

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA
PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL
TRAMO VIAL DE LA CALLE 35 ENTRE CARRERA 4 NORTE Y CARRERA 15
ESTE, EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META**



Por:
Juan David Chacón Suarez
Yeffer Alexander Robayo Solís



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA
PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL
TRAMO VIAL DE LA CALLE 35 ENTRE CARRERA 4 NORTE Y CARRERA 15
ESTE, EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META**



Por:
Juan David Chacón Suarez
Yeffer Alexander Robayo Solís

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de ingeniero civil

Aprobado por:
I.C. Jessica Ramírez Cuello, M.Sc.
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

I.C. Manuel Eduardo Herrera Pabón, M.Sc.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

I.C. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

I.C. JESSICA RAMÍREZ CUELLO
Director Trabajo de Grado

I.C. ERIKA LORENA BECERRA BECERRA
Jurado

Villavicencio, 27 de octubre de 2020

DEDICATORIA

Nuestra tesis la dedicamos primero a Dios por permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas, a nuestras madres Rubiela Suarez y Sandra Solís quienes asumieron con gallardía el rol de madre y padre a la vez, donde a pesar de las adversidades nunca desfallecieron y siempre nos motivaron a seguir a delante y nunca rendirnos; a ellas quienes son la definición tangible de lo que es un amor incondicional.

A nuestro hermano, amigo y “padre”, Kennedy Suarez, quien fue nuestro respaldo incondicional y siempre creyó en nosotros en los tiempos difíciles, junto a nuestras madres siempre estuvo ahí al pendiente de cada una de nuestras dificultades y nos ayudó a superarlas de manera oportuna para lograr lo que antes era un sueño y hoy día es una realidad.

Gracias

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a la ingeniera Jessica Ramírez nuestra directora de tesis porque sin su ayuda y supervisión la realización de este trabajo de grado no hubiese sido posible.

Al ingeniero Juan Manuel Salgado, por su pasión, dedicación y compromiso a la hora compartirnos sus conocimientos, que aquí quedaron plasmados.

A la ingeniera Erika Becerra quien nos brindó las bases técnicas del mantenimiento vial y nos permitió dar comienzo a este trabajo aplicativo, sin ella no tendríamos una perspectiva clara de la importancia del mantenimiento vial en las carreteras.

A Alejandro Cárdenas, Alexandra Santos y Erika Clavijo, quienes se desvelaron con nosotros en la fase de recolección de datos para la ejecución de este proyecto.

RESUMEN

La avenida Catama (calle 35) es considerada una de las más importantes de la ciudad dado que conecta el centro de Villavicencio con diversas comunas, donde transitan 1567 vehículos/día [1] sobrepasando el tránsito de diseño estimado, causando el deterioro del pavimento, por esto es necesario realizar mantenimientos periódicos y rutinarios a la estructura.

Mediante la inspección visual aquí realizada, se logra identificar cada una de las afectaciones de la calle 35 entre carreras 4 norte y 15 este, para posteriormente generar la formulación de un plan de mantenimiento eficaz y así lograr una estructura de pavimento cómoda, segura y eficiente.

Para lograr la correcta formulación del plan de mantenimiento de la vía Catama se consideraron dos procedimientos a realizar empleando la metodología del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y Pavement Condition Index (PCI) de la sociedad americana para pruebas y materiales ASTM por sus siglas en inglés; con la metodología INVIAS se realiza la inspección visual y con el PCI se logra determinar el grado de afectación que posee la vía debido a la cantidad de patologías que en ella se presentan.

El levantamiento de daños aquí presente pone en evidencia que la estructura del pavimento de la vía Catama está severamente afectada y es necesario su intervención a través de un plan de mantenimiento de carácter prioritario. A lo largo del tramo de 2 kilómetros, se logra apreciar en su mayoría, deterioros como cabeza dura, fisuras y baches, por lo que el plan de mantenimiento se formuló principalmente basado este tipo de patologías.

Se establecieron dos tipos de mantenimiento óptimos los cuales tienen por objeto: aumentar la capacidad estructural de la vía, reducir costos (mantenimiento y construcción) y además podrían ser implementados en construcciones futuras en la ciudad.

Palabras Clave: INVIAS, mantenimiento, patología, pavimento, PCI, Severidad.

ABSTRACT

Catama Avenue (35th Street) is considered one of the most important in the city since it connects the center of Villavicencio with various communes, where 1,567 vehicles / day [1] transit, exceeding the estimated design traffic, causing the deterioration of the pavement, for this reason, it is necessary to carry out periodic and routine maintenance on the structure.

Through the visual inspection carried out here, it is possible to identify each one of the affectations of the 35th street between races 4 north and 15 east, to subsequently generate the formulation of an effective maintenance plan and thus achieve a comfortable, safe and efficient pavement structure .

To achieve the correct formulation of the maintenance plan for the Catama highway, two procedures were considered to be carried out using the INVIAS methodology and the Pavement Condition Index (PCI) of the American society for tests and ASTM materials; With the INVIAS methodology, a visual inspection is carried out and with the PCI it is possible to determine the degree of affection that the road has due to the number of pathologies that appear in it.

The damage survey here shows that the structure of the Catama road pavement is severely affected and its intervention is necessary through a priority maintenance plan. Along the 2-kilometer stretch, it is mostly possible to see deteriorations such as hard heads, fissures and potholes, so the maintenance plan was formulated mainly based on this type of pathology.

Two optimal types of maintenance were established which are intended to: increase the structural capacity of the road, reduce costs (maintenance and construction) and could also be implemented in future constructions in the city.

Key Words: INVIAS, maintenance, pathology, pavement, PCI, Severity.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
3.	JUSTIFICACIÓN.....	15
4.	OBJETIVOS.....	16
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	16
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5.	ALCANCE.....	17
6.	MARCO DE REFERENCIA	18
6.1.	MARCO TEÓRICO	18
6.1.1	Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles.....	18
6.1.2	Informe de afectaciones	21
6.1.3	Patologías presentes en las calzadas y carriles.....	21
6.1.4	Condición del pavimento (método PCI)	22
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	25
6.2.1	Pavimento	25
6.2.2	Mantenimiento.....	25
6.2.3	Patologías en el pavimento	26
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	28
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	30
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	31
7.	METODOLOGÍA	33
7.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	34
7.1.1.	FASE PRELIMINAR – Información zona de estudio	34
7.1.2.	FASE I – Registro y levantamiento de daños	34
7.1.3.	FASE II – Desarrollo del método INVIAS para daños en pavimentos	34
7.1.4.	FASE III – Desarrollo del método PCI	34
7.1.5.	FASE IV – Plan de mantenimiento	34
7.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
8.	FASE PRELIMINAR – INFORMACION ZONA DE ESTUDIO	36
9.	FASE I – REGISTRO Y LEVANTAMIENTO DE DAÑOS.....	37
9.1.	REGISTRO Y LEVANTAMIENTO DE DAÑOS POR EL METODO ESTABLECIDO POR EL INVIAS.....	37
9.2.	REGISTRO Y LEVANTAMIENTO DE DAÑOS POR EL METODO PCI (PAVEMENT CONDITION INDEX).....	38
10.	FASE II – DESARROLLO DEL MÉTODO INVIAS PARA DAÑOS EN PAVIMENTOS.....	41
10.1.	DAÑOS GENERALES	43
10.2.	DAÑOS SUPERFICIALES.....	44
11.	FASE III – DESARROLLO DEL MÉTODO PCI	46
12.	FASE IV – PLAN DE MANTENIMIENTO.....	48
13.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
14.	RECOMENDACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	52
15.	RESULTADOS E IMPACTOS	53
16.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	54

16.1. CONCLUSIONES	54
16.2. TRABAJOS FUTUROS.....	55
17. BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1. Rangos de clasificación del PCI.....	22
Tabla 6-2 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	24
Tabla 6-3. Marco Normativo	30
Tabla 7-1 Población, muestras, variables e instrumentos de recolección de datos.	35
Tabla 8-1 Información zona de estudio	36
Tabla 9-1. Longitud de unidades de muestreo	39
Tabla 9-2. Variables para la determinación del intervalo y el número de unidades de muestreo a inspeccionar	39
Tabla 11-1. Resultado del análisis del PCI por unidad.....	46
Tabla 11-2. Variables para la determinación del PCI	47
Tabla 11-3. PCI del tramo inspeccionado	47
Tabla 15-1. Resultados	53
Tabla 15-2. Impactos.....	53

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 6-1. Formato de levantamiento de daños para estructuras de pavimento flexible (Parte 1)	19
Ilustración 6-2. Formato de levantamiento de daños para estructuras de pavimentos flexibles (Parte 2)	20
Ilustración 6-3 Formato de exploración de condiciones para carreteras con superficie asfáltica	23
Ilustración 6-4 Esquema general.....	31
Ilustración 6-5. Tramo de la vía Catama	32
Ilustración 7-1. Metodología para el plan de mantenimiento para la estructura de pavimento del tramo de la calle 35 entre carrera 4 norte y carrera 15 este, en la ciudad de Villavicencio – Meta	33
Ilustración 9-1. Información general metodología INVIAS.....	37
Ilustración 9-2. Registro de patologías metodología INVIAS.....	38
Ilustración 9-3. Comentarios metodología INVIAS	38
Ilustración 9-4. Información general del pavimento flexible según formato PCI	40
Ilustración 9-5. Registro de patologías par pavimento flexible según formato PCI	40
Ilustración 10-1 Matriz para el proceso y análisis de datos	42
Ilustración 10-2. Distribución de los tramos.....	42
Ilustración 10-3. Afectación en la vía por severidad	43
Ilustración 10-4. Severidad de los daños por patología.....	43
Ilustración 10-5. Área afectada por tramo	44
Ilustración 10-6. Distribución de los daños superficiales	45
Ilustración 12-1. Ficha técnica de mantenimiento	48
Ilustración 12-2. Plan de mantenimiento (Parte I)	49
Ilustración 12-3. Plan de mantenimiento (Parte II)	50

1. INTRODUCCIÓN

El Meta es uno de los 32 (Treinta y dos) departamentos que conforman la República de Colombia y se caracteriza por su basta riqueza hídrica debido a los numerosos afluentes del río Orinoco que convergen en él, provenientes de la Cordillera Oriental que hacen parte de las llanuras orientales de Colombia, el departamento se subdivide en 29 municipios, donde su capital es Villavicencio.

Villavicencio es una ciudad de clima tropical monzónico con una temperatura media de 27° C, fue fundada en 1840 y está localizada en el piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, donde colinda en su límite derecho con el río Guatiquía; cuenta con una altitud de 467 m.s.n.m y con un área de 1328 km² [1], donde en su casco urbano según el último censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2018 residían 545.302 habitantes. Su economía se fundamenta en sectores como La agricultura, la ganadería y la minería, sumado a esto es impulsada por un vital y gran movimiento comercial, tanto así que es denominada como el centro comercial más importante de los Llanos Orientales.

Según diversos estudios realizados por la secretaría de infraestructura del municipio, más del 90% de la malla vial de la ciudad ya ha superado su vida útil y nunca han sido sometidos a mantenimiento [2], teniendo en cuenta que Villavicencio es una ciudad de vital importancia para la economía de los llanos orientales un factor de la infraestructura municipal tan importante como lo es la calidad de las vías tiene que ser infalible; por lo tanto a través de este proyecto, se pretende contribuir a dicha problemática con la implementación de un plan de mantenimiento a la estructura de pavimento flexible de un tramo de 2 kilómetros de tres carriles en una sola dirección en la calle 35 entre la carrera 4 Norte y la carrera 15 Este.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Villavicencio en la actualidad presenta problemas graves en lo que respecta a la infraestructura vial, donde por casi toda la ciudad se evidencian patologías como: piel de cocodrilo, ahuellamientos, hundimientos, pérdida de agregado, descascamientos, entre otros, esto en cuanto a pavimentos flexibles se refiere, y en algunos sectores donde se implementa el uso de pavimentos rígidos, se logra evidenciar como las losas de concreto se han desplazado de su posición original.

La avenida Catama es el lugar en el cual se va a desarrollar este proyecto. Desde la concepción de su diseño esta obra vial se materializó con un pavimento flexible, en la actualidad, siendo un tramo vial de gran importancia para la movilidad de la ciudad, presenta casi todas las patologías mencionadas anteriormente, por lo tanto, de manera prioritaria se deberá implementar el plan de mantenimiento aquí mencionado.

Según la secretaria de infraestructura, Villavicencio cuenta con 675 kilómetros de malla vial; el informe de gestión de la alcaldía en el año 2012 basado en varios estudios realizados por el mismo ente municipal arrojaron como resultado que de los 675 kilómetros, solo 25 km tienen menos de los 15 años de vida útil, afirmando así, que los otros 650 kilómetros restantes ya cumplen con su vida útil superando los 15 años de uso, siendo esto un 96,29 % de la totalidad de la infraestructura vial, donde además a esto, dichos tramos viales nunca han sido sometidos a un plan de mantenimiento [1]. Según lo mostrado en el informe de gestión de la alcaldía en el año 2018 tan solo se realizaron labores de mantenimiento en 67.39 kilómetros de malla vial, a lo que porcentualmente este valor correspondería a tan solo un 10.36% de malla vial restaurada de los 650 km que ya cumplieron su vida útil. [3].

En el año 2017, se coloca en marcha la cuadrilla de recuperación vial a disposición de la secretaría de infraestructura, donde está básicamente se encargaría de la evaluación y reparación de los daños presentes en las vías de las 8 comunas que componen Villavicencio, en ese mismo año se lograron recuperar aproximadamente 132.000 metros cuadrados [2]. En la actualidad, aún sigue en marcha la cuadrilla de recuperación vial, donde en algunos corredores viales de la ciudad si se han visto cambios notables, pero este no es el caso del tramo comprendido en la calle 35 desde la carrera 4 Norte hasta la carrera 15 Este, donde aun siendo un corredor vial con bastante afluencia vehicular no se han visto mejoras en los últimos años, por ende se establece el plan de mantenimiento aquí presentado, donde se muestran cálculos obtenidos en base a las muestras de campo para posteriormente generar alternativas viables de mejoramiento a implementar en el pavimento de este tramo vial.

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto es de vital importancia tanto para el municipio de Villavicencio como para el departamento del Meta debido a que contribuye de manera directa al desarrollo socioeconómico de la región, porque un factor de infraestructura como lo es la calidad de las vías genera un impacto directo que puede ser tanto positivo como negativo en las bases económicas de cualquier región, para este caso se ven afectados de manera negativa sectores principales de la economía del municipio como la ganadería, la agricultura y la minería debido al mal estado en el que se encuentra la malla vial de Villavicencio [4].

Una obra vial estructurada y en óptimas condiciones se traduce coloquialmente en la disminución de: los costos operativos de los vehículos, en tiempo de recorrido y contaminación del medio ambiente, así como las facilidades para la movilidad de los usuarios esto acarrea como consecuencia menos accidentes y más impulso económico [3] y más cuando se trata de un corredor vial de alta afluencia vehicular como lo es el tramo de esta avenida que se tiene por objeto de estudio, hoy por hoy en Villavicencio la avenida Catama según la secretaría de movilidad es uno de puntos donde más accidentes mortales se registran debido a múltiples factores y uno de estos, es el mal estado de esta obra vial y aun sucediendo esto no se ha sometido a un plan de mantenimiento de manera preferente [5].

A esta problemática no se le ha dado solución debido al manejo de los recursos del municipio donde se le da prioridad a otros asuntos, como lo son los inconvenientes presentados con el acueducto de la ciudad a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV) [4] donde a largo plazo no se solucionan ni asuntos de primer orden como lo es la continuidad del recurso hídrico y la reparación de los corredores viales como lo es el caso de la avenida Catama.

La población que más se beneficia de la implementación del plan de mantenimiento aquí presentado resulta ser cada uno de los habitantes del departamento del Meta, por tratarse del mejoramiento de uno de los corredores viales con más afluencia vehicular de su capital, Villavicencio.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Formular un plan de mantenimiento a la estructura de pavimento flexible comprendida entre la calle 35 con carrera 4 Norte y calle 35 con carrera 15 Este, en la ciudad de Villavicencio.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los tipos de patologías que presenta la vía a través de una inspección visual, siguiendo los lineamientos del manual de inspección visual de pavimentos flexibles INVIAS.
- Clasificar la severidad de los daños que tiene la vía, teniendo en cuenta su grado de afectación.
- Determinar de manera cuantitativa y cualitativa el estado de afectación actual de la estructura de pavimento empleando el método PCI.
- Establecer diferentes tipos de mantenimientos que demanda el tramo vial cumpliendo con la eficiencia, seguridad y comodidad de la vía.

5. ALCANCE

La elaboración de este proyecto es una contribución al mejoramiento de la infraestructura vial de Villavicencio una vez se llegase a ejecutar; un plan de mantenimiento tiene por objeto hacer cumplir los tres requisitos de diseño que establece el INVIAS (seguridad, comodidad y eficiencia) con las que toda obra vial debería cumplir y por tal motivo se decide poner en marcha el plan de mantenimiento de la estructura de pavimento de un tramo de 2 km de tres carriles en una sola dirección, comprendido entre la calle 35 con carrera 4 Norte y la calle 35 con carrera 15 Este de la avenida Catama. Para generar una solución eficiente a través de este plan, se requieren aspectos investigativos como lo son: el historial de afectaciones y mejoras, un levantamiento de daños de la obra vial, entre otros, en aras de generar los entregables finales como lo son: formatos e informes pre establecidos por el INVIAS para el mantenimiento de una estructura de pavimento flexible y la propuesta de mantenimiento a realizar.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

6.1.1.1 Formato de inspección

Este formato facilita la anotación y la inspección de daños a la estructura de pavimento, se compone de dos páginas y a su vez estas se estructuran en 5 y 2 partes respectivamente.

La primera página del formato tiene por objeto la recopilación de la información y se compone de 5 partes, estas son: 1) información general, 2) Deterioros, 3) Aclaraciones, 4) Geometría de la vía, 5) Comentarios. Ilustración 6-1.

La segunda página es de utilidad para que el profesional a cargo realice el levantamiento de información de manera correcta, esta se fragmenta en: 1) definición y clasificación de las patologías que se pueden presentar en la estructura, 2) Comentarios acerca de otras afectaciones que se pueden presentar en la estructura. Ilustración 6-2.

Plan de Mantenimiento para la Estructura de Pavimento del Tramo Vial de la Calle 35 entre Carrera 4 norte y Carrera 15 este, en la Ciudad de Villavicencio-Meta



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

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003

FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2



TIPO DE DAÑO	CONVENC.	SEVERIDADES		
		BAJA	MEDIA	ALTO
FISURAS				
Fisuras longitudinales (m)	FL	Abertura < 1mm o selladas.	Abertura 1-3mm, sin sellar, algunas fisuras leves la cruzan.	Abertura > 3mm, posee alto desgaste, algunas fisuras median las cruzan, causa vibración al vehículo.
Fisuras transversales (m)	FT			
Fisuras en juntas de construcción (m)	FCL, FCT			
Reflexión de juntas de pavimentos rígidos (m)	F.J.L, F.J.T			
Fisuras en media luna (m2)	FML			
Fisuras de borde (m)	FBD			
Fisuras en bloque (m2)	FB	Los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos y están conformados por fisuras < 1mm o selladas, sin desgaste en ellas.	Bloques definidos por fisuras 1-3mm, o sin sellarlas, con desgaste leve.	Bloques bien definidos por fisuras > 3mm que presentan alto desgaste.
Piel de cocodrilo (m2)	PC	Serie de fisuras longitudinales paralelas con aberturas de hasta 3 mm, principalmente en la huella.	Las fisuras han formado bloques que tienen un ligero desgaste en los bordes.	Área con bloques sueltos de bordes desgastados, puede existir bombeo.
Fisuras por desalineamiento de capas (m2)	FDC	Fisuras < 1mm o selladas.	Fisuras 1-3mm, pueden existir agrietamientos alrededor con aberturas mayores a 1 mm	Fisuras > 3mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras con aberturas mayores a 1 mm.
Fisuración incipiente (m2)	FIN	Sin grados de severidad asociados		
DEFORMACIONES				
Ondulaciones (m2)	OND	Altura < 10mm	Altura 10-30mm	Altura > 30mm
Abultamiento (m2)	AB			
Hundimiento (m2)	HUN	Altura < 20mm	Altura 20-40mm	Altura > 40mm
Ahuellamiento (m2)	AHU	Altura < 10mm	Altura 10-25mm	Altura > 25mm
DAÑOS SUPERFICIALES				
Desgaste superficial (m2)	DSU	Pérdida de la textura uniforme de la superficie, con irregularidades hasta de 3 mm.	Profundidad de las irregularidades entre 3 mm y 10 mm, se observa el agregado grueso, el vehículo experimenta vibración y ruido.	Ha comenzado desintegrarse la superficie, presenta desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada
Pérdida del agregado (m2)	PA	Se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.	Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.	Desprendimiento extensivo de agregados con separaciones menores a 0.05 m, superficie muy rugosa, se observan agregados sueltos.
Pulimento del agregado (m2)	PU	Sin grados de severidad asociados.		
Cabezas duras (m2)	CD	Sin grados de severidad asociados.		
Exudación (m2)	EX	Se hace visible en la superficie en franjas alizadas y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos.	Exceso de asfalto libre que conforma una película cubriendo parcialmente los agregados.	Cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, aspecto húmedo de intensa coloración negra.
Burcos (m2)	SU	Sin grados de severidad asociados.		
DETERIORO DE CAPAS ESTRUCTURALES				
Descascaramiento (m2)	DC	Altura < 10mm	Altura 10-25mm	Altura > 25mm
Bache o hueco (m2)	BCH	Profundidad < 25 mm, corresponde al desprendimiento de pavimentos superficiales o capas delgadas.	Profundidad entre 25-50 mm, afecta incluso la base asfáltica.	Profundidad > 50mm, llega a afectar la base granular
Piercho (m2)	PCH	Está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.	Presenta algunos daños de severidad baja a media y deficiencias en los bordes.	Presenta daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto.
OTROS DAÑOS				
Corrimiento vertical de la berma ⁽¹⁾ (m, h)	CV	Altura < 6mm	Altura 6-25mm	Altura > 25mm
Separación de la berma (m, s)	SB	Ancho < 3mm	Altura 3-10mm	Altura > 10mm
Afloramiento de agua (m) ⁽²⁾	AFA	Sin grados de severidad asociados.		
Afloramiento de finos ⁽³⁾	AFI	Sin grados de severidad asociados.		
COMENTARIOS:				
1. En el caso de las bermas, los daños que presentan deben registrarse con las mismas convenciones indicadas adicionando una "B" al final para diferenciarlos de los daños en el pavimento. Los daños reportados como separación y corrimiento vertical de la berma no requieren la acción de la "B" al final.				
2. En el caso de los afloramientos de agua se mide en metros (m) la zona afectada cuando no tiene otro daño asociado, sin embargo, cuando el afloramiento se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de agua.				
3. Dado que el afloramiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de finos.				

Ilustración 6-2. Formato de levantamiento de daños para estructuras de pavimentos flexibles (Parte 2)

Fuente: INVIAS, 2016 [6]

6.1.2 Informe de afectaciones

Posterior al levantamiento se debe realizar la estructuración y el análisis de los datos recolectados en campo, de modo que se logre generar un informe técnico donde se ilustren manera organizada y detallada los resultados de la inspección visual de las afectaciones encontradas.

La información pertinente a los formatos se analiza agrupando los daños por tipo, severidad en tramos de 100 metros, dicho esto es necesario aislar las bermas de las bermas.

6.1.3 Patologías presentes en las calzadas y carriles

Las patologías presentes en las calzadas y carriles se analizan en una hoja de cálculo en la que se consideran aspectos elementales de cada tramo como: número de tramo, punto de inicio y punto final (abscisado), área final, daños encontrados y categorizados por severidad, áreas finales de las afectaciones, porcentaje de daño, área específica de cada afectación y su severidad (Ecuación 6-5), peso de cada afectación y severidad dentro del área total afectada, área final afectada del tramo vial en su totalidad, porcentaje de afectación global, cantidad total de patologías encontradas y su categoría según su nivel de deterioro (Ecuación 6-6), peso de cada daño por su severidad dentro del área evaluada (Ecuación 6-7), peso global de cada daño dentro del área total inspeccionada (Ecuación 6-8).

Las ecuaciones requeridas para el cálculo de estos ítems se muestran a continuación:

$$\text{Área tramo} = \text{Ancho de calzada} \times \text{Longitud del tramo}$$

Ecuación 6-1. Área del Tramo

$$\% \text{ Afectacion por tramo} = \frac{\text{Área total afectada}}{\text{Área total inspeccionada}}$$

Ecuación 6-2. Porcentaje de afectación

$$\text{Área total afectada} = \sum \text{Daños encontrados}$$

Ecuación 6-3. Área total afectada

$$\text{Área total inspeccionada} = \sum \text{Área de cada tramo}$$

Ecuación 6-4. Área total inspección

$$I = \sum \text{Áreas afectadas por cada tipo de daño y por severidad}$$

Ecuación 6-5. Sumatoria de áreas afectadas

$$II = \sum \text{Severidades de cada tipo de deterioro}$$

Ecuación 6-6. Sumatoria de severidades

$$III = \frac{I}{\text{Área total inspeccionada}}$$

Ecuación 6-7. Peso de cada daño

$$IV = \frac{II}{\text{Área total inspeccionada}}$$

Ecuación 6-8. Peso global de cada daño

6.1.4 Condición del pavimento (método PCI)

La condición del pavimento o más conocido por sus siglas en inglés PCI (Pavement Condition Index) establecido por la ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), es el índice numérico que define la condición del pavimento de 1 a 100, donde 1 es el estado más crítico y 100 el más óptimo de la estructura de pavimento, los rangos de calificación establecidas por la ASTM se muestran en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Rangos de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: Luis Vásquez, 2002 [7]

Para la establecer de manera correcta la condición del pavimento del tramo que se va a intervenir se debe hacer uso del formato mostrado en la Ilustración 6-3 donde se tienen en cuenta ítems alusivos al estado de la estructura de pavimento como lo

son: el tipo de daño, la severidad de este y su magnitud expresada de manera numérica y porcentual.

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

Ilustración 6-3 Formato de exploración de condiciones para carreteras con superficie asfáltica

Fuente: Luis Vásquez, 2002 [7]

Se deben determinar las unidades de muestreo para la evaluación de daños por el método, empelando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Ecuación 6-9. Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N: Número total de unidades de muestreo en selección al pavimento

E: Error admisible en el estimativo del PCI de la selección (e=5%)

σ: Desviación estándar del PCI entre las unidades

Se debe determinar el intervalo de muestreo, debido a que, según el PCI, las unidades de muestreo deben estar separadas por un intervalo.

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación 6-10 Intervalo de muestreo

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N: Número total de unidades de muestreo en selección al pavimento

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo 5.6 se redondea a 5)

Una vez determinados el intervalo de muestreo y el número de unidades de muestreo a evaluar se definen la cantidad de tramos y la distancia entre ellos, la cual debe ser igual y esta última es determinada con la tabla 6-2.

Tabla 6-2 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente: Luis Vásquez, 2002 [7]

Después de la inspección realizada en campo se determina el PCI de las unidades de muestreo evaluadas, empleando la ecuación 6-11:

$$PCI = \frac{[(N - A) * PCI_R] + (A * PCI_A)}{N}$$

Ecuación 6-11 PCI de la sección del pavimento

Donde:

PCIs: PCI de la sección del pavimento

PCI_R: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatoria o representativas

PCI_A: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales

N: Número total de unidades de muestreo en la sección

A: Numero adicional de unidades de muestreo inspeccionadas

Una vez obtenido el resultado después de emplear la ecuación 6-11 se da el criterio evaluativo que define el estado actual de la estructura de pavimento, empleando la tabla 6-1.

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Pavimento

Según el INVIAS una estructura de pavimento se define como una agrupación de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se materializan con materiales debidamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan principalmente sobre la Subrasante de una vía y deben soportar adecuadamente los esfuerzos provenientes de la carga repetida que los vehículos le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura y el efecto negativo de los agentes climáticos [1].

6.2.1.1 Pavimento flexible

Clase de pavimento caracterizado por estar compuesto por una capa de rodadura bituminosa apoyada usualmente sobre estratos de material no ligado.

6.2.2 Mantenimiento

El mantenimiento de una estructura de pavimento se puede definir y clasificar netamente según el lapso en el que se realice dicha actividad, donde se puede definir netamente la actividad de mantenimiento y se puede clasificar en rutinario y periódico.

6.2.2.1 Actividad de mantenimiento

Según el manual de mantenimiento de carreteras realizado por el INVIAS la actividad neta de mantenimiento se define como el proceso mediante el cual se describen procedimientos generales de ejecución, se estipulan los materiales requeridos, se establecen los requisitos de calidad a los que se deberá ajustar para su recibo y se fijan las condiciones para la medida y el pago del trabajo realizado correctamente [2].

6.2.2.2 Actividad de mantenimiento rutinario

Según el manual de mantenimiento de carreteras establecido por el INVIAS se definen como las actividades destinadas a reparar o reponer situaciones de deterioro que se producen en la carretera y en sus elementos conexos a lo largo del año y que, en cierta medida, son independientes de la intensidad del tránsito y de las condiciones meteorológicas [2].

6.2.2.3 Actividades de mantenimiento periódico

Según el manual de mantenimiento de carreteras establecido por el INVIAS se precisan como las acciones que se requieren ocasionalmente o con una periodicidad superior a un año en una carretera y sus elementos conexos y que, en

cierta medida, se pueden programar con antelación, debido a que son determinadas principalmente por el tránsito y las condiciones meteorológicas [2].

6.2.3 Patologías en el pavimento

6.2.3.1 Fisuras

6.2.3.1.1 Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT)

Discontinuidades que se localizan en la capa de rodadura debido a la existencia de esfuerzos de tensión y se presentan en la misma dirección al tránsito o transversales a él.

6.2.3.1.2 Fisuras en juntas de construcción (FCL, FCT)

Intermitencias notables en la carpeta asfáltica que se presentan sobre las juntas constructivas en sentido transversal.

6.2.3.1.3 Fisuras en media luna (FML)

Patología que se presenta en la superficie asfáltica de la estructura en forma de arco o media luna.

6.2.3.1.4 Fisuras de borde (FBD)

Agrietamiento que se presencia en los costados de la estructura de pavimento.

6.2.3.1.5 Fisuras en bloque (FL, FT)

Fisuras que se presencian agrupadas y continuas en ciertas zonas del pavimento.

6.2.3.1.6 Piel de cocodrilo (PC)

Serie de fisuras con forma de escamas interconectadas entre si usualmente con patrones irregulares y se presencia típicamente en zonas afectadas por repeticiones de carga.

6.2.3.1.7 Fisuras incipiente (FL, FT)

Conjunto de fisuras que no se interceptan y se caracterizan por ser contiguas y cerradas.

6.2.3.2 Deformaciones

6.2.3.2.1 Hundimiento (HUN)

Depresión ubicada en la estructura de pavimento medida desde la rasante.

6.2.3.2.2 Ahuellamiento (AHU)

Depresión generada por el tránsito de los vehículos, localizada sobre la trayectoria de las llantas de estos.

6.2.3.3 Perdidas de capas estructurales

6.2.3.3.1 Descascaramiento (DC)

Desprendimiento de parte de la superficie de la estructura pavimento, sin afectación a las capas inferiores a la carpeta asfáltica.

6.2.3.3.2 Baches (BCH)

Hundimiento medido desde la rasante que genera afectaciones a las capas subyacentes a la capa de rodadura.

6.2.3.3.3 Parches (PCH)

Recuperación parcial de la estructura de pavimento.

6.2.3.4 Daños superficiales

6.2.3.4.1 Desgaste superficial (DSU)

Deterioro del pavimento ocasionado por el tránsito mismo o por agentes externos de tipo abrasivos o erosivos.

6.2.3.4.2 Perdida de agregado (PA)

Disgregación superficial de la carpeta asfáltica ocasionada por la pérdida gradual de agregados.

6.2.3.4.2 Cabeza Dura (CD)

Exposición de agregados fuera del mortero arena-asfalto, que usualmente aumentan la rugosidad del pavimento, causando ruido excesivo al conductor.

6.3. ESTADO DEL ARTE

6.3.1 IDENTIFICACIÓN: Jiménez Iván, Álvarez Leonel, Castillo Jovanny, 2014. “Plan de proyecto rehabilitación, mejoramiento, pavimentación y construcción de la vía el Paujil-la unión Peneya (Caquetá)”, trabajo de especialización en gerencia de proyectos de la universidad piloto de Colombia.

OBJETIVO GENERAL: Desarrollar el proyecto de rehabilitación, mejoramiento, pavimentación y construcción de la vía terrestre que comunica en la región de la unión Peneya al paujil con montañitas, aportando en la solución de la necesidad de infraestructura vial de la región.

VARIABLES: pavimento / rehabilitación, mejoramiento, pavimentación.

INSTRUMENTOS: Estudio bibliográfico apoyado en fuentes estadísticas gubernamentales; trabajo de campo: recolección de datos a través de cada una de las fuentes municipales y gubernamentales, censos, aforos, entre otros.

RESULTADOS: Propone el trazado de una nueva vía, la identificación de una vía alterna ya construida y la intervención de esta, en el departamento del Caquetá, Colombia.

6.3.2 IDENTIFICACIÓN: Blanco Carlos, grupp Federico, veirel Eric, 2008. “Plan de estudio para la evaluación del comportamiento de un pavimento flexible reforzado con geosintéticos”, artículo científico de la revista ciencia e ingeniería de la universidad de los andes, Mérida, Venezuela.

OBJETIVO GENERAL: Estudiar el comportamiento del pavimento flexible con la implementación de un refuerzo de geosintéticos.

VARIABLES: pavimento flexible / refuerzo, geosintéticos.

INSTRUMENTOS: A través de pruebas de laboratorio; trabajo de campo: se seleccionó un tramo de vía de aproximada de 50 metros para el análisis y comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio.

RESULTADOS: Propone reforzar el pavimento con geosintéticos de manera que el pavimento con este refuerzo presente características de resistencia/durabilidades superiores a los pavimentos tradicionales.

6.3.3 IDENTIFICACIÓN: Vera, thenoux, solminiac, echavaguren, “modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles” artículo científico de la revista construcción, universidad católica de chile, chile,2010.

OBJETIVO GENERAL: Proponer un modelo de evaluación técnica de pavimentos alternativo que permita comparar planes de conservación y realizar evaluaciones de desempeño de los programas de mantenimiento ya ejecutados.

VARIABLES: Pavimentos / optimización, mantenimiento.

INSTRUMENTOS: Se realizó mediante modelos (HDM-4) donde el modelo considera modelos de predicción de solicitaciones de tráfico, de progresión de rugosidad a través del IRI, y del efecto de acciones de mantenimiento sobre el IRI.

RESULTADOS: Propone un modelo de evaluación técnica de pavimentos alternativo, que permite comparar planes de conservación (evaluación de tipo ex-ante) evaluar el desempeño de los programas de mantenimiento ejecutados (evaluación de tipo ex-post).

6.3.4 IDENTIFICACIÓN: Ricardo Miranda, “Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos” tesis para graduarse de ingeniero constructor, universidad austral de chile, chile, 2010.

OBJETIVO GENERAL: Identificar las fallas que sufren los pavimentos Flexibles y rígidos, Y otorgar soluciones para la conservación y rehabilitación de los mismos, al mínimo costo y con el as eficiente resultado posible.

VARIABLES: Pavimento flexible / Deterioro / Pavimento rígido.

INSTRUMENTOS: Estudio bibliográfico apoyado en fuentes gubernamentales; trabajo de campo: recolección de datos a través de cada una de las fuentes municipales y gubernamentales, censos, aforos, documentos, etc.

RESULTADOS: Propone la entrega de los principales parámetros de construcción para realizar los diferentes trabajos de mantenimiento a un tramo vial.

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6-3. Marco Normativo

Norma	Año de emisión	Expedida por	Reglamenta	Artículo que aplica
Manual para la inspección visual del pavimento flexible	2006	Universidad Nacional de Colombia Ministerio de transporte instituto nacional de vías	La inspección y el reporte de los daños que se pueden encontrar en los pavimentos flexibles	T1 - T3
Guía Metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras – Segunda edición	2008	Ministerio de transporte Instituto nacional de vías INVIAS	La metodología para realizar planes de mantenimiento de pavimentos asfálticos	-
Manual de mantenimiento de carreteras – Volumen 2	2016	Ministerio de transporte INVIAS Instituto nacional de vías	Especificaciones generales de mantenimiento de carreteras	1200 1210 1220
Método PCI	2005	ASTM D6433 -18	El índice de condición del pavimento	-

Fuente: Propia, 2020

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

El departamento del Meta es uno de los 32 departamentos que conforman la república de Colombia donde su capital es Villavicencio.

Villavicencio está localizada en el piedemonte de la cordillera oriental, al noroccidente del departamento del Meta, cuenta con una altitud de 467 m.s.n.m con un área de 1328 km² donde habitan una población alrededor de 545.302 habitantes, según el último censo realizado por el DANE en el año 2018, los principales pilares de su economía son la agricultura, la ganadería, la minería y el gran flujo comercial por el que se caracteriza la ciudad.

El proyecto se realizará en la capital del meta exactamente sobre la avenida Catama (calle 35), donde el tramo a intervenir está comprendido sobre la calle 35 entre la carrera 4 Norte hasta la carrera 15 Este con 2 km de longitud atravesando gran parte la comuna 4 de la capital del Meta [8].

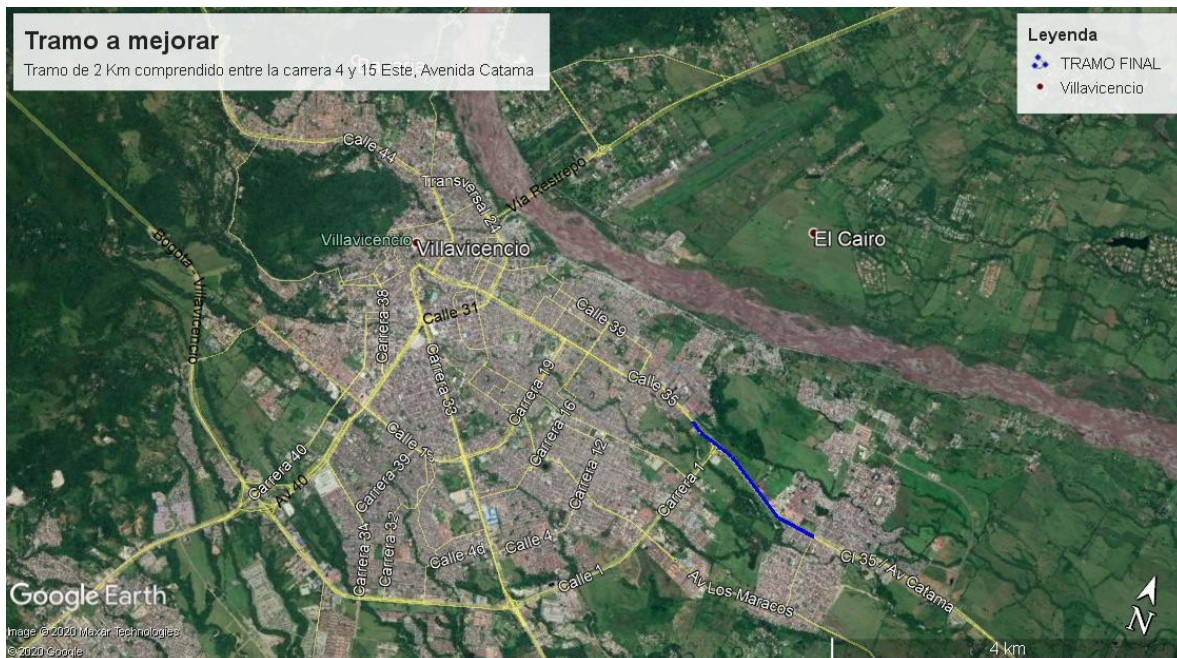


Ilustración 6-4 Esquema general

Fuente: Google Earth, 2020

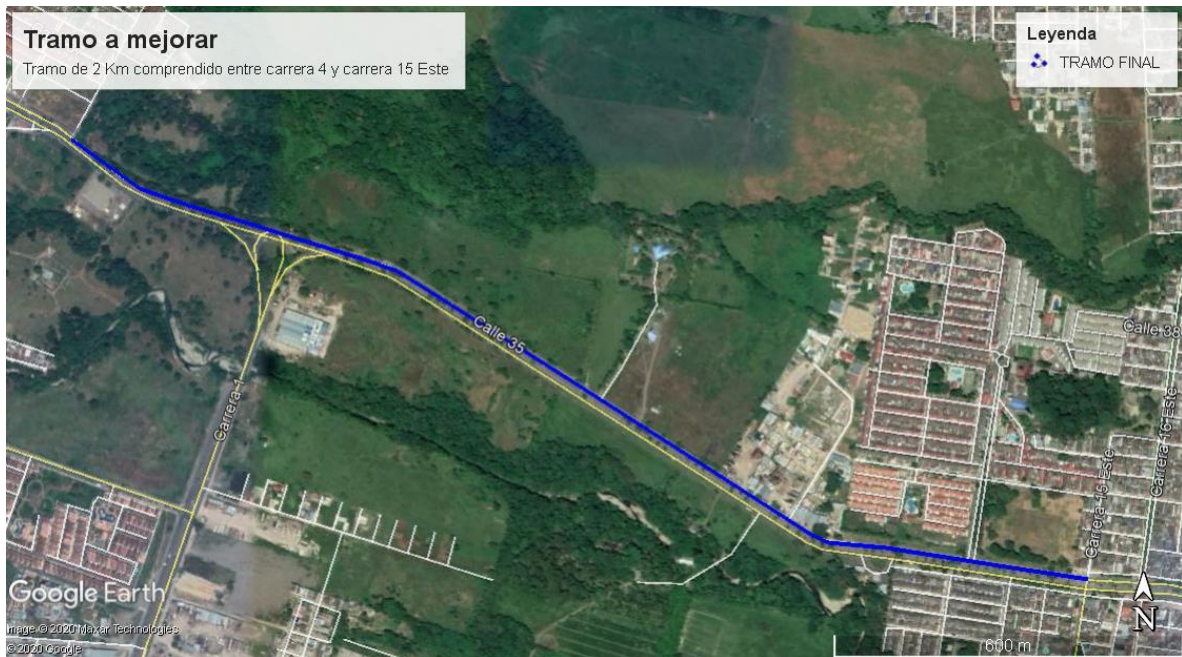


Ilustración 6-5. Tramo de la vía Catama

Fuente: Google Earth, 2020

7. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico del proyecto, es de tipo integral debido a que posee un factor cualitativo en el cual se hace la recolección de datos descriptivos y observaciones para posteriormente adicionarlos a la investigación del mismo, un claro ejemplo de estos datos son: las especificaciones topográficas y el tipo de suelo presente en la zona de estudio, en este caso Villavicencio, no obstante, se emplea un factor cuantitativo a través del cual se relacionan datos de tipo numérico con el objetivo de verificar el conocimiento extraído por medio de la experimentación como es el caso de los análisis de los datos obtenidos en la visita de campo del tramo vial de 2 km de tres carriles en una sola dirección.



Ilustración 7-1. Metodología para el plan de mantenimiento para la estructura de pavimento del tramo de la calle 35 entre carrera 4 Norte y carrera 15 Este, en la ciudad de Villavicencio – Meta

Fuente: Propia, 2020

7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

7.1.1. FASE PRELIMINAR – Información zona de estudio

En esta fase se realizaron labores de carácter investigativo en la zona de estudio y se analizaron algunos factores como: uso del suelo, economía, el tránsito, población y clima; logrando la recopilación de dicha información empleando el uso de herramientas de distintos tipos como: portal web IDEAM, POT, portal web alcaldía e inspecciones técnicas hechas en campo.

7.1.2. FASE I – Registro y levantamiento de daños

Posterior a la obtención de datos característicos de la zona de estudio, se procede a la definición de la abscisa inicial K0+000 (Entrada bosques de Abajam) y se realiza un recorrido a lo largo del tramo hasta la abscisa final K2+000 (Entrada barrio manantial) donde se genera el primer registro fotográfico de las patologías en las cuales se va a basar el plan de mantenimiento a través del diligenciamiento de los formatos que establece la metodología INVIAS y el manual PCI.

7.1.3. FASE II – Desarrollo del método INVIAS para daños en pavimentos

Con los datos registrados en la fase II, se realiza el respectivo análisis de dichos datos teniendo como base el manual de mantenimiento de carreteras establecido por el INVIAS, mencionado en el título 6.1.1.

7.1.4. FASE III – Desarrollo del método PCI

Se ejecuta el proceso mencionado en el título 6.1.4, donde se determina el Pavement Condition Index (PCI) en base a la información obtenida en la fase II.

7.1.5. FASE IV – Plan de mantenimiento

En esta última fase se define una solución conjunta teniendo en cuenta cada una de las patologías encontradas en la estructura del pavimento de la avenida Catama dando así la creación del plan de mantenimiento vial.

7.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

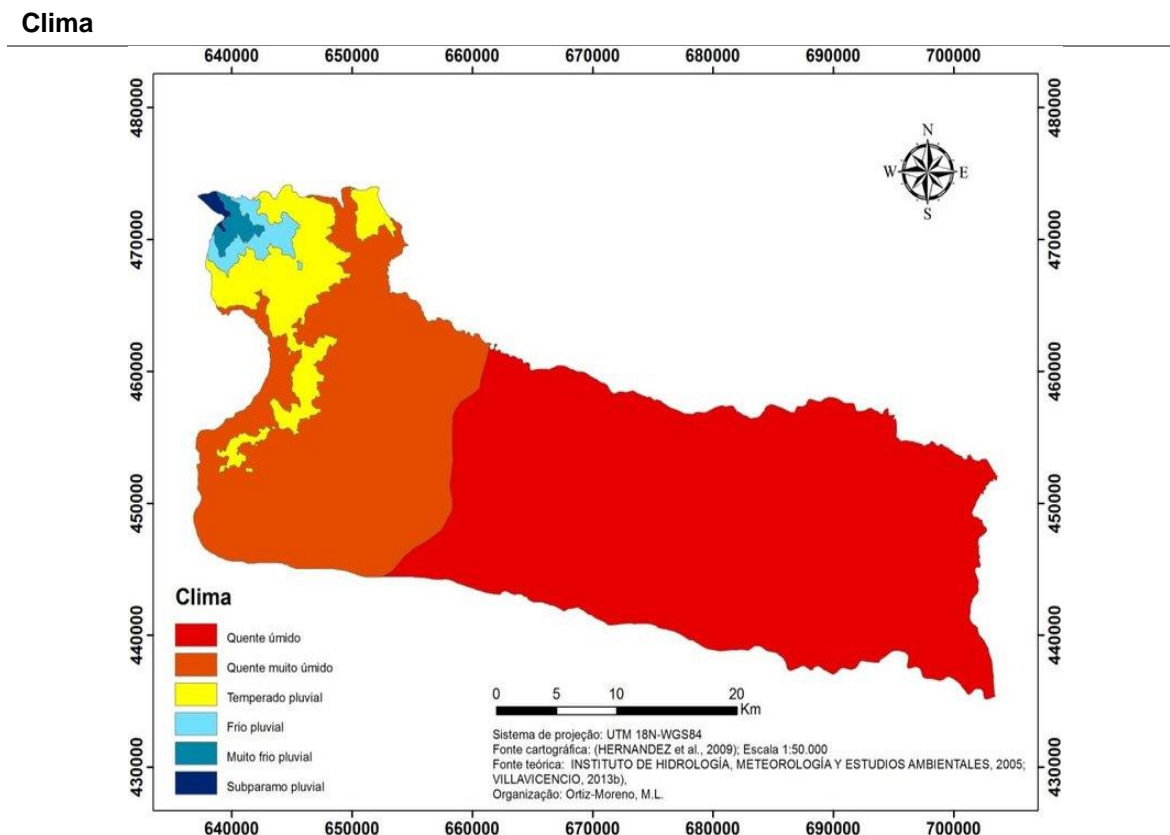
Tabla 7-1 Población, muestras, variables e instrumentos de recolección de datos.

Población	Ciudadanos del Meta y Villavicencio que usan su vehículo como medio de transporte y/o trabajo.
Muestras	Registros fotográficos, fichas técnicas.
Variables	Clima, Tránsito, longitud de tramo, severidad y cantidad de daños
Instrumentos de recolección de datos	Odómetro, señalización, manuales de inspección del INVIAS, formatos de inspección, cinta métrica, objetos de referencia.

Fuente: Propia, 2020

8. FASE PRELIMINAR – INFORMACION ZONA DE ESTUDIO

Tabla 8-1 Información zona de estudio



Extensión	1338 km ²
Composición	7 corregimientos / 56 veredas / 8 comunas / 446 barrios
Altitud	467 m.s.n.m
Riesgo sísmico	Zona de sismicidad ALTA
Temperatura media	28 °C- 32°C
Población	545.302 hab
Densidad	397.34 hab/ km ²
Economía	La economía es dinámica donde se encuentra principalmente sectores como el comercio, la agricultura, la ganadería y la explotación del petróleo y gas.
Importancia	El comercio es el sector más dinámico, debido que a través de Villavicencio se canaliza hacia Bogotá y otras ciudades del interior la mayoría de productos agropecuarios y agroindustriales del llano, siendo denominada la despensa de Colombia.
Turismo	Monumentos del llano (Monumento a las arpas y Monumento al coleo), senderismo (vereda argentina, buenos aires, Carmen), festivales (festival internacional de la canción llanera, reinado internacional del joropo, encuentro mundial del coleo)
Uso de suelo	Comercial – residencial.

Fuente: Adaptado de IDEAM, POT, Alcaldía de Villavicencio, 2020

9. FASE I – REGISTRO Y LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

El levantamiento de daños de la estructura de pavimento flexible de la calle 35 entre carreras 4 norte y 15 este, se realizó empleando los formatos establecidos por el INVIAS y PCI, en esta fase se muestra el registro y levantamiento de daños por ambos métodos.

9.1. REGISTRO Y LEVANTAMIENTO DE DAÑOS POR EL MÉTODO ESTABLECIDO POR EL INVIAS

Primero, se anotan los aspectos generales del tramo a evaluar por el método, utilizando el formato ya preestablecido, como se muestra en la Ilustración 9-1.

	FORMATO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE		
TERRITORIAL: <u>Orinoquia</u>	FECHA: <u>12/07/2020</u>	CONCESIÓN	<input type="checkbox"/> PR INICIAL: 0+000
CODIGO DE LA VÍA: _____	CONTRATO N°: _____	MANTENIMIENTO INTEGRAL	<input type="checkbox"/> PR FINAL: 2+000
NOMBRE DE LA VÍA: <u>Avenida Catama</u>	LEVANTADO POR: <u>David Suarez - Yeffer Robayo</u>	A.M.V	<input type="checkbox"/> HOJA: 1 DE: 20

Ilustración 9-1. Información general metodología INVIAS

Fuente: Propia, 2020

Segundo, se diligencian los apartados de abscisa, carril, tipo, severidad, daño y su respectiva evidencia fotográfica por cada patología anotada, a continuación, se describen algunas especificaciones que se deben tener en cuenta en cada uno de estos apartados:

- **Abscisa:** El tramo a intervenir se dividió en 20 tramos de 100 metros.
- **Carril:** La vía tiene tres carriles en una dirección, por lo tanto, para ubicar espacialmente el daño a lo ancho de la calzada, se especificó en cada carril, así, carril de la izquierda (I), carril de la derecha (D) o en el carril del centro (C)
- **Tipo:** Las patologías se registraron, de acuerdo con lo descrito en el apartado 6.2.3 patologías en el pavimento y en la ilustración 6-2.
- **Severidad:** En esta sección se clasifico la severidad de la patología, acorde con lo mostrado en la ilustración 6-2, donde esta podía tener 3 grados de severidad A: Alto, M: Medio y B: Bajo.
- **Dimensiones de los daños:** Largo y ancho en metros (m).
- **Dimensiones de reparación:** Largo y ancho en metros (m).

- **Foto:** Se diligencia con el respectivo número de la evidencia fotográfica de la patología presentada en la estructura.
- **Aclaraciones:** comentarios, aclaraciones y detalles a tener en cuenta en la evaluación de daños.

El registro de cada una de las patologías encontradas en el tramo vial estudiado se realizó de forma ascendente donde se partió desde el K0+000 hasta el K2+000 para consolidar un total de 20 formatos, 1 por cada 100 metros inspeccionados, los cuales están debidamente diligenciados y digitalizados en el **ANEXO A**. En la Ilustración 9-2, se observa una sección del formato del primer tramo inspeccionado.

Abs	Carril	Tipo	PATOLOGÍA					FOTO	ACLARACIONES
			Severidad	Daño		Reparación			
				Largo	Ancho	Largo	Ancho		
k0+000	D	CD	-	4	3,5			1	
k0+004	D	PCH	M	11	3,5			2	
k0+007	D	BCH	A	7	1,2			3	
k0+014	D	BCH	A	6	0,8			4	
k0+020	D	PA	A	6	0,8			5	
k0+026	D	CD	-	73	3,5			6-7-8	
k0+099	D	FL	A	1	-			9	
K0+000	I	CD	-	100	3,5			202A 202B	
K0+077	I	FT	A	3,5	-			203	
K0+083	I	FL	A	6	-			204	
K0+000	C	CD	-	100	3,5			347-350	
K0+005	C	FCL	A	11	-			348	
K0+024	C	DC	A	2	1			349	
K0+037	C	FL	A	4	-			351	
K0+071	C	FT	A	1,8	-			352	
K0+073	C	FT	A	1,8	-			353	
K0+075	C	FCL	A	2	-			354	
K0+085	C	PC	A	6	1			355	
K0+090	C	FT	A	1,8	-			356	

Ilustración 9-2. Registro de patologías metodología INVIAS

Fuente: Propia, 2020

Para concluir el registro, se escriben comentarios sobre las patologías y demás aspectos alusivos al estado de la estructura en el momento del registro.

Numero de calzadas: 2	COMENTARIOS: En el tramo se logra evidenciar el deterioro de los parches y la ausencia de mantenimientos periodicos y rutinarios.
Numero de carriles por calzada: 3	
Ancho de carril: 3,5 Ancho de berma: N/A	

Ilustración 9-3. Comentarios metodología INVIAS

Fuente: Propia, 2020

9.2. REGISTRO Y LEVANTAMIENTO DE DAÑOS POR EL METODO PCI (PAVEMENT CONDITION INDEX)

El levantamiento de daños por el método PCI comienza determinando la longitud de la unidad de muestreo la cual se determina con el ancho de calzada y la tabla de

longitudes de unidades de muestreo asfálticas, posteriormente se calcula el número total de unidades de muestreo a inspeccionar, que para el caso del tramo vial objeto de estudio resultaron 13 más un adicional, para un total de 14 unidades de muestreo a inspeccionar.

En las tablas 9-1 y 9-2 se muestran las variables correspondientes a la determinación de la longitud de la unidad de muestreo, el número total de unidades y el intervalo entre unidades a inspeccionar.

Tabla 9-1. Longitud de unidades de muestreo

Ancho de calzada (m)	10.5
Longitud del tramo vial (m)	2000
Longitud de la unidad de muestreo	31.5

Fuente: Propia, 2020

Tabla 9-2. Variables para la determinación del intervalo y el número de unidades de muestreo a inspeccionar

Error admisible e (%)	5
σ Pavimento Flexible	10
Número total de unidades de muestreo (N)	63
Unidades de muestreo a evaluar (n)	13
Unidades adicionales (A)	1
Intervalo de muestreo (i)	5

Fuente: Propia, 2020

Dividiendo los 2 km del tramo sobre la longitud de la unidad de muestreo determinamos el número total de unidades de muestreo (N), luego empleando la ecuación 6-9 se determina el número de unidades que se van a inspeccionar, por ejemplo, para en este caso de 63 unidades de muestreo, se inspeccionaron 13 más la unidad adicional, que se agrega para poder concluir el tramo justo en la abscisa K2+000 de lo contrario no se cubrirían los 2 km, por esto se adiciona 1 unidad y se tendrían un total de 14 unidades a inspeccionar con un intervalo de 5 unidades, este último indica el espaciamiento entre las unidades a inspeccionar y el total de unidades de muestreo, lo que quiere de decir que las 14 unidades van a estar separadas entre sí por 5 unidades que no se van a inspeccionar, y es con estas 14 con las que se determina el estado actual de la estructura de pavimento de la calle 35 entre carreras 4 norte y 15 este con el método PCI, empleando la ecuación 6-11.

El levantamiento de daños se realizó en el formato predeterminado por el método PCI para pavimento flexible como el que se muestra en la ilustración 9-4, para cada unidad de muestreo se utilizó un formato.

Primero, se escribieron los aspectos generales del tramo, en la parte superior del formato, como se muestra en la ilustración 9-4.

EXPLORACION DE LA CONDICION POR UNIDAD DE MUESTREO		
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO
Villavicencio/Meta	K0+000	1
CODIGO VIA	ABSCISA FINAL	AREA MUESTREO (m2)
	K0+31,5	330,75
INSPECCIONADA POR	FECHA	
David Suarez-Yeffer Robayo	16/07/2020	

Ilustración 9-4. Información general del pavimento flexible según formato PCI

Fuente: Propia, 2020.

Posteriormente se registró información específica de las patologías encontradas en la unidad de muestreo:

- Daño: tipo de daño de acuerdo con lo especificado por el método PCI
- Severidad: la severidad de cada patología se da en 3 clasificaciones en inglés *High=H, Medium=M y Low=L*, a lo que en español corresponde Alta=H, Media=M y Baja=L)
- Cantidades parciales: son las dimensiones de la patología presente en la unidad.
- Foto: número de la evidencia fotográfica de la patología encontrada.

Foto	Daño	Severidad	Cantidades parciales			Total	Densidad (%)	Valor deducido
			Longitud (m)	Ancho (m)	Area (m2)			
1	11	M	11	3,5	38,5	38,5	11,640%	32
2	13	H	7	1,2	8,4			
3	13	H	6	0,8	4,8	13,2	3,991%	81
4	19	H	6	0,8	4,8	4,8	1,451%	19
5	10	H	11	0,6	6,6	6,6	1,995%	2
6	12	M	4	3,5	14	253,75	76,720%	18
7	12	M	5,5	3,5	19,25			
8	12	M	31,5	3,5	110,25			
9	12	M	31,5	3,5	110,25			
10	13	L	2	1	2	2	0,605%	13

Ilustración 9-5. Registro de patologías par pavimento flexible según formato PCI

Fuente: Propia, 2020

Todos los formatos del método PCI y sus respectivos cálculos, se encuentran debidamente digitalizados y diligenciados en el **ANEXO C**.

10. FASE II – DESARROLLO DEL MÉTODO INVIAS PARA DAÑOS EN PAVIMENTOS

Para el correcto análisis de los datos obtenidos en campo y posteriormente plasmados en los formatos INVIAS, se realizaron dos matrices en Excel como se muestra en la ilustración 10-1 donde se colocaron de manera organizada los daños generales y los daños superficiales a su vez haciendo uso las ecuaciones mencionadas en el apartado **6.1.3 Patologías presentes en las calzadas y carriles**, donde:

- Área total de cada daño y por severidad (I)
- Área total afectada por daño (II)
- Peso del daño del área inspeccionada por severidad y por daño (III)
- Peso del daño dentro del área inspeccionada (IV)

En el anexo A se muestran la magnitud de los daños en los formatos INVIAS y cada una de las evidencias fotográficas obtenidas en campo.

Cada matriz está compuesta por:

- **Tramo:** Nombre de cada tramo.
- **Abscisa:** Abscisa inicial y final de cada tramo.
- **Área de tramo:** Determinada con la ecuación 6-1.
- **Daños en el pavimento:** Área total de los daños encontrados por severidad en cada tramo.
- **Total:** Área total afectada de cada tramo.
- **Área total inspeccionada:** Determinada con la ecuación 6-4.
- **Área total afectada:** Determinada con la ecuación 6-3.
- **Porcentaje de afectación:** Determinado con la ecuación 6-2.
- **Área total afectada por severidad y daño:** Determinada con la ecuación 6-5.
- **Área total afectad por daño:** Determinada con la ecuación 6-6.
- **Peso del daño del área inspeccionada por severidad y por daño:** Determinado con la Ecuación 6-7
- **Peso del daño dentro del área inspeccionada:** Determinado con la Ecuación 6-8.

Plan de Mantenimiento para la Estructura de Pavimento del Tramo Vial de la Calle 35 entre Carrera 4 norte y Carrera 15 este, en la Ciudad de Villavicencio-Meta

Ancho de la Calzada		10,5		DAÑOS EN EL PAVIMENTO SUPERFICIALES								
TRAMO	ABSCISA		LONGITU D DE	ÁREA AFECTAD	PA			CD N/A	TOTAL	%AFECTA CIÓN POR		
	DESDE	HASTA			B	M	A					
T1	PR0+100	0	100	100	1050			4,8	969,5	974,3	4,64	
T2	PR0+200	100	200	100	1050				1050	1050	5,00	
T3	PR0+300	200	300	100	1050				1050	1050	5,00	
T4	PR0+400	300	400	100	1050				1050	1050	5,00	
T5	PR0+500	400	500	100	1050				1011,5	1011,5	4,82	
T6	PR0+600	500	600	100	1050				700	700	3,33	
T7	PR0+700	600	700	100	1050				1050	1050	5,00	
T8	PR0+800	700	800	100	1050				756	756	3,60	
T9	PR0+900	800	900	100	1050			14	1023	1037	4,94	
T10	PR1+000	900	1000	100	1050				1050	1050	5,00	
T11	PR1+100	1000	1100	100	1050				1050	1050	5,00	
T12	PR1+200	1100	1200	100	1050				1050	1050	5,00	
T13	PR1+300	1200	1300	100	1050				1050	1050	5,00	
T14	PR1+400	1300	1400	100	1050				1050	1050	5,00	
T15	PR1+500	1400	1500	100	1050				502,4	502,4	2,39	
T16	PR1+600	1500	1600	100	1050				759,5	759,5	3,62	
T17	PR1+700	1600	1700	100	1050				567	567	2,70	
T18	PR1+800	1700	1800	100	1050				602	602	2,87	
T19	PR1+900	1800	1900	100	1050				746	746	3,55	
T20	PR2+000	1900	2000	100	1050				703,2	703,2	3,35	
Area Total inspeccionada (m2)				21000						0	0,00	
									Area total afectada y porcentaje de afectación		17808,9	84,80

Ilustración 10-1 Matriz para el proceso y análisis de datos

Fuente: Propia, 2020

En el **ANEXO B** se logra ver con más claridad la información y el análisis de los daños generales y superficiales, en sus respectivas matrices.

La distribución de los tramos se establece como se muestra en la ilustración 10-2.

T1	PR0+000	PR0+100
T2	PR0+100	PR0+200
T3	PR0+200	PR0+300
T4	PR0+300	PR0+400
T5	PR0+400	PR0+500
T6	PR0+500	PR0+600
T7	PR0+600	PR0+700
T8	PR0+700	PR0+800
T9	PR0+800	PR0+900
T10	PR0+900	PR1+000
T11	PR1+000	PR1+100
T12	PR1+100	PR1+200
T13	PR1+200	PR1+300
T14	PR1+300	PR1+400
T15	PR1+400	PR1+500
T16	PR1+500	PR1+600
T17	PR1+600	PR1+700
T18	PR1+700	PR1+800
T19	PR1+800	PR1+900
T20	PR1+900	PR2+000

Ilustración 10-2. Distribución de los tramos

Fuente: Propia, 2020

10.1. DAÑOS GENERALES

A partir de los datos obtenidos en la matriz de daños generales y empleando las ecuaciones anteriormente mencionadas para el proceso y análisis de datos de los daños, se elabora la siguiente gráfica, donde se logra observar el área dañada en metros cuadrados (m²) y el grado de severidad de las patologías presentadas en cada uno de los 20 tramos, donde el tramo dieciséis (T16) es el que más área dañada presenta en comparación a los otros, contando con 446.46 m² de daño.

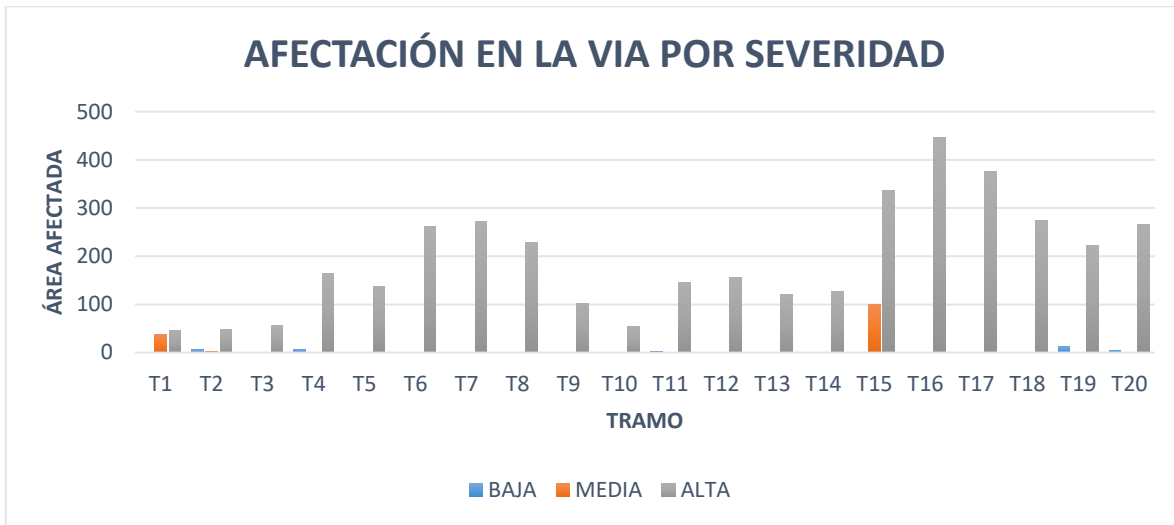


Ilustración 10-3. Afectación en la vía por severidad

Fuente: Propia, 2020

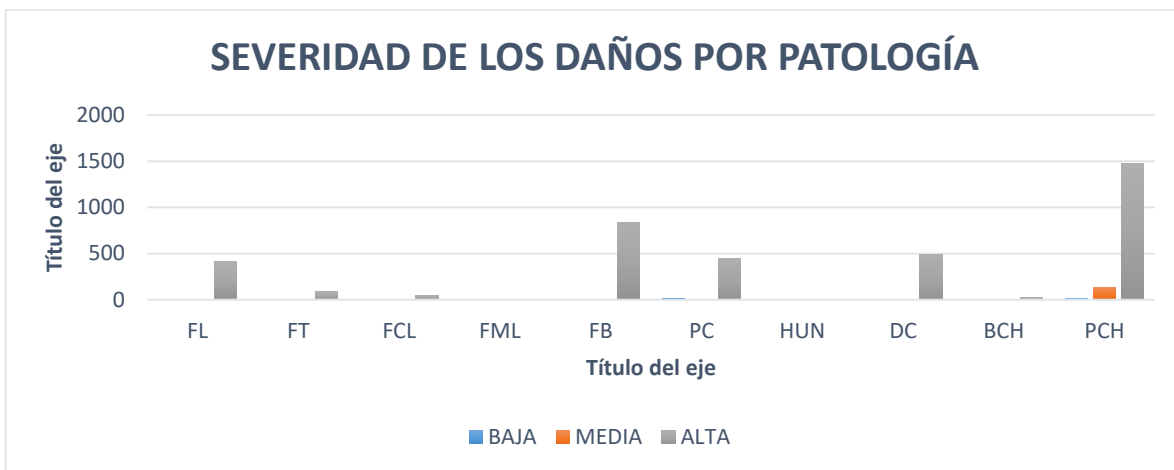


Ilustración 10-4. Severidad de los daños por patología

Fuente: Propia, 2020

En la ilustración 10-4 se muestra, la clasificación de severidades por patología, donde predomina el parche (PCH) en severidad alta, con un área total de afectación de 1479.2 m², 136.9 m² severidad media y tan solo 16 m² presentan severidad baja.

10.2. DAÑOS SUPERFICIALES

Para el análisis de los datos correspondientes a los daños superficiales nuevamente se procede a realizar grafica donde se logra observar la magnitud del área dañada de cada tramo, donde esta vez se presentan múltiples tramos con la mayor afectación posible, siendo esta de 1050 m², debido que a lo largo de toda la carreta y principalmente en estos tramos se evidencia una alteración de la superficie de la capa de rodadura, siendo esto a causa de la cabeza dura (CD) presente en la estructura.

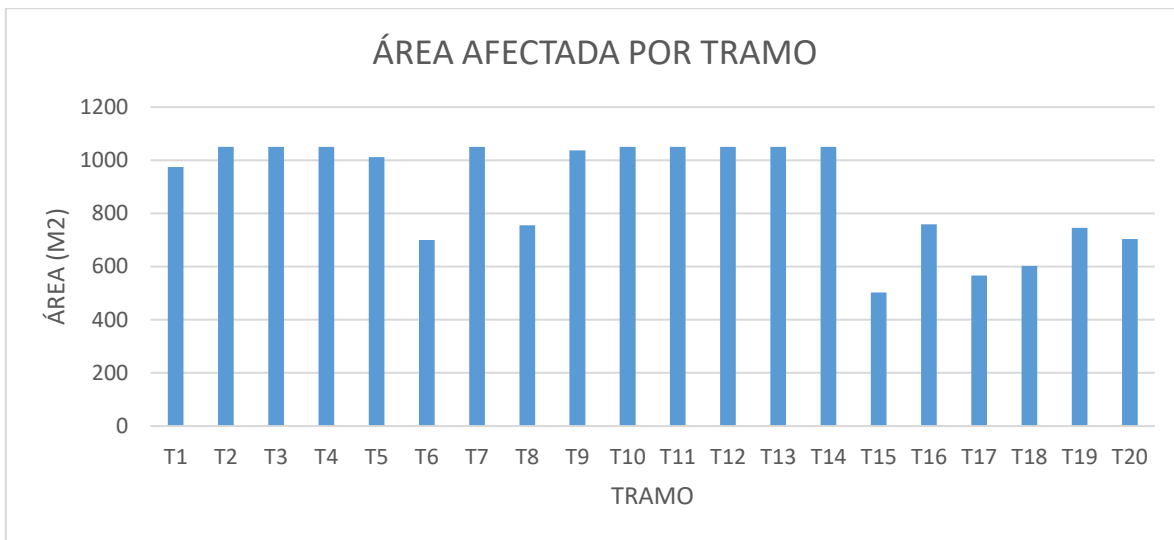


Ilustración 10-5. Área afectada por tramo

Fuente: Propia, 2020

Complementando el análisis de la afectación a causa de los daños superficiales se realiza la representación gráfica de la distribución de los daños por tipo y severidad, donde la patología que más se presenta es la cabeza dura (CD).

DISTRIBUCIÓN DEL DAÑO POR PATOLOGÍA		
Patología	Área (m2)	Porcentaje
PA (Alta)	18,8	0,09
CD	17790,1	84,71

NIVELES DE SEVERIDAD	
Bajo	
Medio	
Alto	
N/A	

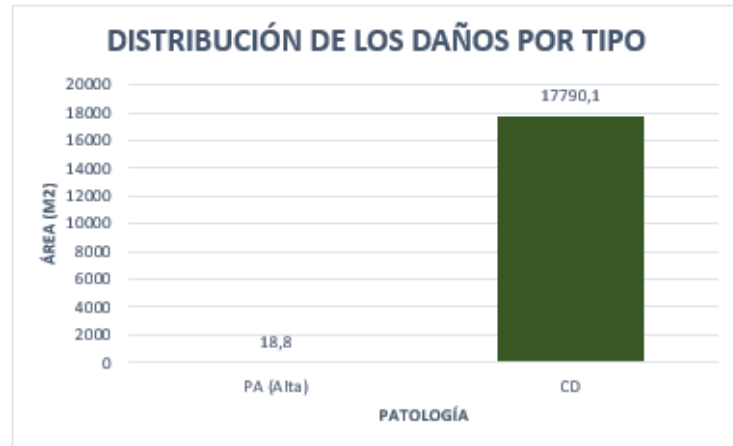


Ilustración 10-6. Distribución de los daños superficiales

Fuente: Propia, 2020

En la ilustración 10-6 se puede ver como los daños en la superficie del pavimento flexible, solo presentan dos tipos de patologías, Cabeza dura (CD) y perdida de agregado (PA), son daños que se presentan constantemente durante los 20 tramos afectando la mayoría del área de estudio.

11. FASE III – DESARROLLO DEL MÉTODO PCI

El PCI del pavimento flexible de la vía se determina acorde a los lineamientos descritos en el manual. Los cálculos y graficas utilizados para la determinación de los resultados aquí mostrados se encuentran adjuntos en el **ANEXO C**. La matriz donde se analizaron los datos obtenidos en campo se compone de los siguientes apartados:

1. Total: se define como la suma de las áreas de las patologías semejantes discriminando por el tipo de severidad

2. Densidad: es la relación entre cada total obtenido y el área de muestreo de la unidad, dando como resultado una cifra indicada en porcentaje

3. Valor deducido: se obtiene a partir de las curvas de valor deducido y la densidad teniendo en cuenta el tipo de patología y su respectiva severidad

Los valores del total, la densidad y el valor deducido de cada una de las unidades se colocaron en el formato PCI para pavimento flexible, como se muestra en la ilustración 6-3

4. Cálculo del PCI: una vez obtenidos los valores deducidos, se procedió al cálculo de los valores deducidos corregidos por medio de las curvas y el valor deducido total (TDV), para así definir el máximo valor deducido corregido y de esta manera el PCI

Tabla 11-1. Resultado del análisis del PCI por unidad

Unidades inspeccionadas	Abscisa inicial	Abscisa final	PCI	
1	K0+000	K0+31.5	16	
2	K0+154.5	K0+186.0	47	
3	K0+309.1	K0+340.6	64	
4	K0+463.6	K0+495.1	38	
5	K0+618.1	K0+649.6	7	
6	K0+772.7	K0+804.2	54	
7	K0+927.2	K0+958.7	66	
8	K1+081.7	K1+113.2	36	
9	K1+236.3	K1+267.8	54	
10	K1+390.8	K1+422.3	4	
11	K1+545.3	K1+576.8	0	
12	K1+699.8	K1+731.3	18	
13	K1+854.4	K1+885.9	30	
ADICIONAL	14	K1+968.5	K2+000	82

Fuente: Propia, 2020

5. Se calculó el PCI de la vía, teniendo en cuenta la ecuación 6-11 y el resultado de este se muestra en la tabla 11-3, dicho resultado se determina a partir de las variables mostradas en la tabla 11-2.

Tabla 11-2. Variables para la determinación del PCI

PCI_R	33.38
PCI_A	82
N	63
A	1

Fuente: Propia, 2020

Tabla 11-3. PCI del tramo inspeccionado

PCI_S	34.15
Clasificación	MALO

Fuente: Propia, 2020

12. FASE IV – PLAN DE MANTENIMIENTO

PATOLOGÍA	
Fisuras longitudinales (FL) , fisuras transversales (FT) , fisuras en juntas de construcción (FCL, FCT) y fisuras en media luna (FML)	
CAUSAS PROBABLES	
<ul style="list-style-type: none"> • Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido al envejecimiento del asfalto ante gradientes térmicos altos (superiores a 30°). <ul style="list-style-type: none"> • Reflexión de grietas de las capas inferiores. • Fatiga de la estructura, presente en las huellas del tránsito. <ul style="list-style-type: none"> • Riego de liga insuficiente o ausencia total. • Espesor insuficiente de la capa de rodadura. • Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad. <ul style="list-style-type: none"> • Deficiencias de compactación en la zona de la junta. • Unión entre materiales de diferente rigidez. 	
SOLUCIÓN	
<p>Procedimiento para el correcto sellado de fisuras:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar las fisuras con aire comprimido para remover partículas de polvo, materiales sueltos, etc., que puedan impedir la adhesión del sellante. 2. Con una (lanza de riego o una mezcla de emulsión y arena) aplicar lo más cerca posible para lograr un sello óptimo. 3. Para Generar efecto impermeabilizante se extiende la banda de sellado, por los lados del área afectada y así garantizar la protección del sello. (evitando excesos) 4. Por último, se debe dejar limpio la zona de trabajo. 	
AFECTACIÓN	
Tramos afectados.	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T 15, T16, T18, T19, T20

Ilustración 12-1. Ficha técnica de mantenimiento

Fuente: Propia, 2020






PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL DE LA CALLE 35 ENTRE CARRERA 4 NORTE Y 15 ESTE EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO - META						
°N	Tipo	Mantenimiento	Patología	Severidad	Actividad	Foto
1	Rutinario	Tratamiento de fisuras	Fisuras longitudinales	Alta, media y baja	Limpiar con aire comprimido, aplicar sello empleando una (lanza de riego o una mezcla de emulsion y arena) e impermeabilizar la zona reparada.	
			Fisuras transversales	Alta, media y baja		
			Fisuras en juntas de construcción	Alta, media y baja		
			Fisuras en media luna	Alta, media y baja		
2	Rutinario	Parcheo	Fisuras en bloque	Alta y media	Cortar y excavar la estructura de pavimento, para posteriormente rellenar con mezcla asfáltica y construir el parche	
			Piel de cocodrilo	Alta y media		
			Parches	Alta y media		
3	Rutinario	Bacheo	Baches	Alta	Cortar y excavar la estructura de pavimento, para posteriormente rellenar con material de sub-base, base o mezcla asfáltica, y poder reconstruir y restaurar la estructura de pavimento.	
4	Periodico	Reciclado en caliente IN-SITU	Cabeza dura	N/A	Calentar, escarificar y restaurar la capa de rodadura	
			Perdida de agregado	Alta		
5	Periodico	Tratamiento superficial	Cabeza dura	N/A	Aplicaciones sucesivas de emulsion asfáltica de rotura rápida y capas de grava de tamaño uniforme	
			Perdida de agregado	Alta		

Ilustración 12-2. Plan de mantenimiento (Parte I)

Fuente: Propia, 2020






PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL DE LA CALLE 35 ENTRE CARRERA 4 NORTE Y 15 ESTE EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO - META						
°N	Tipo	Mantenimiento	Patología	Severidad	Actividad	Foto
6	Rutinario	Limpieza	Sumideros tapados	N/A	Limpiar todos y cada uno de los elementos que hacen parte la via y puedan llegar a ocasionar futuros accidentes.	
			Alcantarillas			
			Señalización			
7	Rutinario	Roceria y desmonte	Aparición de moho, suciedad, arbustos y maleza	N/A	Remover y limpiar las zonas aledañas a la via como separadores y demas que dañen y/o afecten de manera directa o indirecta el correcto funcionamiento de la via	
8	Periodico	Lineas de demarcacion y marcas viales	Desgaste de pintura	N/A	Demarcar cada una obras de seguridad vial presentes en el tramo vial.	
9	Periodico	Rastreo	Material suelto - derecho de via	N/A	Reacomodar el material superficial de las zonas laterales del derecho de via, con el fin de mejorar el aspecto y el drenaje superficial de la carretera	
10	Rutinario	Mantenimiento de islas, pasos peatonales a desnivel y paraderos	Deterioro	N/A	Mantenimiento general cada una de las islas, pasos peatonales a desnivel y paraderos. (baches en pasos peatonales, deterioro, exceso de vegetacion)	

Ilustración 12-3. Plan de mantenimiento (Parte II)

Fuente: Propia, 2020

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Empleando la metodología INVIAS en los 2 km inspeccionados de la estructura de pavimento flexible de la calle 35 entre carreras 4 norte y 15 este, se encontraron más de 13 patologías, destacando los parches y las fisuras en bloque. Los parches corresponden al 7.77% del área total del pavimento con un 7.04% de estos en severidad alta, 0.65% media y 0.076% baja, seguidos de estos están las fisuras en bloque donde estas ocupan 4% del área total en severidad alta. De los 20 tramos inspeccionados el tramo más afectado es el 16 (T16) comprendido entre las abscisas K1+500 y K1+600, el cual presenta en su mayoría múltiples fisuras de distintos tipos y desgaste en su capa de rodadura, dando paso a la presencia de cabeza dura.

Empleando la metodología del PCI, se logra determinar que el índice de condición del pavimento del tramo vial entre las carreras 4 norte y 15 este, dando como resultado 34.15, a lo que dicho valor numérico estandariza la estructura de pavimento del tramo vial estudiado en comprendido en la calle 35 categoría de "MALO", esto quiere decir, que la estructura del pavimento según las 14 unidades inspeccionadas se encuentra en condiciones poco favorables, 1 se clasifica en estado "muy bueno", 2 en "bueno", 3 en "regular", 3 en "malo", 2 en "muy malo" y 3 unidades en estado crítico o "fallado". La unidad 11 es la más afectada, debido a que posee un 23.28% de parches, 1.51% huecos en severidad alta y 6.38% en severidad baja, 6.35% piel de cocodrilo, 4.23% fisuras en bloque, 2% de fisuras longitudinales y transversales.

14. RECOMENDACIÓN DE MANTENIMIENTO

En el tramo vial comprendido en la calle 35 entre la carrera 4 norte y la carrera 15 este, mayormente se encuentran fisuras longitudinales, transversales y en bloque, por lo tanto, para la solución de este tipo de patología se recomienda, primeramente, limpiar las fisuras con aire comprimido para remover partículas de polvo, materiales sueltos, entre otros. Posteriormente con una lanza de riego aplicar tan cerca como sea posible un sello de emulsión asfáltica y por último generar efecto impermeabilizante mediante la banda de sellado, esparciéndola por la superficie y de esta manera garantizar la protección del sello y darle una solución definitiva ante la presencia de este tipo de patologías

Además, en este tramo vial también se presenta piel de cocodrilo y parches averiados, por lo que ante la magnitud de estos daños se recomienda retirar la carpeta asfáltica existente y revisar el estado de la carpeta rígida (base), debajo de la capa de rodadura, debido a que la fatiga en la mayoría de los casos se propaga desde la capa inferior, por lo tanto, estas deberían ser reparadas, si es el caso, desde la base granular.

En cuanto a los baches, se debe emplear labores de parcheo y la posterior reparación de las capas afectadas, ejecutando como primera acción la remoción del área afectada por medio de un corte uniforme en la capa de rodadura, como segunda acción, se procede a limpiar y analizar si la base granular resulto afectada, para determinar si merece o no ser reemplazada, como tercera acción se podría emplear una emulsión asfáltica de rotura lenta como ligante de subbase y por último volver a emplear una mezcla asfáltica en caliente que cumpla con las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS, para darle una solución definitiva a este tipo de patología.

Ante la presencia de daños superficiales como cabezas duras y descascaramientos lo más recomendado sería un fresado de la zona afectada, donde se retire la carpeta asfáltica afectada con una máquina fresadora y posteriormente emplear una emulsión asfáltica de rotura lenta y por último colocar una mezcla asfáltica en caliente que cumpla con las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS.

15.RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 15-1. Resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Levantamiento de daños	Formatos de inspección INVIAS	Identificar los tipos de patologías que presenta la vía a través de una inspección visual de daños mediante los formatos establecidos por el INVIAS.
Categorización por daños	Hoja de cálculo	Determinar de manera cuantitativa y cualitativa el estado de afectación actual de la estructura de pavimento empleando el método PCI.
Plan de mantenimiento y recomendaciones alternativas	Informe técnico	Establecer y recomendar métodos alternativos que permitan el mejorar la capacidad de la estructura del pavimento para futuras intervenciones.

Fuente: Propia, 2020

Tabla 15-2. Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	Aumento de tránsito vehicular en la zona	Habitantes de Villavicencio y otros territorios	Mediano plazo
Económico	Aumento del PIB en la región	Habitantes del Meta	Largo plazo
Académico	Plan de mantenimiento	Alcaldía de Villavicencio	Mediano plazo
Técnico	Informe técnico de las patologías encontradas	Estudiantes e ingenieros que requieran del estudio	Corto plazo
Científico	Proposición de alternativas	Comunidad estudiantil	Corto plazo

Fuente: Propia, 2020

16. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

16.1. CONCLUSIONES

En la ejecución de levantamiento de daños mediante la inspección visual que establece el INVIAS se lograron evidenciar múltiples clases de patologías como: fisuras, pérdida de las capa de la estructura y daños superficiales, principalmente de severidad alta y media según la clasificación establecida por el INVIAS, de los tres carriles que posee el tramo vial el carril del centro es el más afectado, sobre este se evidencia la mayor variedad de patologías, presentando principalmente fisuras en bloque y parches donde estas representan un 4% y 7% respectivamente del área total inspeccionada, donde el porcentaje de afectación total de la vía por daños generales corresponde al 19.1% y en cuanto a daños superficiales primaba la cabeza dura con 84.71% del área total inspeccionada, donde el porcentaje afectación total de la vía por daños superficiales corresponde al 84.8%, siendo esta ultima la causal de ruidos al transitar los automotores debido a la alteración en la superficie de la capa de rodadura que esta genera, cabe resaltar que el exceso de patologías presentes en el tramo vial estudiado se debe a la ausencia de mantenimientos preventivos de tipo rutinario y/o periódico desde la concepción de la vía.

Con un valor de 34,15 como resultado total después inspeccionar las 14 unidades de muestreo establecidas por los lineamientos del manual del Pavement Condition Index, se logra establecer el estado actual de la estructura de pavimento flexible del tramo vial de la calle 35 comprendido entre la carrera 4 norte y carrera 15 este, enmarcando este valor numérico en una variable de tipo cualitativa dada por el PCI, el estado actual de la estructura de pavimento de dicho tramo seria “MALO”.

Siendo distintos ambos métodos, el PCI y el establecido por el INVIAS, y por ende incomparables entre sí, al tener diferencias en su estructura, para el caso de este estudio, en ambos métodos se identificó que el tramo más afectado es el 16 (T16) , en el INVIAS está explicito como tramo 16, comprendido entre las abscisas K1+500 y la K1+600 y presenta un porcentaje de afectación del 42.52% y en el PCI está implícito en la unidad 11, la cual presenta un valor de PCI de 0 que corresponde a una estructura de pavimento en estado crítico o “fallado”.

Para que la avenida Catama, calle 35 entre carrera 4 norte y 15 este, cumpla con los parámetros básicos según el INVIAS (seguridad, comodidad y eficiencia) es de orden prioritario realizar labores de mantenimiento, en donde se propongan trabajos exclusivamente de reparación de daños, con el objeto de mejorar las condiciones actuales de la vía a nivel superficial y estructural; seguido de mantenimientos rutinarios que comprendan actividades de limpieza general y por ultimo aplicar planes de mantenimientos periódicos.

16.2. TRABAJOS FUTUROS

Este trabajo desde su concepción tuvo como objeto contribuir al mejoramiento de la infraestructura vial de la ciudad, por lo tanto, es un referente para las futuras intervenciones que se le realicen a la malla vial de Villavicencio, en especial a la calle 35 (Avenida Catama), siendo el plan de mantenimiento aquí mostrado una propuesta de solución efectiva y aplicable, ante la problemática latente de la ausencia de mantenimientos en la vías, donde si se quisiera realizar una intervención veraz los mantenimientos alternativos planteados también serían una opción para la construcción y reparación de vías de la ciudad de Villavicencio.

Así mismo, el desarrollo de este documento se convierte en una referencia para trabajos futuros relacionados con levantamiento de daños y mantenimiento periódico o rutinario en pavimentos flexibles, teniendo como resultado una vía segura, cómoda y eficiente.

17. BIBLIOGRAFÍA

- [1 LLANO 7 DÍAS, «El 96 por ciento de la malla vial de Villavicencio está en mal estado,» *EL TIEMPO*, 13 11 2012.
- [2 PDM, «Nueva cara a la malla vial,» *Periódico del Meta*, 28 03 2018.
- [3 Alcaldía de Villavicencio, «INFORME DE GESTION VIGENCIA 2018,» Enero 2019. [En línea]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/INFORME%20DE%20GESTION%20VIGENCIA%202018%20-%20ALCALDIA%20DE%20VILLAVICENCIO.pdf>. [Último acceso: diciembre 2019].
- [4 A. C. Romero Aya y R. E. Guevara Ruíz, «CRAI USTA,» Abril 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16893>. [Último acceso: 30 enero 2020].
- [5 Secretaria de Movilidad de Villavicencio, «Alcaldía de Villavicencio Meta,» 16 04 2018. [En línea]. Available: <http://villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Secretar%C3%ADa-de-Movilidad-revela-los-puntos-de-mayor-accidentalidad-en-la-ciudad.aspx>. [Último acceso: 30 01 2020].
- [6 Instituto Nacional de Vías, «INVIAS,» 10 2006. [En línea]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>. [Último acceso: 13 10 2019].
- [7 L. R. VÁSQUEZ VARELA, «SJNVARRO,» 02 2002. [En línea]. Available: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>. [Último acceso: 13 10 2019].
- [8 Alcaldía de Villavicencio, «Alcaldía de Villavicencio Meta,» Alcaldía de Villavicencio, 18 03 2016. [En línea]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/Dependencias/Paginas/Infraestructura.aspx>. [Último acceso: 28 08 2019].
- [9 ViveElMeta, «ViveElMeta.com,» 15 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.viveelmeta.com/eaav-trabaja-para-restablecer-servicio-de-agua-en-villavicencio-2210/>. [Último acceso: 30 01 2020].
- [1 H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, Pavimentos: materiales, 0] construcción y diseño, Bogotá D.C.: ECOE, 2015.
- [1 A. Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, Bogotá: Universidad Católica de 1] Colombia, 2006.
- [1 E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. 2] A635-A646, 2005.
- [1 L. A. Pinto Rojas y J. S. Torres Quintín, «CRAI USTA,» mayo 2020. [En línea]. 3] Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/23954>. [Último acceso: 30 junio 2020].

- [1 R. J. Miranda Rebolledo , 2010. [En línea]. Available: 4] <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>. [Último acceso: 07 10 2019].
- [1 A. R. CAROL ACOSTA, «CRAI USTA,» USTA, 2017. [En línea]. Available: 5] <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/9532>. [Último acceso: 25 10 2019].
- [1 G. A. Arias Díaz, «CRAI USTA,» USTA, 2019. [En línea]. Available: 6] <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18292>. [Último acceso: 22 10 2019].
- [1 G. GAMBOA, «REPOSITORIO USTA,» USTA, 2019. [En línea]. Available: 7] <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16470>. [Último acceso: 25 10 2019].
- [1 V. L. A. O. ANDRES HILLON, «REPOSITORIO USTA,» USTA, 2017. [En línea]. 8] Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10203>. [Último acceso: 27 10 2019].
- [1 L. C. C. O. KAREM PEÑA, «REPOSITORIO UCC,» 2018. [En línea]. Available: 9] <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/6834>. [Último acceso: 11 10 2019].
- [2 D. R. J. V. HECTOR GOMEZ, «REPOSITORIO UCC,» 2017. [En línea]. 0] Available: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/4389>. [Último acceso: 24 10 2019].

ANEXOS

ANEXO A

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS Y FORMATOS DE INSPECCIÓN INVIAS

ANEXO B

ANÁLISIS DE DAÑOS SOBRE SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA METODOLOGÍA INVIAS

ANEXO C

ANÁLISIS DE DAÑOS SOBRE SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA METODOLOGÍA PCI (PAVEMENT CONDITION INDEX)

ANEXO D

PLAN DE MANTENIMIENTO