agitador y esparcidores. La mezcla será colocada en grietas y en irregularidades menores que se encuentren en la superficie.



Figura 31. Aplicación de microcarpeta. Tomado de (<http://oi68construcciones.com/>, 2017)

Sello mediante emulsiones

Se utiliza para impermeabilizar, proteger de desgaste, evitar el filtro de agua y evitar derrapes en la superficie (SIECA, 2010).

- i. Materiales (SIECA, 2010):
 - Emulsión de asfalto: debe cumplir con las especificaciones de la AASHTO M-316-98.
 - Arena: de tener una granulometría en la cual todo pase el No.8.
- ii. Procedimiento de ejecución (SIECA, 2010):
 - Se debe limpiar y luego humedecer la superficie donde se agregará la emulsión de asfalto.

- Después, se procede a colocar el material sellante el cual será distribuido de forma homogénea sobre la superficie o grieta (véase Figura 32).
- Luego, se colocará la arena en una capa fina que será compactada, esta actuará como material secante.
- Pasadas de 2 a 4 horas el material secante debe ser retirado.



Figura 32. Sellador de grieta con emulsión asfáltica. Tomado de (*Asfaltos Brimax, 2020*)

5.3. Objetivo específico tercero: Comparación de metodologías

En la actualidad, Colombia cuenta con únicamente un volumen del Manual para la Inspección Visual de Pavimientos Flexibles el cual fue escrito en el 2006, el que además sigue aún en vigencia y a pesar de que se le adicionaron algunas modificaciones en 2013, para la fecha es considerado desactualizado debido a que no incluye ciertas consideraciones que existen en la actualidad. Además, otros países mantienen renovando sus normativas con cierta frecuencia, entre 2 a 6 años de utilidad.

Por otro lado, en la Tablas 1 y 2 se hace una comparación entre los principales documentos de la literatura consultada, cabe destacar que se incluye la información que estaba disponible en las bases de datos. Se puede observar que algunos manuales clasifican y describen los daños encontrados en la inspección especificando

las unidades de medida en formularios de registro de daños. Por otra parte, no todos recomiendan la cuantificación de un índice del pavimento ni contemplan metodologías para selección de muestras, en gran parte desarrollan procedimientos netamente visuales y utilizan en ocasiones formularios digitales para la inspección.

Tabla 1. Documentos de inspección de pavimentos Parte A. Fuente: Elaboración propia

Nombre del manual	Tipo de registro de inspección	Requerimiento de muestras	Utilización de índices	Entidad que elaboró el documento	País/año
Distress identification manual for the long-term pavement performance program	Uso de formularios	No requiere muestras	No utiliza índices	US Department of transportation-Federal highway administration	USA - 2014
Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados	Uso de formularios	Requiere recolección de muestras	No utiliza índices	Gobierno de Chile-Departamento de gestión vial	Chile - 2016
Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras	No requiere del uso de formularios	No requiere del uso de muestras	No utiliza índice	Consejo sectorial de ministerio de transporte de Centroamérica-secretaría de integración económica	Guatemala - 2010
Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles	Uso de formularios	No requiere muestras	Posee un índice con la descripción del análisis de los datos	Universidad Nacional de Colombia-INVIAS	Colombia - 2006
Pavemet Distress survey manual	Uso de formularios	No requiere muestras	No utiliza índice	Oregon department of transportation	USA - 2014

Tabla 2. Documentos de inspección de pavimentos Parte B. Fuente: Elaboración propia

Nombre del manual	Tipo de registro de inspección	Requerimiento de muestras	Utilización de índices	Entidad que elaboró el documento	País/año
Standard practice for roads and parking lots pavement condition index survey	No requiere de formularios	No requiere de muestras	Utiliza índice para el PCI	American society for testing and materials (ASTM)	USA - 2014
Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México	No requiere de formularios	No requiere de muestras	Utiliza índice para el PCI	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)	México - 2014
SDDOT's enhanced pavement management system visual distress survey manual	Uso de formularios	Requiere de muestras	Utiliza índice: pavement deficient index	South Dakota department of transportation	USA - 2012
Detección y cartografiado automatizado de posibles desperfectos de la red vial de carreteras	No requiere de formularios	No requiere de muestras	No utiliza índice	XVII convención y Feria Internacional	Cuba - 2018
Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados	Uso de formularios	No requiere muestras	Utiliza índice PCI	Dirección de Vialidad	Chile - 2016

Por otro lado, en comparación del manual de INVIAS 2006 y otros documentos consultados, difieren en ciertas mediciones de severidad de daños en el pavimento, como se evidencia a continuación:

Para la **fisuras por reflexión** en articulaciones la severidad en el manual 2006 es considerablemente alta, puesto que es bastante limitada en comparación a los rangos de otros manuales (véase Tabla 3).

Tabla 3. Comparativo del nivel de gravedad de las fisuras por reflexión. Fuente: Elaboración propia

Tipo de manual / Nivel de gravedad	Manual de inspección de pavimentos flexibles	Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras	Distress identification manual for the long-term pavement performance program
BAJO	Ancho < 1 mm	son fisuras sin sellar con un ancho ≤ 5 mm, sin desprendimiento de la carpeta asfáltica o que estén selladas pero con dificultad para el vehículo	Ancho ≤ 6 mm sin sellar o fisuras selladas en buen estado con ancho indefinido.
MEDIO	Ancho entre 1 y 3 mm.	fisuras sin sellar entre > 5 mm y ≤ 15 mm, con un poco de desprendimiento de la capa asfáltica o con fisuras aleatorias de baja gravedad.	Ancho entre 6 a 19 mm sin sellar o fisuras de ancho medio ≤ 19 mm y grietas que se encuentren adyacentes de baja gravedad.
ALTO	Ancho > 3 mm.	fisuras sin sellar > 15 mm o fisuras aleatorias de alta gravedad, con agrietamiento y desprendimiento de parte de la carpeta asfáltica	Ancho > 19 mm o fisura con ancho medio ≤ 19 mm y fisuras que se encuentren de forma adyacente de moderada o alta gravedad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone utilizar para la severidad: Baja, Fisuras sin sellar < 4 mm, selladas o sin desprendimiento; Media, Fisuras sin sellar entre > 4 mm y ≤ 12 mm, leve desprendimiento o fisuras de baja severidad; y Alta, Fisuras sin sellas > 12 mm, con agrietamiento o fisuras de alta severidad.

Para las **fisuras transversales**, se compara la severidad considerada en el manual de INVIAS del 2006 respecto a otras normas, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparativo del nivel de gravedad de las fisuras transversales según otros manuales. Fuente: Elaboración propia

Tipo de manual / Nivel de gravedad	Manual de inspección de pavimentos flexibles	Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras	Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados	Distress identification manual for the long-term pavement performance program
BAJO	Ancho < 1 mm	ancho \leq 6 mm sin sellar	Ancho < 3 mm o fisuras selladas en buen estado con ancho indeterminado.	Ancho \leq 6 mm sin sellar o fisuras selladas en buen estado con ancho indefinido.
MEDIO	Ancho entre 1 y 3 mm.	Ancho entre > 6 mm y \leq 19 mm sin sellar y con agrietamiento aleatorio adyacente de baja gravedad menor a 0.3 m de la primera fisura	Ancho entre 3 y 20 mm o fisuras de ancho medio \leq 20mm rodeadas de fisuras de baja severidad.	Ancho entre 6 a 19 mm sin sellar o fisuras de ancho medio \leq 19 mm y grietas que se encuentren adyacentes de baja gravedad que se encuentren < 0.3 m de la primera fisura transversal.
ALTO	Ancho > 3 mm.	Ancho > 19 mm sin sellar y fisuras aleatorias adyacente de alta gravedad menor a 0,3 m de la fisura inicial.	Ancho > 20 mm o fisuras de ancho medio \leq 20 mm rodeadas de fisuras de alta y media severidad.	Ancho > 19 mm o fisura con ancho medio \leq 19 mm y fisuras que se encuentren de forma adyacente de moderada o alta gravedad y que sean < 0,3 m de la primera fisura transversal.

Por lo anterior, se observa que el manual del INVIAS considera se severidad baja fisura de 1 mm de ancho, lo cual es casi imperceptible para el inspector, por lo que se propone utilizar: Bajo, fisuras sin sellar \leq 4 mm o fisuras selladas con ancho indefinido; Medio, fisuras sin sellar > 4 mm a \leq 15 mm con fisuras de baja severidad; y Alto, fisuras > 15 mm sin sellar con fisuras de media-alta severidad.

Para las **fisuras longitudinales** en la clasificación del nivel de gravedad, el Manual de Inspección de Pavimento Flexible sigue siendo bastante conservador con respecto a otros manuales, como se observa en la Tabla 5:

Tabla 5. Comparativo del nivel de gravedad de las fisuras longitudinales según diferentes manuales.
Fuente: Elaboración propia

Tipo de manual / Nivel de gravedad	Manual de inspección de pavimentos flexibles	Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras	Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados	Distress identification manual for the long-term pavement performance program
BAJO	Ancho < 1 mm	ancho \leq 3 mm sin sellar o fisuras selladas en buen estado con ancho indefinido.	Ancho < 3 mm o grietas selladas en buen estado.	Ancho \leq 6 mm sin sellar o fisuras selladas en buen estado con ancho indefinido.
MEDIO	Ancho entre 1 y 3 mm.	Ancho entre > 3 mm y \leq 6 mm sin sellar o fisuras con ramificaciones o fisuras erráticas.	Ancho entre 3 y 20 mm o fisuras de ancho medio \leq 20 mm rodeadas de fisuras de baja severidad.	Ancho entre 6 a 19 mm sin sellar o fisuras de ancho medio \leq 19 mm y grietas que se encuentren adyacentes de baja gravedad que se encuentren < 0.3 m de la primera fisura transversal.
ALTO	Ancho > 3 mm.	Ancho > 6 mm sin sellar o fisuras erráticas que tiendan a formar una forma de malla.	Ancho > 20 mm o fisuras de ancho medio \leq 20 mm rodeadas de fisuras de alta y media severidad.	Ancho > 19 mm o fisura con ancho medio \leq 19 mm y fisuras que se encuentren de forma adyacente de moderada o alta gravedad y que sean < 0,3 m de la primera fisura transversal.

De igual forma, teniendo en cuenta la literatura, se propone utilizar severidades de: Bajo, fisuras sin sellar \leq 3 mm o fisuras selladas con ancho indefinido; Medio, fisuras sin sellar > 3 mm a \leq 12 mm con fisuras de baja severidad formando ramificaciones; y

Alto, fisuras > 12 mm sin sellar con fisuras de media-alta severidad formando una malla.

Cabe resaltar que los manuales de otros países de Latinoamérica y USA al ser más reciente contemplan en ellos metodologías actuales para la realización de la inspección visual en los pavimentos flexibles, también consideran otros tipos de fallas y daños que se pueden presentar en el tramo analizado. Incluso ciertos países no poseen un manual exclusivo para la inspección de vías, esto lo consideran en algún capítulo de su norma principal de construcción de carreteras expedidos por su respectivo ministerio de transporte, es decir, que otros países no se enfocan tanto en la inspección de vías, alguna simplemente asisten a las áreas con patologías cuando la población presenta notificación al respecto y utilizan procedimientos básicos como el reparcho o incluso repavimentación, sin tener en cuenta alternativas más económicas o procedimientos de prevención de estos daños que pueden llegar a ser graves.

6. ESTRUCTURACIÓN DE LA PROPUESTA DEL MANUAL

A partir del contenido del manual de 2006, el cual se evidencia en el Anexo V, la propuesta de actualización pretende la introducción de nuevas definiciones de daños y fallas que no eran contemplados en esta norma vigente; cabe destacar que las inclusiones realizadas en el 2013 a este manual no fue una actualización formal como lo declaró el director del Invias en ese año.

Siguiendo la estructura del apartado 5 desarrollo metodológico de este documento, se incluyen las definiciones de los daños especificados en los subtítulos del primero al octavo, en el contenido del manual del 2006 en el capítulo 1 “Definición de los tipos de daños en pavimentos flexibles”, donde se incluyen las imágenes también, como se observa en la Tabla 6:

Tabla 6. Adición de daños. Fuente: Elaboración propia

Apartado del manual INVIAS 2006	Daños por incluir desde el documento actual desde el apartado 5.2.1.
1.1 Fisuras	Subtítulo 1. Fisura por fatiga Subtítulo 5. Fisura estructural Subtítulo 6. Fisuras térmicas
1.2 Deformaciones	Subtítulo 3. Desnivel del pavimento Subtítulo 8. Shoving o empuje
1.3 Perdida de las capas de la estructura	Subtítulo 4. Presencia de agregados
1.4 Daños superficiales	Subtítulo 2. Desintegración de bordes Subtítulo 7. Deterioro del parche

Luego, en el mismo capítulo 1 del manual de 2006, se cambian las siguientes definiciones de ciertos daños del pavimento de los subtítulos noveno al decimo tercero, como se observa en la Tabla 7:

Tabla 7. Modificación de definiciones. Fuente: Elaboración propia

Apartado del manual INVIAS 2006	Daños por incluir desde el documento actual desde el apartado 5.2.1.
1.1.3. Fisura por reflexión	Subtitulo 11. Fisura por reflexión en las articulaciones
1.1.1. Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT)	Subtitulo 12. Fisuras transversales y longitudinales
1.3.1 Descascaramiento (DC)	Subtitulo 10. Descascaramiento
1.4.2. Pérdida de agregado (PA)	Subtitulo 9. Desprendimiento
1.4.3. Pulimiento del agregado (PU)	Subtitulo 13. Pulimiento del agregado

Para la recolección de información de la inspección visual de pavimentos, se propone un nuevo formato para el registro de daños, el cual se evidencia en la Figura 26 de este documento, el cual reemplazaría al establecido en el manual de INVIAS especificado en la Figura 29 de ese manual en el apartado 2.1 “Formato de inspección”. Y la segunda parte del formato se evidencia en el anexo IV, que sería la continuación del nuevo formato.

Cabe resaltar que se recomienda utilizar instrumentos adecuados para las mediciones como flexómetro, deformímetros y fisurómetros para medir los desplazamientos y cambios de grietas, fisuras, juntas de dilatación, entre otros (DIOBCA, 2011).

Adicionalmente, el manual del INVIAS del 2006 establece una metodología para determina el porcentaje de afectación de cada daño en la zona total estudiada, de manera que así se determina cuál daño se encuentra afectando en mayor proporción la vía. Este análisis se realiza por separado, es decir, primero se analizan los daños

ocurridos a los carril sin incluir los daños superficiales, luego se analizan los daños superficiales de los carriles y por último se analiza el daño en berma.

Pero, esta metodología no permite identificar de forma directa el estado total de la vía sino el porcentaje de presencia de cada daño. Por este motivo, se adiciona en la sección de los comentarios del formato se incluye en el reporte de daños el cálculo del índice de condición del pavimento (PCI) el cual hace parte de la metodología planteada en la ASTM D 6433-20, este método permite evaluar y clasificar el estado del pavimento, también proporciona información acerca del rendimiento de éste para poder validar o realizar las mejoras que se requieran.

El PCI es un valor numérico determinado del análisis de los daños observados en el pavimento. Este es un valor que va desde el cero (0) a cien (100), siendo cero el indicador para un pavimento fallado y cien para uno en excelente estado (véase Figura 33). Además, este índice cuenta con una descripción del nivel de servicio que va desde F para el peor hasta A para el excelente y propone una intervención dependiendo del nivel de servicio (Alzate, 2019).

	VALOR PCI (estado de la vía)	Nivel de servicio	Intervención propuesta
100	EXCELENTE	A	Mantenimiento rutinario
85	MUY BUENO	B	Mantenimiento preventivo
70	BUENO	C	Procesos leves de rehabilitación
55	REGULAR	D	Procesos considerables de rehabilitación
40	MALO	E	Procesos considerables de rehabilitación
25	MUY MALO	F	Reconstrucción
10	FALLADO	F	Reconstrucción
0			

Figura 33. Tabla indicativa del valor de PCI, nivel de servicio e intervención propuesta. Tomado de (ASTM, 2020)

El único inconveniente que posee esta metodología para poder ser aplicada en el contexto Colombia es que cuenta con una cantidad menor de daños que se analizan a comparación del manual del INVIAS el cual considera un mayor número de estos, además, cada daño cuenta con un ábaco en donde se incluye las curvas de severidad con el objetivo de determinar el valor deducible con el cual se calcula el valor máximo de deducción corregido (CDV). Debido a lo anterior, para poder aplicar esta metodología se deberá realizar estudio que permitan determinar y construir los ábacos faltantes para los daños que no considera la ASTM.

En el capítulo 3 “Reporte de daños” del manual del 2006 de INVIAS, se propone adicional un nuevo subapartado 3.3 llamado “Procedimientos de reparación de daños” los cuales están especificados en el numeral 5.2.4 de este documento, así se incluyen metodologías para el sello de fisuras y grietas, bacheo profundo y superficial, asfalto de refuerzo, lechada asfáltica, uso de microcarpeta y sello mediante emulsiones , estos procedimientos incluidos en la renovación del manual son anexados en el reporte de la inspección como recomendaciones de reparación que se deberán hacer según las fallas encontradas en el tramo vial analizado. Así mismo, se incluye en el capítulo 3 del manual, un subapartado 3.4 llamado “Procedimientos de inspección” el cual está explicado en el apartado 5.2.2 de este documento, se incluyen la metodología basada en el vehículo multifunción, uso de inteligencia artificial, vehículos aéreos no tripulados con fotometría, scanner laser tridimensional, cualquiera de estos dependerá de las características particulares del área de estudio así como del presupuesto disponibles, además que de igual forma se considera la metodología tradicional de la visita en campo por parte del inspector.

Todas estas inclusiones a tener en cuenta se determinaron a partir de lo definitivo en la matriz de validación de las Tabla 7 y 8.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dando cumplimiento al cuarto objetivo específico de analizar la propuesta de actualización y lo que contiene, además teniendo en cuenta la vigencia del manual actual de inspección, es evidente que desde el 2006 hasta la actualidad han salido al mercado diversos dispositivos que permiten hacer inspecciones de vías de forma más eficientes y que utilizan nuevas tecnologías, incluso permitiendo hacer la revisión de manera remota desde la oficina. Además, se hace necesario que el manual enriquezca su glosario de definiciones debido a que existen fallas y daños viales que no están contemplados en la norma vigente, se incluyen también medidas preventivas y actividades de reestructuración para las fallas que se encuentren.

Sumado a esto, los procedimientos para el registro de daños en el pavimento deben reestructurarse de manera que sean entendibles con mayor facilidad y que se logre hacer un mejor informe para el reporte de daños, así como también el análisis de severidad y la propuesta de intervención.

Además, teniendo en cuenta que el país presenta diversos pisos térmicos, es importante considerar que las fallas en las vías de asfalto de las zonas frías podrían ser significativamente diferentes a las encontradas en carreteras de clima tropical, esto debido a que las condiciones ambientales pueden llegar a ser muy diferentes y las afectaciones por agentes externos es de intensidad variable.

El manual ya tiene más de una década de vigencia, a pesar de haber sido modificado en el 2013 pero no fue actualizado como tal, por ende es inminente que sea renovado y comience a implementar las nuevas tecnologías que mejoran los procedimientos de inspección, así como también considerar lo que hacen otros países respecto a este tema e igualar los procedimientos o idear mejores.

Esta propuesta de renovación del manual es un gran aporte al país debido a que utilizar nuevos métodos de inspección hará más fácil y rápida la evaluación de daños en carreteras principales y secundarias del país que son las más transitadas en el país.

Para considerar los cambios que se realizan en el manual de 2006, se estructura la propuesta según la siguiente matriz de validación especificada en las Tablas 8 y 9:

Tabla 8. Parte A de matriz de validación. Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICA	Adaptable al contexto colombiano	Lo tienen en cuenta otros manuales	Tiene alta aplicabilidad en otros países	Requiere mucho conocimiento para su aplicabilidad	Requiere profesionales especiales para su implementación	Su aplicación requiere alta inversión económica	Observaciones	Validación
Fisura por fatiga	SI	SI	SI	NO	NO	NO	Estos daños no están contemplados en el actual manual del Invias 2006 pero si son tenidos en cuenta en manuales de otros países con condiciones similares a las de Colombia, por ende se adaptan al contexto, además que no requieren de procedimientos especializados ni inversión para ejecutarlos en el análisis visual de un tramo vial.	Se incluye
Desintegración de bordes	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Desnivel del pavimento	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Presencia de agregados	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Fisura estructural	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Fisuras térmica	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Rutting	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Deterioro del parche	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Baches en bermas	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Shoving o empuje	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Desprendimiento	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Descascaramiento	SI	SI	SI	NO	NO	NO	Estas fallas en el pavimento flexibles si están incluidas en el manual vigente de 2006, pero sus definiciones no son de fácil entendimiento, por ende se hace necesario fortalecer esta sección del manual y enriquecer la información que contiene, así como también sus especificaciones y caracterización de estos daños.	Se incluye
Fisura por reflexión	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Fisuras transversales	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Fisuras longitudinales	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye
Pulimiento del agregado	SI	SI	SI	NO	NO	NO		Se incluye

Tabla 9. Segunda parte B de matriz de validación. Fuente: Elaboración propia

CAMBIOS Y ADICIONES	CARACTERÍSTICA	Adaptable al contexto colombiano	Lo tienen en cuenta otros manuales	Tiene alta aplicabilidad en otros países	Requiere mucho conocimiento para su aplicabilidad	Requiere profesionales especiales para su implementación	Su aplicación requiere alta inversión económica	Observaciones	Validación
Nuevo formato de registro de daños	SI	SI	SI	NO	NO	En cierta medida	El nuevo formato para el registro de daños se presenta de forma más detallada para llevar a cabo la inspección visual, de manera que se caracteriza la vía según tramos analizados, así como también los diversos daños encontrados, además, cuenta con una tabla anexa para determinar la severidad de las fallas encontradas y se incluyen los nuevos daños que se adicionan.	Se incluye	
Reporte de daños	SI	SI	SI	En cierta medida	NO	NO	A partir de la caracterización de daños, se determina el porcentaje de afectación de la vía y a partir de este se da una descripción de la carretera y se propone una intervención conveniente que deba ser aplicada.	Se incluye	
Procedimientos de intervención	SI	SI	SI	En cierta medida	NO	En cierta medida	El actual manual no posee una sección en cuanto a los procedimientos de intervención que se pueden realizar, los cuales van ligados según sean los daños encontrados y el reporte de fallas entregado.	Se incluye	
Nuevos procedimientos de inspección	En cierta medida	En cierta medida	SI	SI	SI	SI	El actual procedimiento de inspección se desarrolla de forma presencial y con cartera de daños durante observación, entre estos procedimientos algunos podrían ser considerados aplicables al país y otros no debido al alto costo de inversión que se requiere para equipos y herramientas.	Se incluye en cierta medida	

La validación de esta matriz se hace de forma cualitativa, y los cambios y adiciones que se aceptan para incluirse en la propuesta de actualización son aquellos que tienen adaptabilidad al contexto colombiano, son usados en otros países y aprobados por su respectiva normatividad, son de manejo común para cualquier profesional de ingeniería civil y que además no se requiere demasiada inversión económica para implementar estos nuevos procedimientos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone incluir los daños mencionados en el apartado 5.2.1 de este documento, debido a que no se contemplan en el manual actual nacional pero si en otros documentos oficiales de otros países, que tienen una vigencia no superior a 8 años; esta inclusión debe hacerse en el capítulo 1 del manual de INVIAS.

Además, en esta propuesta se incluye un nuevo formato para el registro de daños (véase apartado 5.2.3) que abarca de forma más organizadas los datos recolectados de un tramo vial a partir de la inspección visual que sea ejecutada bajo cualquier metodología y esto se debe incluir en el capítulo 2 del manual de INVIAS.

Por otro lado, en el capítulo 3 del manual INVIAS debe agregar lo reportado en el apartado 5.2.4 de este documento, donde se especifican los procedimientos de intervención que pueden ser aplicados en los diferentes daños que puedan encontrarse y el apartado 5.2.2 se desarrollen los procedimientos idóneos para la realización de la inspección visual tal como se evidencian.

Cabe destacar que la estructuración de la propuesta de actualización se basa en los manuales e investigaciones consultados a nivel nacional e internacional, donde se evalúan diferentes características y contenido de cada documentos analizado. Además, a pesar de que el manual del INVIAS tuvo unas adiciones en el año 2013, esto no fue considerado como actualización formal y por ende el manual sigue con fecha de publicación del 2006.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La manual vigente del INVIAS 2006, a la fecha aún se sigue implementando para la inspección de vías de pavimento flexible en el país, pero debido a que lleva más de una década, se hace necesario renovarlo y actualizarlo según procedimientos y metodologías que se llevan a cabo en la actualidad según estudios de otros países e investigaciones en el tema.

Por lo anterior, este documento estructura una propuesta de actualización de este manual teniendo en cuenta criterios definidos para la validación de lo que se incluye en el marco de la renovación. Entre las actualizaciones propuestas se encuentran: aumentar los daños analizados, mejorar algunas definiciones y criterios de severidad o gravedad de estos, modificar los formatos de campo, adicionar propuestas de intervención y también considerar nuevas metodologías de inspección.

Entre los daños que deben adicionarse están: fisuras por fatiga, fisura estructural, fisura térmica, desintegración de bordes, deterioro del parche, empuje, desprendimiento, presencia de agregados y desnivel del pavimento. Además, se incluyen criterios de severidad para ciertos daños que no cuantificaban esta característica. Estas actualizaciones son incluidas debido a que el manual actual no las contemplaba y son de gran importancia al momento de analizar tramos viales.

También, se propone actualizar el formato empleado para el reporte de daños, con el objetivo de hacer informes más detallados al aplicar cualquier metodología de inspección. Así mismo, se propuso incorporar una sección de intervenciones incluidas en la propuesta de renovación.

Adicionalmente, la aplicación de los métodos actuales para la inspección del pavimento permitiría disminuir los tiempos de toma de datos, la cantidad de personal en campo, el cierre de la vía, aumentar la seguridad de los inspectores y agilizar el análisis de datos. Pero para poder implementar alguno de los sistemas (IA, UAV, vehículo multifunción, SFM, Scanner laser 3D) se debe realizar una inversión no solo

en los equipos sino en los software para el análisis de datos y en las capacitaciones del personal para su correcto uso e interpretación, por esto se recomienda utilizar drones para la inspección visual del tramo vial que se analice, siendo este el más accesible de los procedimientos que utilizan tecnología moderna.

Se concluye que es importante realizar una evaluación preliminar de los posibles métodos de intervención teniendo en cuenta el análisis realizado ya que permitiría agilizar el proceso. El actual manual e Invias 2006 contempla en gran parte conceptos y definiciones de los daños que se pueden encontrar en una vía de pavimento flexible, así como los formatos para hacer el registro de la inspección, pero no contiene especificaciones claras en cuanto al manejo de estas fallas y las formas de realizar la práctica de la inspección, diversos aspectos quedan a criterio del profesional encargado.

Cabe resaltar que para el 2020, el Director Técnico del INVIAS, Guillermo Toro, anunció en un audio publicado en la página oficial del instituto, que se estaban realizando trabajos para la actualización y revisión de 50 artículos del manual de Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras; y para la fecha en el año 2021 se encuentra habilitada la recepción de comentarios para la renovación de cinco manuales del INVIAS, entre los cuales no se encuentra el de inspección visual de pavimento flexible, solo se tienen en proceso de actualización la norma de ensayo de materiales para carreteras, el manual de mantenimiento de carreteras 2016 volumen 1 y 2, manual de estabilidad de taludes geotecnia vial 1998 y el de diseño geométrico de carreteras 2008. Por lo anterior, se evidencia que para este año no se tiene programada la actualización del manual del 2006 de inspección visual por lo que esta investigación es de gran contribución para el proceso de modernización del país en materia de infraestructura vial debido a que se estructura con bases sólidas y así promover la inclusión de la opinión pública y participar activamente del proceso mediante este documento.

REFERENCIAS

360enConcreto. (2020). *Cómo prevenir las fisuras en los pavimentos de concreto.*

Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/prevenir-fisuras-en-los-pavimentos-de-concreto#:~:text=Las%20fisuras%20en%20el%20concreto,manifiestan%20generalmente%20en%20las%20superficies>

Alzate, S. (2019). *Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones.* Universidad EIA, Envigado.

Obtenido de https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2344/AlzateSair_2019_SistemaClasificaci%c3%b3nDa%c3%b1os.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Andrade, D., Hernández, K., & Salomón, M. (2020). *Revisión de las metodologías de evaluación y tipos de rehabilitación de las patologías presentes en pavimentos flexibles.* Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/28526>

Arqhys. (2012). *Desintegración del pavimento.* (E. d. profesional, Productor) Obtenido de Portal de Arquitectura : <https://www.arqhys.com/construccion/pavimento-desintegracion.html>

Asfaltos Brimax. (2020). *Sellador de grietas.* Obtenido de <http://www.asfaltoliquidorc-250.com/sellador-de-grietas/>

ASTM. (2020). Standard practice for roads and parking lots pavement condition index. *ASTM D 6433-20*, 1-48.

ASTM D6433-20. (2020). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.* ASTM International.

ASTM International. (Marzo/Abril de 2020). *Drone Pilot Training Standard.* Obtenido de <https://sn.astm.org/?q=update/drone-pilot-training-standard-ma20.html>

- Berrones Sanz, L. (2017). Análisis de los accidentes y las lesiones de los motociclistas. *GACETA MÉDICA DE MÉXICO*, 662-671.
- Bilodeau, J., & Doré, G. (2017). Flexible pavement damage during spring thaw: A field study using the falling weight deflectometer. *NRC Research Press*, 45, 277-234. doi:dx.doi.org/10.1139/cjce-2017-0465
- Céspedes, A. (2018). *DETECCIÓN Y CARTOGRAFIADO AUTOMATIZADO DE POSIBLES DESPERFECTOS DE LA RED VIAL DE CARRETERAS*. Informática XVII Convención y feria internacional , La Habana, Cuba. Obtenido de <http://www.informaticahabana.cu/sites/default/files/ponencias2018/GEO027.pdf>
- Chen, X., & Li, J. (2016). *A FEASIBILITY STUDY ON USE OF GENERIC MOBILE LASER SCANNING SYSTEM FOR DETECTING ASPHALT PAVEMENT CRACKS*. Prague, Czech Republic: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, XXIII ISPRS Congress,.
- Choquecota, F. (2020). *Evaluación De Las Causas Del Deterioro Prematuro Del Pavimento Flexible De La Carretera Puno-Mañazo-Huataqita De La Región De Puno*. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4798>
- Coenen, T., & Goiroo, A. (2017). A review on automated pavement distress detection methods. *Cogent Engineering*, 4(1). Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2017.1374822>
- CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA. (2008). *CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manualfallas.pdf>

- Constructora ProyecPlus. (15 de Febrero de 2016). *Factores que afectan al pavimento flexible*. Obtenido de <https://proyecplus.blogspot.com/2016/02/factores-que-afectan-al-pavimento.html>
- Costa, A. (2019). Patologías de los pavimentos. Entrega 04. *Revista Asfalto y Pavimentación*, IX(32), 29-36. Obtenido de <https://asefma.es/wp-content/uploads/2019/03/29.patologias-1-fusionado-comprimido.pdf>
- Cubero, A., Rodriguez, F., Villatoro, R., Olivares, J., & Palomares, J. (2017). Efficient pavement crack detection and classification EURASIP. *ournal on Image and Video Processing*, 2017(39).
- DIOBCA. (2011). *Como medir grietas y fisuras*. Obtenido de <https://diobca.wordpress.com/2011/01/26/como-medir-grietas-y-fisuras/>
- Dirección de Vialidad. (2016). *INSTRUCTIVO DE INSPECCIÓN VISUAL*. Gobierno de Chile.
- Dirección de Vialidad. (2016). *Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados*. Chile. Recuperado el 12 de febrero de 2021, de <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/INSTRUCTIVO%20DE%20INSPECCION%20VISUAL%20DE%20CAMINOS%20PAVIMENTADOS%20-%20DICIEMBRE%202016.pdf>
- Echaveguren, T., Vargas, S., Concha, E., & Soto, A. (2011). *Metodología de inspección visual para sistema de gestión de pavimentos urbanos SIGMAP*. Obtenido de Echaveguren, T., Vargas, S., Concha, E., & Soto, A. (2001). http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/46Echavegurengestionpavimentosurbanos.pdf.
- El Sol de San Luis. (2019). *Aplicará JEC programa emergente de bacheo en caminos cañeros de la zona huasteca*. Obtenido de

<https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/aplicara-jec-programa-emergente-de-bacheo-en-caminos-caneros-de-la-zona-huasteca-3140110.html>

Estatuto General de COnt ratación de la Administración Pública. (Ley 80 de 1993).

Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1790106#:~:text=LEY%2080%20DE%201993&text=ARTICULO%201o.,contratos%20de%20las%20entidades%20estatales>.

Gonzales, J. (2016). *Evaluación de pavimentos en la conservación de carreteras en México*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Hoang. (2018). An Artificial Intelligence Method for Asphalt Pavement Pothole Detection Using Least Squares Support Vector Machine and Neural Network with Steerable Filter-Based Feature Extraction. *Hindawi - Advances in Civil Engineering*, 2018, 12. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2018/7419058>

Hoang, N.-D. (2018). An Artificial Intelligence Method for Asphalt Pavement Pothole Detection Using Least Squares Support Vector Machine and Neural Network with Steerable Filter-Based Feature Extraction. *Advances in Civil Engineering*, 12.

<http://oi68construcciones.com/>. (2017). *MICROCARPETA SLURRY SEAL*. Obtenido de <http://oi68construcciones.com/services/microcarpeta-slurry-seal/>

Ingeniería Salvador. (2009). *Deterioros de Pavimentos Flexibles*. Obtenido de <https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/03/deterioros-de-pavimentos-flexibles.html>

INVIAS & Universidad Nacional de Colombia. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*. Bogotá: Ministerio de transporte.

INVIAS. (2016). *Instructivo para diligenciamiento del formato de la ficha técnica*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y->

documentos/documentos-tecnicos/5947-instructivo-para-el-diligenciamiento-de-la-ficha-tecnica-de-informacion-del-sipucol/file

INVIAS. (2021). *Documentos Técnicos para comentarios*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/43-inicio/4132-documentos-tecnicos-para-comentarios>

Kitaha, A., & Biligiri, K. (2017). Algoritmo de proceso de priorización-optimización para administrar redes de pavimento durante la no disponibilidad de datos históricos. *Journal of Testing and Evaluation*, 45(2), 546-563. Obtenido de [https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2242/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/TEST EVAL/PAGES/JTE20150287.htm](https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2242/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/TEST_EVAL/PAGES/JTE20150287.htm)

mantoasfalticoconstruya.com. (2021). *Emulsiones asfálticas*. Obtenido de <https://mantoasfalticoconstruya.com.pe/productos-mantos-asfalticos/emulsiones-asfalticas-venta/>

MIDEPLAN. (2015). *Metodología Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano*. Manual, Ministerio de Planificación y Cooperación División de Inversiones.

Ministerio de obras públicas. (2016). *Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.

Möller, H., Senserrick, T., Rogers, K., Sakashita, C., de Rome, L., Boufous, S., . . . Ivers, R. (2020). Crash risk factors for novice motorcycle riders. *Journal of Safety Research*, 93-101.

Oviedo Trespalacios , O., & Scott Parker, B. (2017). The sex disparity in risky driving: A survey of Colombian young drivers. *Traffic Injury Prevention*, 9-17.

Padilla, A. (2000). Capítulo 4. Deformaciones plásticas en capas de rodadura de pavimentos asfálticos. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-15.pdf?sequence=15&isAllowed=y#:~:text=4.->

,DEFORMACIONES%20PL%3%81STICAS%20EN%20CAPAS%20DE%20
RODADURA%20DE%20PAVIMENTOS%20ASF%3%81LTICOS.,los%20neu
m%3%A1ticos%20sobre%20el%20pavimento.

Pan, Y., Chen, X., Sun, Q., & Zhang, X. (2021). Monitoring Asphalt Pavement Aging and Damage Conditions from Low-Altitude UAV Imagery Based on a CNN Approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*. doi:10.1080/07038992.2020.1870217

PCM. (23 de Abril de 2021). *Pavimentos, conservación y microsuperficie S.A. de C.V.* Obtenido de MicroPavimento: <https://www.pcmmonterrey.com/micropavimento/>

Pérez, S. (2013). Utilización de geotextiles para el control de fisuras en pavimentos. *Revista Vial*. Obtenido de <https://revistavial.com/utilizacion-de-geotextiles-para-el-control-de-fisuras-en-pavimentos/>

Porras Diaz, H., Ramon Suarez, J., Mejia Melgarejo, Y., & Parra Rodriguez, J. (2014). *Sistemas automaticos para la adquisición de datos*. Bucaramanga.

Prietos Castellanos, B. J. (15 de Diciembre de 2017). el uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Pontfica Universidad Javeriana*, 18-46. doi:<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi>

Romero, E., Villarroel, S., Atencio, E., & Muñoz, F. (2020). Analysis of Optimal Flight Parameters of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Detecting Potholes in Pavements. *Applied science*, 10.

Sanchez, F. (2015). *Evaluación de pavimentos*.

SCT. (2014). *Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

SIECA. (2010). *MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS*. Secretaría de Integración Económica Centroamericana.

SIECA. (2010). *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. Guatemala: Agencia española de cooperación internacional para el desarrollo (AECID).

Suárez, J. (2012). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE DEFECTOS DE LOS PAVIMENTOS Y SU APLICABILIDAD EN CARRETERAS COLOMBIANAS. *Revista Digital Apuntes de Investigación*, 4. Obtenido de <http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/>

tecnocarreteras. (6 de agosto de 2012). *Gestión Avanzada de Pavimentos: Análisis estructural -> Índice de Fisuras y Deflexión Patrón (6/10)*. Obtenido de <https://www.tecnocarreteras.es/2012/08/06/gestion-avanzada-de-pavimentos-analisis-estructural-indice-de-fisuras-y-deflexion-patron-610/>

tecnocarreteras. (2013). *Uso de escáner láser en las escenas de accidentes de tráfico para ayudar a establecer mejor lo ocurrido*. Obtenido de <https://www.tecnocarreteras.es/2013/10/13/uso-de-escaner-laser-en-las-escenas-de-accidentes-de-trafico-para-ayudar-a-establecer-mejor-lo-ocurrido/>

Tipos de Fallas en Pavimento Flexible. (18 de mayo de 2014). Obtenido de <https://fallasenpavimentoflexible.blogspot.com/2014/05/tipos-de-fallas-en-pavimento-flexible.html>

Toro, G. (2020). Audio del Director Técnico del INVIAS, Guillermo Toro. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/3985-invias-inicia-actualizacion-de-50-especificaciones-de-construccion-de-carreteras>

US Department of Transportation. (2014). *Distress identification manual for the long-term pavement performance program*. Federal highway administration.

- Vivanco, M. (2017). Los manuales de procedimientos como herramientas de control interno de una organización. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(3). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000300038#:~:text=Los%20manuales%20de%20procedimiento%20son%20la%20mejor%20herramienta%2C%20id%C3%B3nea%20para,una%20manera%20eficaz%20y%20eficiente.
- Xin, Q., Qian, Z., Miao, Y., Meng, L., & Wang, L. (2017). Three-dimensional characterisation of asphalt pavement macrotexture using laser scanner and micro element. *Road Materials and Pavement Design*, 190-199. doi:10.1080/14680629.2017.1329874

ANEXOS

Anexo I. Consolidado de referencias relevantes. Parte A

Titulo	Autor/es	Resumen	Journal o Institución / País	Observaciones
Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados	(Dirección de Vialidad, 2016)	Este manual presenta un sistema completo de auscultación visual en el que se examinan unidades de muestreo en la vía o áreas continuas, siguiendo la metodología especificada por la Agencia Vial.	Dirección de Vialidad, Agencia Vial – Chile	Este documento es la actualización del anterior manual del 2015 y surge porque el gobierno mediante su campaña de inspeccion visual quiere mantener actualizada la bases de datos de la Direccion de vialidad en cuanto al estado estructural y características de los pavimentos en el país.
Metodología Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano	(MIDEPLA N, 2015)	El documento recopila aspectos fundamentales que deben ser considerados para la evaluación y formulación de proyectos de mantenimiento de vías urbanas. Presenta de forma simplificada una herramienta metodológica operativa que puede implementarse a nivel local y presenta la forma de análisis de los proyectos de mantenimiento así como su aplicación en pavimentos flexibles y de hormigón.	Ministerio de Planificación y Cooperación División de Inversiones – Chile	Con este documento se hizo un reconocimiento de los procedimientos aplicables para la conservación y rehabilitación de las vías urbanas pero pueden adaptarse al contexto del país, teniendo en cuenta que Chile es un país con condiciones relativamente similares en ciertas épocas del año y se desarrolla así un modelo de evaluación que permita la comparación de diversas políticas de mantenimiento.
Análisis comparativo de los métodos para la evaluación de defectos de los pavimentos y su aplicabilidad en carreteras colombianas	(Suárez, 2012)	Este artículo de investigación analiza y compara tres metodologías para la evaluación de daños en pavimentos flexibles, el primero es el la implementada por el manual de INVIAS 2006; luego el manual de condición de pavimento PCI y el método SHRP. Cada documento estudia los defectos en el pavimento, define un nivel de severidad y deterioro visible mediante la valoración subjetiva y proponen estrategias de rehabilitación y prevención.	Revista Digital Apuntes de Investigación - Colombia	A partir de este artículo se analiza la comparación realizada entre los tres métodos y presenta un panorama en relación a eficiencia de procedimientos tradicionales que son implementados para la auscultación en vías de pavimento flexible.
A feasibility study on use of generic mobile laser scanning system for detecting asphalt pavement cracks	(Chen & Li, 2016)	En esta investigación se muestra como utilizando nubes de puntos 3D hechas con un sistema móvil de escaneo laser (MLS) es posible la detección de grietas y daños en vías urbanas. Esta metodología permite identificar grietas de tipo longitudinal, aleatorias, transversal y cocodrilo.	ISPRS Congress-Prague, Czech Republic	En este estudio se demostró que el método funciona de forma eficiente pero tiene una limitación debido a que solo detecta grietas de gravedad moderada a grave (13 mm – 25 mm) según las clasificaciones del Ministerio de Transporte Ontario (MTO), esto dentro de una muestra de tramo de 200 a 300 m; al parecer la detección de grietas de severidad menor no son apreciables debido a capacidad de resolución de los instrumentos utilizados.

Anexo II. Consolidado de referencias relevantes. Parte B

Titulo	Autor/es	Resumen	Journal o Institución / País	Observaciones
An Artificial Intelligence Method for Asphalt Pavement Pothole Detection Using Least Squares Support Vector Machine and Neural Network with Steerable Filter-Based Feature Extraction	(Hoang, 2018)	Este artículo de investigación utiliza la inteligencia artificial (AI) para la detección de baches en la superficie de vías con pavimento flexible mediante el tratamiento de imágenes digitales. Esta detección de baches se logró con una precisión del 85%, esto serviría mucho para las agencias de transporte e inspectores de carretera para el estudio de daños viales.	Hindawi Advances in Civil Engineering - Vietnam	Este estudio presenta un gran avance tecnologico que puede ser aplicado en la inspeccion de baches en vias de pavimento flexible con una presicion bastante alta, cabe resaltar que este metodo puede ser considerado y adaptable al contexto colombiano, aunque por el gran costo economico que requiere probablemente se opte por metodologías más económicas.
Manual centroamericano de mantenimientos de carreteras	(SIECA, 2010)	Este manual surge debido a los acontecimientos climáticos (tormenta Mitch 1998) de la zona se hace necesario implementar normas técnicas aplicables a carreteras y así reducir la vulnerabilidad de sus vías. Este documento es una normativa para el mantenimiento de las vías del país e incorpora herramientas para la evaluación de riesgos y factores que contribuyen a disminuir la vulnerabilidad según diversos escenarios.	Secretaría de Integración Económica Centroamericana - Panamá	Este manual es una actualización de la versión anterior del 2004 que incorpora procedimientos de mantenimiento y prevención del deterioro vial, pero también tiene en cuenta el estudio de precios unitarios y una guía para la contratación de servicios.
Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México	(SCT, 2014)	Debido a la gran extensión de carreteras en el país, es necesaria la implementación continua de procedimientos de conservación vial las cuales se presentan en este manual, donde se exponen desde conceptos básicos de conocimiento general hasta prácticas de campo para atender la gestión de los daños viales.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes - México	En este documento se tienen en cuenta otros factores que pueda ocasionar daños en las vías y evalúa los costos que incurren en cuanto al funcionamiento de carreteras en mal estado y propicia el desarrollo económico, social y cultural, además de aportan nuevas definiciones y conceptos útiles para la investigación.

Anexo III. Collage de documentos utilizados



Anexo IV. Segunda parte del formato de inspección visual de pavimento flexible en campo.

TIPO DE DAÑO	UNIDAD DE MEDIDA	CONVEN	SEVERIDAD		
			BAJA	MEDIA	ALTA
FISURAS					
Fisura longitudinal	mm	FL	Fisuras sin sellar ≤ 3 mm o fisuras selladas con ancho indefinido	Fisuras sin sellar > 3 mm a ≤ 12 mm con fisuras de baja severidad formando ramificaciones	Fisuras > 12 mm sin sellar con fisuras de media-alta severidad formando una malla.
Fisura transversal	mm	FT	Fisuras sin sellar ≤ 4 mm o fisuras selladas con ancho indefinido	Fisuras sin sellar > 4 mm a ≤ 15 mm con fisuras de baja severidad	Fisuras > 15 mm sin sellar con fisuras de media-alta severidad.
Fisura en junta	mm	FCL, FCT	Ancho < 1 mm o sellado	Ancho entre 1 a 3 mm, sin sellar con fisuras de baja severidad	Ancho > 3 mm con alto desgaste y fisuras de media severidad
Reflexión en junta	mm	FJL, FJT	Fisuras sin sellar ≤ 4 mm, selladas o sin desprendimiento	Fisuras sin sellar entre > 4 mm y ≤ 12 mm, leve desprendimiento o fisuras de baja severidad	Fisuras sin sellar > 12 mm, con agrietamiento o fisuras de alta severidad
Fisura en media luna	mm	FML	Ancho < 1 mm o sellado	Ancho entre 1 a 3 mm, sin sellar con fisuras de baja severidad	Ancho > 3 mm con alto desgaste y fisuras de media severidad
Fisura de borde	m	FBD			
Fisura en bloque	mm	FB	Bloques formados sin definir con fisuras < 1 mm o selladas, sin desgaste	Bloques levemente definidos por fisuras entre 1 a 3 mm o sin sellar, desgaste leve	Bloques muy definidos por fisuras > 3 mm con alto desgaste
Piel de cocodrilo	mm	PC	Fisuras paralelas longitudinales con ancho ≤ 3 mm	Fisuras en bloques con desgaste ligero	Formación de bodes desgastados, puede llegar a presentar bombeo
Fisura por deslizamiento en capas	mm	FDC	Fisuras < 1 mm o selladas	Fisuras entre 1 a 3 mm (puede presentarse alrededor agrietamiento < 1 mm)	Fisuras > 3 mm (puede presentarse alrededor agrietamiento > 1 mm)
Fisura incipiente	mm	FIN	Sin grados de severidad asociados		
Fisura por fatiga	mm	FF	Se toma los niveles de severidad que las transvesales catalogandolas como fisuras de fatiga si se encuentran en la zona de la rueda y tienen longitud < 0.3 m.		
Fisura estructural	mm	FE	Se clasifican en angosta si tienen un ancho ≤ 3 mm y ancha > 3 mm. Tienen forma de línea recta o de piel de cocodrilo.		
Fisura térmica	mm	FTA	Se clasifican en angosta si tienen un ancho ≤ 3 mm y ancha > 3 mm. Tienen forma de línea recta.		

DEFORMACIONES					
Ondulaciones	mm	OND	Alto <10 mm	Alto entre 10 a 20 mm	Alto > 20 mm
Abultamiento	mm	AB			
Hundimiento	mm	HUN	Alto < 20 mm	Alto entre 20 a 40 mm	Alto > 40 mm
Ahuellamiento	mm	AHU	Alto < 10 mm	Alto entre 10 a 25 mm	Alto > 25 mm
Rutting	m	R	Sin grados de severidad asociados. Se debe registrar la profundidad cada 15,25 m medidos en borde recto		
DAÑOS SUPERFICIALES					
Desgaste superficial	mm	DSU	Perdida de textura uniforme. Presencia de irregularidades hasta 3 mm	Profundidad de irregularidades entre 3 a 10 mm, se puede ver agregado grueso. El vehiculo experimenta ruido y vibraciones.	Desitegración de la superficie, desprendimiento evidente con particulas sueltas en la calzada.
Perdida del agregado	mm	PA	Huecos con separacion > 0.15 m	Desprendimiento de agregado. Separaciones entre 0.05m a 0.15 m	Desprendimiento excesivo de agregado separados < 0.05 m. superficie con alta rugosidad y agregados sueltos visibles.
Pulimiento del agregado	-	PU	Sin grados de severidad asociados.		
Cabezas duras	-	CD			
Exudación	-	EX	Se presenta en franjas aisladas de espesor delgado que no cubre el agregado grueso	Exceso de asfalto que cubre parcialmente los agregados	Exceso de asfalto que cubre casi en totalidad los agregados. Tiene coloración muy negra y parece humedo.
Surcos	m ²	SU	Sin grados de severidad asociados.		
Presencia de agregados	m ²	PAG	Exposición de agregado en un 20% del total del tramo	Exposición del agregado entre 20% y 50% en el total del tramo	Exposición del agregado > 50%
DETERIORO DE CAPAS ESTRUCTURALES					
Descascaramiento	m ²	DC	Altura < 10 mm	Altura entre 10 a 25 mm	Altura > 25 mm
Bache	m ²	BCH	Profundidad < 25 mm. Desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.	Profundidad entre 25 a 50 mm, afecta la base asfáltica	Profundidad > 50 mm, afecta la base granular

Percheo	m ²	PCH	Buena condición y buen desempeño.	Presenta daños de severidad baja-media con bordes deficientes	Presenta daños con severidad alto. Reparación inmediata
Desintegración de bordes	m ²	DBD	Aparición de fisuras leves en el borde	Aparición de fisuras en el borde con indicios de descascaramiento	Desprendimiento en la zona del borde de la vía lo que reduce el ancho de la vía
Deterioro del parche	m ²	DPCH	Angustia de baja gravedad con rutting < 6 mm. el bombeo no es evidente y el material utilizado para realizar el parche no se desprende.	Angustia moderada con un rutting entre 6 a 12 mm	angustia alta con rutting > 12 mm, presencia de material diferente en la zona donde se encuentra ubicado el deterioro dentro del parche y bombeo evidente.
Baches en bermas	m ²	BB	Sin grados de severidad asociados.		
Empuje	m ²	EM	Leve vibración en el vehículo	Vibración fuerte	Vibración más. Se debe disminuir la velocidad
Desprendimiento	m ²	DES	Sin grados de severidad asociados.		
OTROS DAÑOS					
Corrimiento vertical de la berma ¹	m, h	CV	Alto < 6 mm	Alto entre 6 a 25 mm	Alto > 25 mm
Separación de la berma	m, s	SB	Ancho < 3 mm	Ancho entre 3 a 10 mm	Ancho > 10 mm
Afloración de agua ²	m	AFA	Sin grados de severidad asociados		
Afloración de finos ³	m	AFI			
Desnivel del pavimento	m ²	DP	Sin grados de severidad asociados. Sí es una vía a nivel de red este desnivel > 30 mm, si es una vía concesionada > 10 mm		
COMENTARIOS:					
¹ En el caso de las bermas, los daños que presentan deben registrarse con las mismas convenciones indicadas adicionando na "B" al final para diferenciarlas de los daños en el pavimento. Los daños reportados como separación y corrimiento vertical de la berma no requieren la adición de la "B" al final.					
² En el caso de los afloramientos en agua se mide en metros (m) la zona afectada cuando no tiene otro daño asociado, sin embargo, cuando el afloramiento se presenta donde hay otro daño, se reporta el daño y en las aclaraciones se reporta que también tiene afloración.					
³ Dado que el afloramiento en finos siempre se presenta donde existe un daño, se reporta el daño y en aclaraciones se coloca que también presenta afloramiento de finos.					

Anexo V. Tabla de contenido del manual de INVIAS 2006

INTRODUCCIÓN	
1. DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	1
1.1 FISURAS	1
1.1.1 Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT)	1
1.1.2 Fisuras en juntas de construcción (FCL, FCT)	2
1.1.3 Fisura por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto (F.J.L o F.J.T)	3
1.1.4 Fisuras en mediana (FML)	4
1.1.5 Fisuras de borde (FBD)	5
1.1.6 Fisuras en bloque (FB)	5
1.1.7 Piel de cocodrilo (PC)	7
1.1.8 Fisuración por deslizamiento de capas (FDC)	8
1.1.9 Fisuración incipiente (FIN)	9
1.2 DEFORMACIONES	10
1.2.1 Ondulación (OND)	10
1.2.2 Abultamiento (AB)	11
1.2.3 Hundimiento (HUN)	12
1.2.4 Ahuecamiento (AHU)	13
1.3 PÉRDIDA DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA	14
1.3.1 Descascaramiento (DC)	14
1.3.2 Baches (BCH)	14
1.3.3 Parche (PCH)	15
1.4 DAÑOS SUPERFICIALES	17
1.4.1 Desgaste superficial (DSU)	17
1.4.2 Pérdida de agregado (PA)	18
1.4.3 Pulimento del agregado (PU)	19
1.4.4 Cabezas duras (CD)	19
1.4.5 Exudación (EX)	20
1.4.6 Surcos (SU)	21
1.5 OTROS DAÑOS	21
1.5.1 Corrimiento vertical de la berma (CVB)	21
1.5.2 Separación de la berma (SB)	22
1.5.3 Afloramiento de finos (AFI)	23
1.5.4 Afloramiento de agua (AFA)	24
2. PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE DAÑOS	25
2.1 FORMATO DE INSPECCIÓN – PRIMERA PÁGINA	25
2.1.1 Parte 1 – Información General	25
2.1.2 Parte 2 – Deterioros	25
2.1.3 Parte 3 – Aclaraciones	30
2.1.4 Parte 4 – Geometría de la vía	30
2.1.5 Parte 5 – Comentarios	31
2.2 FORMATO DE INSPECCIÓN – SEGUNDA PÁGINA	31
2.2.1 Parte 1 – Tipos de Daño	31
2.2.2 Parte 2 – Comentarios	31
2.3 CAPTURA DE INFORMACIÓN EN EL FORMATO	31
2.3.1 Datos generales del corredor	31
2.3.2 Registro de daños, severidades y áreas	32
2.3.3 Aclaraciones y comentarios	34
3. REPORTE DE DAÑOS	36
3.1 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	36
3.1.1 Daños en los carriles	36
3.1.2 Daños en bermas	43
3.2 REPORTE DE DAÑOS EN EL INFORME	43
4. BIBLIOGRAFÍA	44