PROYECTO APLICADO A LA INGENIERÍA CIVIL

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA CATAMA (CALLE 35) EN EL TRAMO ENTRE LA CARRERA 20D HASTA LA CARRERA 5, DE VILLAVICENCIO (META)

Por:

**Marian Camila Carreño Castañeda
María Camila Gómez Agudelo**

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

PROYECTO APLICADO A LA INGENIERÍA CIVIL

**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
FLEXIBLE DE LA AVENIDA CATAMA (CALLE 35) EN EL TRAMO ENTRE LA
CARRERA 20D HASTA LA CARRERA 5, DE VILLAVICENCIO (META)**

Por:

**Marian Camila Carreño Castañeda
María Camila Gómez Agudelo**

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

Aprobado por:

I.C. Jessica María Ramírez Cuello, MSc.
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

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón, MSc.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

JESSICA MARÍA RAMÍREZ CUELLO
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 27 de Mayo de 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado es dedicado primeramente a Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y por regalarnos fortaleza para alcanzar nuestros objetivos.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. A mis padres (Floribeth Agudelo y Felipe Gómez) por su apoyo, consejos, comprensión en los momentos más difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios durante la carrera. A mis hermanas (Sandy Gómez y Angie Álvarez) por estar siempre presentes y acompañándome durante esta etapa.

María Camila Gómez Agudelo

Dedico este logro a mi familia, a mis padres (Ferney Carreño y Liliana Castañeda) y a mi hermano (Julián Carreño), porque con ellos he tenido el apoyo necesario para no desanimarme por los obstáculos que me ponga la vida si no al contrario esforzarme por mejorar y cumplir como persona.

Marian Camila Carreño Castañeda

AGRADECIMIENTOS

A Dios por hacer realidad esta etapa de mi vida con éxito y mucho aprendizaje en esta carrera como próxima ingeniera civil. A mis padres que siempre han estado para apoyarme en todas las metas que me propongo y por su amor incondicional. A mi directora de tesis por su asesoramiento y experiencias compartidas para la realización del proyecto, como a todo el cuerpo docente que me acompañaron y me ofrecieron su conocimiento fundamental en la formación académica.

María Camila Gómez Agudelo

Primeramente, gracias a Dios que es el promotor de mi vida porque sin él no tendería guía, ni la sabiduría para crear ideas y escribir mis aportes en este proyecto, por permitirme tener las ganas y el entusiasmo para no darme por vencida al querer realizar mis sueños. Gracias también a mis padres porque me apoyaron para realizar mis estudios, porque me enseñan los valores de querer ser alguien en la vida, aconsejándome y guiándome en todo momento.

Marian Camila Carreño Castañeda

RESUMEN

La avenida Catama es un corredor vial muy importante en la ciudad de Villavicencio, en el cual se ha venido presentando deterioros en la estructura del pavimento, afectando a los usuarios que transitan por la vía. Por esto, fue necesario realizar un levantamiento minucioso de las patologías del pavimento y proponer un plan de mantenimiento para la estructura del mismo, específicamente en la calle 35 del municipio de Villavicencio-Meta, en la zona comprendida desde la carrera 20d hasta la carrera 5, teniendo en cuenta las áreas más afectadas.

La realización de un conteo vehicular, teniendo en cuenta las horas picos y analizar el TPD (tránsito promedio diario) fue uno de los primeros pasos para evidenciar el porcentaje de vehículos pesados que transitan en la vía causando los posibles daños en el pavimento, posteriormente para el registro y análisis de los daños se utilizaron dos métodos, el primero corresponde a la inspección visual del tramo, obteniendo información del estado físico de la vía y se analizan según el manual del INVIAS teniendo en cuenta el carril, el tipo de daño, la severidad y las dimensiones, en el segundo método se calcula el PCI (Pavement Condition Index) para detallar con más precisión el daño del pavimento teniendo en cuenta las unidades de muestreo seleccionadas y así identificar el grado de afectación para cada tipo de daño, densidad y nivel de severidad sobre la condición del pavimento.

Con la identificación de la problemática, la recolección de datos y muestras se propone un plan de mantenimiento que se basa en las posibles causas de los daños presentados y en mantenimientos alternativos que se pueden aplicar con base a las especificaciones existentes, teniendo en cuenta mejorar la capacidad estructural de la vía y reducir los costos de mantenimiento y construcción.

Palabras Clave: *Deterioros, mantenimiento, pavimento, tránsito.*

ABSTRACT

Catama Avenue is a very important road corridor in the city of Villavicencio, where the pavement structure has been deteriorating, affecting the users who travel on the road. For this reason, it was necessary to carry out a detailed survey of the pavement pathologies and propose a maintenance plan for the pavement structure, specifically on 35th Street in the municipality of Villavicencio - Meta, in the area from 20d to 5, taking into account the most affected areas.

A vehicle count, taking into account the peak hours and analyzing the TPD (average daily traffic) was one of the first steps to evidence the percentage of heavy vehicles that travel on the road causing possible damage to the pavement. Subsequently, two methods were used to record and analyze the damage, the first being a visual inspection of the section, The second method calculates the PCI (Pavement Condition Index) to detail more precisely the damage to the pavement, taking into account the selected sampling units and thus identify the degree of impairment for each type of damage, density and level of severity on the condition of the pavement.

With the identification of the problem, data and sample collection, a maintenance plan is proposed that is based on the possible causes of the damage presented and on alternative maintenance that can be applied based on existing specifications, taking into account improving the structural capacity of the road and reducing maintenance and construction costs.

Key Word: Damages, maintenance, pavement, traffic.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
3.	JUSTIFICACIÓN.....	14
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
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	25
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	28
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	31
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	32
7.	METODOLOGÍA	34
7.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	34
7.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
8.	ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	37
9.	ETAPA 2. INSPECCIÓN DEL ESTADO DE LA VÍA	38
9.1.	DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL AFORO.....	38
9.2.	LEVANTAMIENTO Y REGISTRO DE DAÑOS EN FORMATO INVIAS	41
9.3.	EVALUACIÓN DE DAÑOS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, INVIAS.....	43
10.	ETAPA 3. ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	59
11.	ETAPA 4. PLAN DE MANTEMIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	62
12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
13.	RESULTADOS E IMPACTOS	70
14.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	71
14.1.	CONCLUSIONES	71
14.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	72
	BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1. Tipos de deterioros o deformaciones	18
Tabla 6-2. Rangos de clasificación del PCI	23
Tabla 6-3. Marco normativo.....	31
Tabla 9-1. Datos TPD de los tramos	39
Tabla 9-2. Registro de daños	43
Tabla 9-3. Comentarios y geometría de la vía.....	43
Tabla 9-4. Hoja y análisis de datos	45
Tabla 10-1. Formato PCI descripción	59
Tabla 10-2. Valores deducidos tramo 1.....	60
Tabla 10-3. Valores deducidos tramo 2.....	60
Tabla 10-4. PCI del tramo 1	60
Tabla 10-5. PCI del tramo 2	60
Tabla 10-6. PCI de las unidades inspeccionadas.....	61
Tabla 10-7. Datos para determinar el PCI	61
Tabla 10-8. PCI del pavimento flexible	61
Tabla 11-1. Resumen del plan de mantenimiento	62
Tabla 11-2. Propuesta para el mantenimiento del pavimento flexible	65
Tabla 13-1. Resultados esperados.....	70
Tabla 13-2. Impactos del proyecto	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1. Ubicación de Villavicencio en el departamento	32
Figura 6-2. Tramo que estudiar de la Calle 35 avenida Catama	32
Figura 7-1. Etapas metodológicas	35
Figura 9-1. Flujo Vehicular	38
Figura 9-2. TPD de los tramos.	40
Figura 9-3. Miércoles, 26 de febrero de 2020.....	41
Figura 9-4. Formato inspección visual INVIAS.	41
Figura 9-5. Área afectada por tramos.....	46
Figura 9-6. Distribución de los daños de severidad alta por tipo.	47
Figura 9-7. Distribución de los daños de severidad media por tipo.	47
Figura 9-8. Distribución de los daños de severidad baja por tipo.	48
Figura 9-9. Sin grado de severidad por tipo.	48
Figura 9-10. Extensión total de daños.....	49
Figura 9-11. Área afectada por tramos del carril externo.	50
Figura 9-12. Distribución de los daños de severidad alta por tipo del carril externo.	51
Figura 9-13. Distribución de los daños de severidad media por tipo del carril externo. Fuente: Propia.....	52
Figura 9-14. Distribución de los daños de severidad baja por tipo del carril externo.	52
Figura 9-15. Distribución de los daños sin grado de severidad por tipo.	53
Figura 9-16. Área afectada por tramos del carril central.	53
Figura 9-17. Distribución de los daños de severidad alta por tipo del carril central. Fuente: Propia.....	54
Figura 9-18. Distribución de los daños de severidad media por tipo del carril central. Fuente: Propia.....	54
Figura 9-19. Distribución de los daños de severidad baja por tipo del carril central. Fuente: Propia.....	55
Figura 9-20. Distribución de los daños sin grado de severidad por tipo del carril central. Fuente: Propia	55
Figura 9-21. Área afectada por tramos del carril interior.	56
Figura 9-22. Distribución de los daños de severidad alta por tipo del carril interno. Fuente: Propia.....	57
Figura 9-23. Distribución de los daños de severidad media por tipo del carril interno. Fuente: Propia.....	57
Figura 9-24. Distribución de los daños de severidad baja por tipo del carril interno. Fuente: Propia.....	58
Figura 9-25. Distribución de los daños sin grado de severidad por tipo del carril interno. Fuente: Propia	58

1. INTRODUCCIÓN

La evolución de las carreteras y el avance tecnológico ha impulsado a grandes profesionales expertos en el ámbito de la construcción a ingeniar diversas soluciones a los inconvenientes que puedan ocurrir a la hora de realizar una obra de infraestructura vial, generando alternativas en la construcción y mantenimiento, económicamente viables, para obtener una vía con mayor eficiencia, comodidad, seguridad y transitabilidad.

El pavimento, es una estructura constituida por diferentes capas, diseñadas y construidas técnicamente sobre la subrasante, con el fin de soportar las cargas del parque automotor y los cambios del medio ambiente. Así mismo transferir esfuerzos y deformaciones a las diferentes capas hasta llegar al suelo natural o de fundación de una manera tolerable, evitando daños por fatiga y/o ahuellamiento.

La red vial actualmente es considerada como uno de los proyectos más importantes en obras civiles, ya que este tipo de infraestructura contribuye al desarrollo y crecimiento económico, cultural y social de un país, además, permite la comunicación entre puntos de producción y consumo de cualquier lugar. Por esta razón es necesario tener en cuenta el mantenimiento y conservación de esta para que funcione en óptimas condiciones y evitar mayores costos en su rehabilitación.

Por lo anterior, este proyecto iniciará con un diagnóstico de la vía, en el que se conocerá las condiciones actuales del pavimento, analizando las fallas que puedan presentar y determinar las causas y orígenes, así mismo se propondrá la mejor solución, ya sea realizar mejoras, mantenimiento o construirla de nuevo, teniendo en cuenta la posición económica y técnica para satisfacer las necesidades de la comunidad.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las condiciones de una estructura de pavimento dependen principalmente del diseño y de la construcción de la misma, resaltando que uno de los mayores causantes del deterioro de los pavimentos en Colombia son el aumento ilegal de carga, la falta de recursos para la realización de investigaciones tecnológicas que aporten a nuevos diseños y obras de mantenimiento y rehabilitación con una calidad mejor de materiales [1].

Una de las vías que sufre deterioros constantemente es la avenida Catama o calle 35 de la ciudad de Villavicencio (Meta), aunque la problemática es mayor en el tramo comprendido entre las carreras 20d a la 5, pues pese a que la administración municipal realiza periódicamente mantenimiento de la carpeta asfáltica, en corto tiempo vuelve a deteriorarse, llegando incluso a estado más crítico, causando pérdida en la capa asfáltica y desgaste en la señalización horizontal.

Por lo tanto, con este proyecto se tiene propuesto identificar el deterioro que presenta el pavimento de la avenida Catama de la ciudad de Villavicencio, en el tramo comprendido entre las carreras 20d a la 5, a través de una inspección visual y un estudio de tránsito, con el fin de proponer un plan de mantenimiento que mejore la movilidad de la zona y la capacidad funcional de la estructura de pavimento.

Se considera desarrollar un diagnóstico del deterioro del pavimento con el fin de examinar si este fue diseñado para soportar las cargas de tránsito actuales y así analizar la causa de los daños, dado que no solo ocasiona accidentes, sino que afecta la movilidad de la zona.

Cabe resaltar que el tramo de la calle 35 (avenida Catama) de Villavicencio que comunica la carrera 20d con la carrera 5, es muy conocido e importante, puesto que transitan vehículos livianos y pesados comunicando una gran parte de la comunidad villavicense, desde el centro hasta la parte inferior de la ciudad, por ende, es necesario proponer un mejoramiento tecnológico que se le puede implementar a la estructura de pavimento existente, con el fin de satisfacer las necesidades actuales.

3. JUSTIFICACIÓN

“La red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento porque es el único medio que posibilita el transporte de las personas y las cargas”, comenta el magíster Julián Rivera [2].

En los países de Latinoamérica se presentan problemas en cuanto a la infraestructura vial, comparado con otros países, y esto es una gran desventaja ya que no se considera competitivo, debido a que en países con gran desarrollo las vías son más amplias, mejor diseñadas con tecnología avanzada, pues el transporte es más accesible, con menos gastos económicos y menos tiempo de viaje, por el contrario, en la región las carreteras no son económicas y se caracterizan por trazados que no conectan de forma rápida a los centros de consumo y producción de bienes. De otra parte, en el contexto de la infraestructura urbana falta mayor participación y fiscalización del Ministerio de Transporte. “La corrupción es otro mal de las obras de infraestructura que preocupa a la academia, ya que los contratos favorecen a la persona que va a contribuir con esa corrupción y la obra termina siendo una propuesta de solución que tiene que considerar una “mordida” en términos de dinero para pagar ese favor. Lo que queda para hacer la vía es poco y termina siendo una obra sin las condiciones para que sea realmente esa solución que se proponía ser”, comenta el docente Valencia Alaix [3]

Un buen diseño de infraestructura vial en Colombia puede suplir exitosamente buena parte de las necesidades básicas de la población, como lo es la salud, el trabajo, la alimentación y la educación, por ello la red vial se debe realizar como un plan estratégico con el fin de no solo complacer el turismo en las grandes carreteras, sino también invertir en las principales necesidades de la población, mejorando la calidad de vida de las personas.

A través de este proyecto, se podrá visualizar la inconformidad de los habitantes en su uso diario, en cuanto al desgaste que puedan presentar los vehículos que circulan sobre la misma, como también las maniobras que deben realizar los conductores a la hora de encontrarse con un ahuellamiento o pequeños cráteres en el pavimento. Por consiguiente, se evidencia que es un tramo de vía deteriorado lo que no permite al ciudadano circular correctamente, aumentando largas filas de vehículos lo que se conoce coloquialmente como “trancón”, afectando la comunicación que puede prestar esta vía, lo que altera el desarrollo diario de los habitantes.

Es de anotar que la vía en estudio se considera como una de las más importantes de la ciudad, debido a que es fundamental para su desarrollo, pues por ella se transportan una suma importante de productos agrícolas que son llevados y comercializados en la central de abastos de Bogotá. El tramo de vía estudiado cuenta a simple vista con una topografía plana, ya que es una recta, con curvas amplias de grandes radios. En esta vía la falta de mantenimiento a ocasionado deterioro en la estructura de pavimento, pues en algunos tramos se encuentra

pérdida de la carpeta asfáltica en la estructura de pavimento, pero esto no es lo único, también se evidencia la falta de cunetas y sumideros de agua lluvia [4].

El proyecto busca plantear una propuesta, dejándola a discreción de la administración municipal para que sea evaluada; aunque, se espera que, de llegarse a aprobar la solución propuesta, ésta ayudaría a facilitar el transporte de la población que transita por este tramo, gracias a dicha necesidad surge este proyecto aplicado a la ingeniería con el propósito de encontrar una solución a este problema que día a día incrementa, el cual se ve reflejado en la estructura de pavimento.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de mantenimiento para la estructura de pavimento del tramo de la calle 35 (avenida Catama) de Villavicencio que comunica la carrera 20d con la carrera 5.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el volumen de tránsito promedio diario del tramo de estudio de la vía, a través de un conteo vehicular.
- Identificar de manera visual los tipos de defectos en el tramo de estudio de la avenida Catama, aplicando las especificaciones del Manual de Inspección Visual de Pavimentos Flexibles del Instituto Nacional de Vías “INVIAS”.
- Determinar el Índice de condición del pavimento (PCI), aplicando el Manual INGEPAV ingeniería de pavimentos, siguiendo la norma American Society for Testing and Materials ASTM D6433-03.
- Diseñar una propuesta de mantenimiento teniendo en cuenta las patologías encontradas y su severidad.

5. ALCANCE

Se propuso dentro del ciclo de vida del proyecto la recopilación de información, el conocimiento de la vía, especificando el estado actual y se justificó que la vía necesita del estudio y análisis del pavimento, en el cual se justifica una mejora en la vía, esto se realizó revisando las normas vigentes establecidas por el manual de revisión de pavimentos flexible del INVIAS las que permitieron analizar y establecer los daños del pavimento que se presentan debido al tránsito. Así mismo se propuso un plan de mantenimiento para la solución de estas fallas, además de considerar la aplicación de un estabilizante que genere una vía resistente y económica.

El mejoramiento que se proporciona al pavimento está diseñado para subsanar los impactos del clima, desgastes y deterioros producidos por los vehículos, como también la falta de mantenimiento, fallas de diseño, materiales de mala calidad, y mala planificación en la construcción, es decir, que la propuesta está destinada a corregir fallas funcionales y estructurales del pavimento.

La propuesta de mejoramiento del pavimento se realizó con el fin de mejorar la calidad de vida de los usuarios ya que ellos son los principales interesados, analizando los impactos positivos y negativos antes, durante y después de la propuesta de mejoramiento, otra parte interesada es la Alcaldía de Villavicencio, ya que la realización del proyecto ayudará al desarrollo del crecimiento en infraestructura vial a la ciudad mejorando los componentes social, económico y político.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 Volumen de Tránsito promedio diario (TPD)

Cantidad total de vehículos que transcurren durante un periodo de tiempo dado igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por la cantidad de días del periodo.

$$TPD = \frac{N}{T}$$

Ecuación 6.1. Tránsito Promedio Diario

Fuente: Propia

Donde:

N= Número de vehículos que pasan durante T días

T= Número de días

6.1.2 Tipos de deterioros o deformaciones en pavimentos flexible

Los deterioros que presenta una estructura de pavimento flexible se catalogan en cuatro categorías, estos se presentan en la tabla 6-1.

Tabla 6-1. Tipos de deterioros o deformaciones

Clase de afectación (Unidad de medición)	Símbolo	Definición	Severidad		
			Baja (B)	Media (M)	Alta (A)
FISURAS					
Daños longitudinales y transversales (m)	FL, FT	En la carpeta asfáltica estos corresponden a discontinuidades, en transversales a él o en la misma dirección del tránsito. Son provenientes de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado.	< 1 mm	1mm-3mm	>3 mm
Fisuras en juntas de construcción (m)	FCL, FCT	Pertenecen a las fisuras originadas transversales o longitudinales, debido a la falla en la ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación.	< 1 mm	1mm-3mm	>3 mm

*Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida
Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de
Villavicencio (Meta)*

Clase de afectación (Unidad de medición)	Símbolo	Definición	Severidad		
			Baja (B)	Media (M)	Alta (A)
Fisura por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto (m)	FJL o FJT	Este tipo de daño es generado cuando existen placas de concreto rígido sobre una capa de concreto asfáltico; se encuentran grietas en las placas de concreto rígido que se han visto hasta aparecer en la superficie mostrando un patrón irregular o también muestran un patrón regular.	< 1 mm	1mm-3 mm	> 3 mm
Fisuras en medialuna (m²)	FML	Fisuras en desplazamiento parabólica aliadas al movimiento de la banca, generalmente se presentan con hundimientos.	< 1 mm	1mm-3mm	> 3 mm
Fisuras de borde (m)	FBD	Pertenecen a fisuras longitudinales a semicirculares ubicadas al lado del borde de la calzada, presentando ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre berma y la calzada.	< 1 mm	1mm-3 mm	> 3 mm
Fisuras en bloque (m²)	FB	Cada vez que se generan alguno de estos daños en la parte superior del asfalto se encuentran en secciones de bloques estructura aproximadamente rectangular.	< 1 mm	1mm-3 mm	> 3 mm
Piel de cocodrilo (m²)	PC	Esta falla comienza en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico por causa de las cargas del tránsito, afectando prolongadamente la superficie en forma de fisuras longitudinales paralelamente.	<3mm	1mm-3 mm	> 3 mm
Fisuración por deslizamiento o de capas (m²)	FDC	Pertenecen a las fallas que tienen forma de semicírculo o medialuna, con curvas que se definen con respecto a la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento (al acelerar o frenar).	< 1mm	1mm-3 mm	> 3mm
Fisuración incipiente (m²)	FIN	Corresponde a una serie de fisuras contiguas y cerradas esta fisuración incipiente, que generalmente no se interceptan. Suelen afectar el concreto asfáltico de manera superficial.	sin severidad		
DEFORMACIONES					
Ondulación (m²)	OND	Causada característicamente por la presencia de ondas en la parte superior del pavimento, es también llamada como corrugación o rizado, usualmente perpendiculares al sentido del tránsito, con tamaños en cada cresta menores que 1,0 m.	<10 mm	10 mm –20 mm	> 20 mm

*Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida
Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de
Villavicencio (Meta)*

Clase de afectación (Unidad de medición)	Símbolo	Definición	Severidad		
			Baja (B)	Media (M)	Alta (A)
Abultamiento (m ²)	AB	Se ubican en pequeñas áreas o gradualmente en áreas de gran tamaño, adjuntado en cuestiones donde se presentan fisuras. Esta falla se destina a los abombamientos o prominencias que se encuentran en la parte superior del pavimento.	< 10 mm	10 mm - 20 mm	> 20 mm
Hundimiento (m ²)	HUM	Ubicadas en el pavimento estos pertenecen a depresiones con relación al nivel de la rasante.	< 20 mm	20 mm - 40 mm	> 40 mm
Ahuellamiento (m ²)	AHU	Está en conjunto con la elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.	< 10 mm	10 mm - 25 mm	> 25 mm
PERDIDA DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA					
Descascaramiento (m ²)	DC	Con ayuda de la capa asfáltica superficial el deformamiento de este tipo pertenece al separamiento, sin causar daño a las capas asfálticas subyacentes.	< 10 mm	10 mm - 25 mm	> 25 mm
Baches (m ²)	BCH	Separamiento completo de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares lo que aumenta el área afectada y el interior a causa del tránsito.	< 25 mm	25 mm - 50 mm	> 50 mm
Parche (m ²)	PCH	Los parches contribuyen a áreas donde el pavimento es quitado y cambiado por un elemento parecido o completamente cambiado, separándolo de la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares).	Bueno	baja o media	grave mente deterio rado
DAÑOS SUPERFICIALES					
Desgaste superficial (m ²)	DSU	Deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se encuentra como falta de ligante y mortero.	3 mm	3 mm - 10 mm	> 10 mm
Perdida de agregado (m ²)	PA	Conocido también como una división, que corresponde a la disgregación en la parte superior de la capa de rodadura debido a la falta gradual del compuesto, definiendo la parte superior más rugosa.	>0.15 m	0.05 mm – 0.15 mm	< 0.05 m
Pulimiento del	PU	El reconocimiento de las fallas se muestra por medio de compuestos con caras lisas en la parte superior o por el desconocimiento de compuestos angulares, en las dos formas se podría	Sin severidad		

*Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida
Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de
Villavicencio (Meta)*

Clase de afectación (Unidad de medición)	Símbolo	Definición	Severidad		
			Baja (B)	Media (M)	Alta (A)
compuesto (m ²)		llegar a alterar la resistencia al deslizamiento.			
Cabezas duras (m ²)	CD	Corresponde al acompañamiento de compuestos expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que de alguna manera pueda agrandar la rugosidad del pavimento, efectuando ruido excesivo para el que conduce.		Sin Severidad	
Exudación (m ²)	EX	El tipo de afectación se encuentra con un afloramiento o película del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente resbaladiza, brillante y usualmente pegajosa.	Franjas aisladas y de espesor delgado	Exceso de asfalto libre	Cantidad significativa de asfalto, cubriendo los agregados
Surcos (m ²)	SU	Pertenece a divisiones o canales longitudinales donde se han desconocido los compuestos de la mezcla asfáltica		Sin Severidad	

Fuente: INVIAS [5].

6.1.3 Mantenimiento menor en pavimentos

Son las acciones aplicadas localmente para proteger el pavimento y corregir pequeñas fallas, las cuales se encuentran en estado inicial de evolución, entre ellas se encuentran las siguientes:

- a. Sellado de Bacheo
- c. Sello asfáltico localizado
- d. Nivelación localizada
- e. Fresado y texturización localizada

En sí, este mantenimiento es de tipo preventivo pues consiste en adelantar acciones para proteger el pavimento en fallas en su fase inicial. Mientras que el mantenimiento mayor es de tipo correctivo, pues en él se adelantan acciones para corregir o restaurar las fallas que interfieren el nivel de servicio del pavimento, o presentan peligro para los usuarios [6].

6.1.4 Mantenimiento mayor en pavimentos

Este tipo de mantenimiento se ha clasificado en: efectivo y correctivo, el mantenimiento correctivo se usa específicamente cuando no se cumple con el nivel mínimo de servicio de una vía, es decir que está por debajo del mínimo aceptable desde el punto de vista funcional, o también cuando presenta importante

debilitamiento estructural. Cuando se presenta estos casos, se debe realizar acciones de mantenimiento mayor para modificar integralmente el problema. Este tipo de acciones se aplican al pavimento clasificado como "malo". Por otro lado, se encuentra el pavimento mayor efectivo, se aplica antes de que el pavimento alcance un estado crítico, se clasifica como una condición regular-baja, dentro de la zona "óptima" de rehabilitación.

Se considera lo siguiente:

- a. Tratamientos superficiales
- b. Capas asfálticas
- c. Remoción por fresado
- d. Reciclado [6]

6.1.5 Acciones complementarias

Me indica las actividades localizadas que se necesita para modificar los aspectos que perjudica la condición de rodaje, y que no dependen directamente del pavimento y su resistencia estructural.

Específicamente estas acciones son aplicadas para vías urbanas y se refieren a:

- a. Nivelación de bocas de visita
- b. Nivelación de sumideros
- c. Suministro de rejillas y marcos metálicos
- d. Obras menores complementarias (demolición y construcción de aceras, brocales, etc.). [6]

6.1.6 Índice de condición del pavimento

El deterioro de la estructura de pavimento se clasifica según el daño, severidad, cantidad o densidad del mismo. [7]

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la siguiente tabla se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento, esto con el fin de presentar un prototipo de factor de ponderación, con el fin de mostrar el grado de afectación para cada tipo de daño, densidad y nivel de severidad sobre la condición del pavimento.

Tabla 6-2. Rangos de clasificación del PCI

RANGO	CLASIFICACION
100-85	Excelente
85-70	muy bueno
70-55	bueno
55-40	regular
40-25	malo
25-10	muy malo
10-0	fallado

Fuente: [7]

El cálculo del PCI se fundamenta principalmente en los resultados obtenidos por la inspección visual que se realiza al tramo de vía, justificando la clase, severidad y cantidad de los daños que presenta, esto relacionando la causa ya que sea por el tránsito o por el clima.

6.1.7 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

En la “Evaluación De Una Red” vial puede presentarse números con grandes unidades de muestreo en el cual en la inspección puede demandar el tiempo y los recursos estimados; por lo tanto, es imprescindible acomodar un proceso de muestreo. [7]

En la “Evaluación de un Proyecto” se tiene que inspeccionar todas las unidades; de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que se debe determinar resulta aplicando la siguiente ecuación, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%. [7]

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

Ecuación 6.2. Unidades de muestreo

Fuente: [7]

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

En el desarrollo de la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsiguiente se usará la desviación

estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que se debe calcular. Es importante resaltar que todas las unidades deberán evaluarse si el número mínimo es menor que cinco ($n < 5$). [7]

6.1.8 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

Se aconseja que las unidades elegidas estén distribuidas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija aleatoriamente de la siguiente manera: [7]

- a. El intervalo de muestreo (i) que se expresa en la siguiente ecuación

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

Ecuación 6.3. Intervalo de muestreo

Fuente: [7]

Dónde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

- b. La unidad inicial que se selecciona aleatoriamente puede presentarse entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i .

Así, si $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación rehabilitación, todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas. [7]

6.1.9 Cálculo del PCI de una sección de pavimento

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo. Si la selección de las unidades se realizó mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo

inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma: [7]

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

Ecuación 6.4. Cálculo PCI

Fuente: [7]

Donde:

PCIS: PCI de la sección del pavimento.

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

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

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

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Pronóstico del volumen de tránsito futuro

El instituto nacional de vías INVÍAS en su manual de diseño geométrico de carreteras, clasifica los proyectos de carreteras así: [8]

- **Proyectos de construcción:** es el consumo de todas las obras de infraestructura a realizar en una vía nueva proyectada, o un tramo faltante mayor al 30% de una carretera existente y/o en variantes. [8]
- **Proyectos de mejoramiento:** este proyecto realiza cambios de especificaciones y dimensiones de la carretera o puentes para la cual se hace necesaria la construcción de obras de infraestructura ya existente. [8]
- **Proyectos de rehabilitación:** son actividades que tienen su objetivo es reconstruir o recuperar las condiciones iniciales de la carretera de manera que se cumplan las especificaciones técnicas con que fue diseñada. [8]
- **Proyectos de mantenimiento rutinario:** este proyecto hace énfasis en la conservación continua (intervalos menores a un año) de las zonas laterales, y a intervenciones de emergencias en la carretera, con el propósito de mantener las mejores condiciones para su transitabilidad. [8]
- **Proyectos de mantenimiento periódico:** realiza las actividades de conservación a intervalos variables, relativamente prolongados (3 a 5 años), destinados primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y los fenómenos climáticos. [8]

6.2.2 Volumen de tránsito absoluto o total

El volumen de tránsito total es el número total de los vehículos que transitan en un tiempo determinado. [8]

- **Tránsito anual (TA):** es el número total de vehículos que pasan por la calzada durante un año $T=1$ año.
- **Tránsito mensual (TM):** es el número total de vehículos que pasan por la calzada durante un mes $T=1$ mes.
- **Tránsito semanal (TS):** es el número total de vehículos que pasan por la calzada durante una semana $T=1$ semana.
- **Tránsito diario (TD):** es el número total de vehículos que pasan por la calzada durante un día $T=1$ día.
- **Tránsito horario (TH):** es el número total de vehículos que pasan por la calzada durante una hora $T=1$ hora.
- **Tránsito un periodo inferior a una hora (Qi):** número total de vehículos que pasan por la calzada durante un periodo inferior a una hora, en este caso $T < 1$ hora y donde i , representa el periodo en minutos.

6.2.3 Asfalto

Es una mezcla solida con cal, mineral u otras sustancias que compacta hidrocarburos que principalmente se usa para construir el pavimento. El asfalto es un componente derivado del betún y este es la fracción residual. Sus características físicas principales son la pegajosidad, la viscosidad y el color negro; su uso más común es para la construcción de carreteras, calles, vías y autopistas, pues es capaz de unir fragmentos de diferentes materiales y así mismo genera cohesión lo que da lugar al origen de nuevos compuestos. [9]

6.2.4 Capa de rodadura

Esta capa se encuentra en la parte superior de la superficie de la carretera sobre la cual se transportan los vehiculos. Se caracteriza por ser duradero, resistente al agua superficial o al resbalamiento. Esta capa puede estar compuesta de una varias capas y de favimento rígido o flexible, el numero de capas va a depender el flujo de vehiculos que va a soportar la via. [9]

6.2.5 Base

Es una capa del pavimento que soporta las transformaciones que se puedan generar por las cargas que producen los vehiculos en su circulacion. Esta compuesto normalmente por grava o piedra triturada, roca imtemperizada, arenas y limos arenosos que pueden estabilizarse con cemento, cal o asfalto. [9]

6.2.6 Sub base

Capa secundaria del pavimento que distribuye la carga y que subyace a la base. Esta capa esta compuesta por un material que no tiene mayor resistencia y durabilidad, esta constituido por grava natural, arena o una mezcla de esta y limo. Esta tiene capa tiene la capacidad de drenar el agua de la superficie. [9]

6.2.7 Capa de sustrato granular

Esta capa se ubica bajo la capa de rodadura de un pavimento asfaltico y la Sub base. Por causa de su cercanía con la superficie, esta tiene alta resistencia a la deformación, pues debe soportar las presiones que percibe. Está constituido por materiales marginales, granular procesado o estabilizados que esta es usada para formar la estructura de pavimento. [9]

6.2.8 Capas estructurales

son aquellas que, por condiciones de mezcla y espesor, resulta una estructura resistente en el diseño de un pavimento flexible. Los siguientes parámetros clasifican las capas asfálticas estructurales:

- Posición relativa dentro de la estructura
- Por su granulometría,
- Huecos en la mezcla,
- Según el proceso constructivo (esto último se verá en el capítulo de mezclas en caliente)". [9]

6.2.9 Estabilización de suelos

Consiste en dar estabilidad al sustrato con el fin de fijarlo y garantizar la permanencia de su compactación. Se cambia el suelo del que se dispone en material de construcción de calidad especialmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales. De esta manera al estabilizar el suelo es posible obtener el control sobre su erosión. Una vez estabilizado el suelo se obtendrá unas mejores propiedades en el suelo que afectaran de la mejor manera la duración es decir que reduce el tiempo de mantenimiento y controlara la erosión. [9]

6.2.10 Pavimento

Es una estructura de capas de diferentes materiales que están compactadas entre sí, con el fin de formar un pavimento con características óptimas para la circulación vehicular. [9]

6.2.11 Pavimento flexible

Esta estructura de tipo de pavimento consiste en una base de granulares que puede ir estabilizada con cemento, encima de este la carpeta de rodadura asfáltica. El periodo de servicialidad es considerable y es el más usado para caminos. [9]

6.2.12 Falla funcional

Es aquella que afecta directamente al usuario, debido a la aparición de Ahuellamiento, mala textura, asentamientos, hundimientos, etc. [9]

6.2.13 Falla estructural

“Es aquella que afecta a la capacidad del pavimento para soportar cargas, dentro de estas fallas podemos tener, por ejemplo: desintegraciones, inadecuado espesor.” [9].

6.3. ESTADO DEL ARTE

Sobre identificación de patologías de pavimentos para formular planes de mejoramiento se realizaron varias investigaciones, por ejemplo, a nivel internacional Matta y Pulido [10], en Perú, realizaron un estudio teniendo como objetivo evaluar la estructura del pavimento flexible de la Avenida Arica en el tramo jirón Camino Real - jirón Santa Lucia, pueblo joven 2 de mayo distrito Chimbote, pues identificaron que la infraestructura vial existente está deteriorada con baches, por el paso del tiempo, flujo vehicular y efectos del clima, generando condiciones desfavorables para el tránsito peatonal y vehicular de la población. Para esta investigación utilizaron el diseño de investigación no experimental, de tipo Descriptiva – explicativa; teniendo como variable independiente a la estructura del Pavimento flexible. La población y la muestra para esta investigación fue la Avenida Arica, en el tramo jirón Camino Real - jirón Santa Lucia, pueblo joven 2 de mayo distrito Chimbote-Ancash, los instrumentos usados para recolectar datos fueron las fichas técnicas de observación para la identificación de las patologías, y los protocolos para determinar las propiedades físico-mecánicas de la estructura del pavimento flexible.

A su vez Celestino [11], en Perú, realizó una investigación con el objeto de determinar el índice de condición de pavimentos asfáltico, para el distrito de Ica, a partir de la evaluación de la incidencia de las patologías del pavimento. El diseño de la investigación fue descriptivo, analítica porque estudia los detalles de cada patología y establece las posibles causas. No experimental porque se estudia el problema y se analiza sin recurrir a laboratorio, de corte Transversal porque se está analizando en un periodo definido de marzo a agosto del año 2016. El universo estuvo dado por la delimitación geográfica del Distrito de LCA, involucrando las avenidas principales como son la avenida Cutervo, San Martín y José Matías Manzanilla. Con el estudio el autor determinó el índice de condición de pavimento asfáltico, para el distrito de LCA, a partir de la evaluación de la incidencia de las patologías del pavimento flexible, la cual el promedio obtenido de las avenidas fue de 55.

Por su parte Zamora [12], en Perú, realizó su tesis en las calles de la zona monumental de la ciudad de Celendín entre los meses de julio a octubre del año 2018, siendo el objetivo principal evaluar el estado de conservación en que se encuentran las calles de la ciudad, mediante el método de Índice de condición del pavimento (PCI). Para lo cual inicialmente realizó la selección de la muestra, luego procedió a la inspección visual, donde identificó las fallas que presenta la sección de cada unidad de muestreo, y donde le fue necesario realizó la medición

correspondiente al pavimento, de acuerdo con el manual de daños del pavimento rígido, y aplicando la metodología del Índice de condición del pavimento (PCI), el cual utilizo una escala de medición de 0 a 100. Para la recolección de datos utilizó una hoja de exploración del pavimento en el cual se determinó el tipo de falla y el nivel de severidad y fichas de evaluación de pavimento donde se determinó el estado en que se encuentra el pavimento de cada unidad de muestreo (UM); para el estudio determinó una población de 97 cuadras de los siguientes jirones: Ayacucho, Moquegua, Junín, Dos de Mayo, José Gálvez, Cáceres, Arequipa, Salaverry, Bolognesi, Grau, Pardo, Unión, San Martín, Sucre, Córdova. Seleccionándose un total de 51 unidades de muestreo (UM) como muestra de investigación; Clasificando al pavimento en estudio como regular con un PCI promedio de 47.1 con un 50.98% de incidencia del total de calles evaluadas, además determinó que las patologías más incidentes en las calles evaluadas son: parche grande, desconchamiento y grietas lineales.

De otro lado, en el plano nacional se encuentra el estudio de Romero [13], el cual buscó caracterizar los tipos y niveles de incidencia de las patologías existentes en la estructura de pavimento apoyado sobre suelos arcillosos desecados en el corredor vial que une el sector de Siberia con el municipio de Tenjo en Cundinamarca, para ello adelantó una investigación de enfoque cuantitativo, de tipo descriptiva- retrospectiva, apoyado en la metodología del índice de condición de pavimento, debido a que es la más completa para evaluar y calificar de manera objetiva la estructura de pavimento flexible. En la inspección visual se reportaron datos de las patologías encontradas, tanto por factores de desecación como las que se deben a la vegetación y a los cambios de clima, dentro de los cuales las más influyentes y que causan un peligro mayor la funcionalidad de la vía son los hundimientos y abultamientos, debido a que tienen medida hasta los 15 cm de profundidad. A su vez, las patologías que se evidenciaron en la vía en su mayoría son fisuras en bloque o piel de cocodrilo, y con el tiempo generando baches, desprendimientos de material y hundimientos, lo que representa un peligro mayor para los usuarios.

Igualmente, Higuera [14] llevó a cabo un estudio con el fin de analizar el reporte de daños generado en un área determinada de la ciudad de Bogotá para determinar si las patologías presentadas en los pavimentos flexibles son causadas directamente por las condiciones climáticas de la ciudad. Para alcanzar su objetivo, el autor realizó una investigación de enfoque cuantitativo y tipo descriptivo, siguiendo el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles de INVIAS. Una vez, realizó la inspección visual de campo y el reporte de daños del área específico que, para este proyecto, el autor ubicó las patologías identificadas en campo de los segmentos viales estudiados en la cartografía base de la zona. Los resultados evidencian un área afectada correspondiente a daños no superficiales de 11.619,7m² que obedece a un porcentaje de 9.14% y de 29.269,40m² y un 23.02% para daños superficiales con respecto al área total inspeccionada. La patología más frecuente es el parcheo (PCH), con un 4.26% con respecto al área afectada con daños no superficiales, aunque la patología con mayor porcentaje es la pérdida de

agregado (PA), con un 21,38% con respecto al área afectada con daños superficiales, causando mayor permeabilidad en la estructura.

A nivel local Chávez, Hernández y Ricaurte [15] realizaron un estudio patológico orientado a identificar las patologías en la estructura de la base estabilizada con Crudo de Castilla del k0+230 al k2+330 en la vía de acceso a la vereda La Argentina el municipio de Villavicencio-Meta, además propusieron posibles tratamientos para restablecerlo o mejorarlo si es necesario; para lo cual adelantaron una investigación de tipo descriptiva, eligiendo el paciente para resaltar las propiedades del crudo de Castilla al ser usado satisfactoriamente en pavimentos y por presentar patologías similares a las Mezclas Densas en Caliente - MDC, la descripción se realizó basada en la información del “Manual de Inspección Visual de Pavimentos Flexibles” de INVIAS. Para finalizar los autores planean las posibles soluciones que pueden estar dirigidas a dos tipos de intervenciones que son: Mantenimiento o reconstrucción. Con las diferentes opciones se realizó un análisis para finalmente tomar la decisión según el resultado que se quiera obtener en cuestión de durabilidad.

A su vez Guevara y Romero [16], realizaron un plan de mantenimiento adecuado a partir de un levantamiento de daños y análisis de estos a lo largo de 1758 metros correspondientes a esta avenida tan importante. Mediante este levantamiento, identificaron las fallas existentes en la vía con lo cual definimos el mantenimiento que debió hacerse para prolongar la vida útil de la estructura del pavimento. Para el registro y análisis de los daños utilizaron dos métodos, el primero es el método del INVIAS, donde se tuvo que inspeccionar cada metro de la vía dejando en evidencia los daños encontrados en el formato reglamentado por el instituto nacional de vías, y el segundo método utilizado fue el de PCI que permitió seleccionar unidades de muestreo para analizar los daños. Los resultados que arrojó el desarrollo del proyecto ponen en evidencia el alto deterioro que tiene el pavimento, donde los 216 metros de pavimento rígido tienen una mayor área de daños que el pavimento flexible. A lo largo de toda la vía se observaron parches y fisuras o grietas de diversos tipos, estas patologías son el principal problema de la capa de rodadura de zona de estudio, por lo que el plan de mantenimiento tuvo un enfoque especial en este tipo de daños. Se determinaron dos tipos de mantenimientos alternativos, con los cuales se buscó aumentar la capacidad estructural de la vía, reduciendo en cierto porcentaje los costos de mantenimiento y construcción, de igual manera con este documento se impulsó su uso en las construcciones nuevas de las vías en la ciudad de Villavicencio, teniendo en cuenta que los suelos de la ciudad son generalmente gravas estas metodologías podrían ser una solución importante en todas las obras civiles.

6.4. MARCO NORMATIVO

Es importante estar informado sobre las leyes que rigen para los estudios y el mantenimiento del pavimento, por lo cual en la tabla 6-3 se presentan las normas que enmarcan el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 6-3. Marco normativo

Número del Decreto, ley o resolución	Nombre del decreto, ley o resolución	Descripción
INVIAS	Instituto Nacional de Vías	Es una agencia colombiana que se encuentra a cargo de la supervisión, regulación de los proyectos viales y su respectivo mantenimiento.
Capítulo 2, Normas y especificaciones	Invias 2013	Explanaciones, terraplenes, mejora de subrasante con diferentes materiales, estabilización de suelos.
Capítulo 3, Normas y especificaciones	Invias 2013	Sub-base granular, base granular, base estabilizada con emulsión asfáltica.
Capítulo 4, Normas y especificaciones	Invias 2013	Pavimentos asfálticos, suministros de emulsión asfáltica, cementos.
ISO 14001 DEL 2015	Sistemas de Gestión Ambiental	Encargado de proporcionar a las asociaciones planes que protejan el medio ambiente.
Manual de señalización vial	2015	Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclo-rutas de Colombia

Fuente: Propia

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

Figura 6-1. Ubicación de Villavicencio en el departamento

Fuente: Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial

La zona de estudio se ubica en la ciudad de Villavicencio, Meta, Colombia (ver figura 6.1), y el tramo seleccionado para el análisis se encuentra comprendido entre las secciones punto 1 y punto 2 con coordenadas geográficas:

PUNTO 1: 4° 8'53.11"N - 73°37'26.24"O

PUNTO 2: 4° 8'42.61"N - 73°36'23.38"O

Figura 6-2. Tramo que estudiar de la Calle 35 avenida Catama

Fuente: Google Earth

La figura 6-2 representa el tramo de estudio del proyecto, este tiene una longitud de 2 kilómetros que comprende en la intersección de la carrera 20d hasta la carrera 5.

El sector que se estudia se puede identificar que se encuentran usos comerciales, residenciales e institucionales, específicamente se evidencia tiendas, supermercados, parqueaderos, restaurantes, ferreterías, parques recreacionales, estacionamientos de servicio, entre otros, que están directamente perjudicados con las fallas que presenta actualmente la vía.

7. METODOLOGÍA

Seguidamente se presentan las fases, actividades y procedimientos realizados para cumplir con los objetivos del proyecto.

7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Consiste en la información histórica a través de medios virtuales, fotografías en terreno, donde se pueda identificar el mal estado de la vía y así mismo el sistema de señalización y demarcaciones, esto con el fin de conocer la zona de estudio y así llegar a la propuesta para mejorar esta vía, ya que es una avenida principal de la ciudad y una de las más antiguas, con el propósito de obtener un producto óptimo que beneficie a la comunidad.

Este tipo de estudio es práctico con análisis y resultados, donde se coordina las actividades en lugar y tiempo; compuesto de la explicación de cómo se puede aplicar el mantenimiento correcto según el tipo de daño del pavimento en el tramo estudiado, el cual beneficiará socioeconómicamente a las personas que se encuentran directamente en la zona. El mejoramiento requiere toma de información histórica, es decir investigar si le han hecho algún tipo de mantenimiento y que materiales han usado, análisis de ingeniería de tránsito (aforo), recolección de datos, entre ellos las medidas de los daños en el pavimento, deterioro en las demarcaciones, teniendo en cuentas las posibles causas, muestras de población afectada, toma de muestras de suelo, conclusiones y recomendaciones para el proyecto.

En el presente proyecto se desea identificar las patologías del pavimento flexible de la calle estudiada, al igual que realizar su descripción, establecer sus posibles causas, y con ello formular una propuesta mitigar los daños y su reincidencia.

En cuanto a las etapas del proyecto, la figura 7-1 permite identificar claramente el procedimiento a seguir en el presente proyecto, el cual se encuentra dividido en cuatro etapas.

Figura 7-1. Etapas metodológicas
Fuente: Propia

Etap 1 (Revisión Bibliográfica): se recolecta información de las metodologías que se aplican en el proyecto, en diferentes partes de Colombia y del Departamento, siendo este una referencia de trabajo para el desarrollo del presente proyecto.

Etap 2 (Inspección visual del estado de la vía): hacer inventario de la calle 35 avenida Catama, antes que nada, se deberá realizar el aforo, con el fin de conocer y clasificar el tráfico que transita en el tramo, analizando el volumen vehicular que soporta dicho pavimento. Así mismo identificar los daños en la estructura de pavimento, determinando la severidad de los daños. Planificar las diferentes soluciones y seleccionar la más apta con el fin de que pueda mejorar el pavimento teniendo en cuenta las consecuencias que puede causar dicha solución con base a la norma INVIAS, esto con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que están directamente afectados por el estado actual de la vía.

Etap 3 (Índice de condición del pavimento): el deterioro de la estructura de pavimento se determina según el daño, severidad, cantidad o densidad de este, clasificando el deterioro desde excelente hasta fallado según el rango en que se encuentra, por ende, se deberá determinar las unidades de muestreo para evaluación y la selección del muestreo, terminando con el cálculo del PCI con el fin de obtener una vía resistente, duradera y segura.

Etap 4 (cierre): finalmente se definirá la solución más pertinente para el tipo de daño encontrado según los estudios del INVIAS y PCI que se analizaron en la etapa

2 y 3, con el fin de plantear el mejor plan de mantenimiento para la avenida Catama calle 35 de la carrera 20 d hasta la carrera 5.

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

El tramo estudiado, es de un solo sentido, compuesto por tres carriles desde el conocido taller de mecánica Alfamotos hasta la entrada del barrio Manantial que se encuentra después del Supermercado Olímpica, los barrios que se encuentran en este tramo seleccionado son: La Ceiba, Santa Catalina, El Recreo y Seis de Abril; Allí podemos encontrar establecimientos como taller de mecánica, panaderías, restaurantes, asaderos, estaciones de servicio, monta llantas, cadenas locales de supermercados como “Justo y Bueno”, “Ara”, “D1” y “Olímpica”, entre otros comercios. Dentro de la organización territorial estos barrios se encuentran ubicados en la comuna 4 que cuenta con un total de habitantes de 61.458 según el censo del DANE 2006. [17]

Equipos de laboratorio de la Universidad Santo Tomás: Odómetro, Cinta métrica y regla o cordel.

8. ETAPA 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El desarrollo de la revisión bibliográfica se encuentra contenido dentro del capítulo 6.3 del presente documento; en el cual se procedió a realizar una investigación para alimentar el conocimiento acerca de las diferentes metodologías para la ejecución de una alternativa de mantenimiento teniendo en cuenta las posibles causas y patologías del pavimento, se realizó la consulta en artículos e informes referentes a la condición de pavimentos flexibles, así mismo se procedió a efectuar la revisión de la normatividad existente y a realizar la selección de los textos guía para el desarrollo metodológico, para efectos prácticos de este desarrollo metodológico se seleccionó la metodología INVIAS y ASTM D6433-03.

9. ETAPA 2. INSPECCIÓN DEL ESTADO DE LA VÍA

9.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL AFORO

Inicialmente se realizó el conteo vehicular en la vía seleccionada, teniendo en cuenta cada intersección, donde se obtuvieron 4 tramos correspondientes, allí se estudió el tránsito que circulaba en el sentido de la calzada derecha. Las direcciones de los tramos son los siguientes:

Tramo 1. Inicia en la carrera 20d (Taller Alfamotos) hasta la carrera 19 (Colegio Cofrem), con una longitud de 450 metros.

Tramo 2. Inicia desde la carrera 19 (Colegio Cofrem) hasta la carrera 17 (Esquina Hato Grande, barrio la Ceiba) de la calle 35, con una longitud de 307 metros.

Tramo 3. Inicia desde la carrera 17 (Esquina Hato Grande, barrio la Ceiba) hasta la carrera 12 (Entrada al barrio el Recreo) de la calle 35, con una longitud de 633 metros.

Tramo 4. Inicia desde la carrera 12 (Entrada al barrio el Recreo) hasta carrera 6 (Entrada al barrio Manantial) de la calle 35, con una longitud de 610 metros.

En la plantilla utilizada para realizar los aforos se clasificó los diferentes tipos de vehículos, como es el automóvil, microbús, buseta, bus intermunicipal, C2P, C2G, C3, C3-S2, C3-S3 las últimas que corresponden a cargas pesadas, información que nos ayudará a determinar la cantidad y clase de vehículos que pasan en ese sentido. Se tuvo en cuenta las horas pico, es decir de 6:00 am a 8:00 am, de 12:00 pm a 2:00 pm y de 6:00 pm a 8:00 pm en periodos de 15 minutos (*ver ANEXO A*).

Figura 9-1. Flujo Vehicular
Fuente: Propia

En la figura 9-1 se puede observar los cuatro tramos establecidos para realizar los aforos en el corredor estudiado y se determina que existe un estrecho rango de variación de los registros durante el día, con volúmenes muy cercanos entre sí en los tramos 1, 2 y 4, destacándose el tramo 3 con un pico vehicular en la hora de 12:00 a 2:00 de la tarde del respectivo miércoles 26 de febrero.

Tabla 9-1. Datos TPD de los tramos

	Automóvil	Microbús	Buseta	Bus intermunicipal	C2 P	C2 G	C3	C3-S2	C3-S3	TPD
lunes, 24 de febrero de 2020	745	65	99	42	34	51	44	20	25	1125
martes, 25 de febrero de 2020	780	58	83	28	44	38	38	16	16	1101
miércoles, 26 de febrero de 2020	903	67	123	57	27	50	54	19	22	1322
jueves, 27 de febrero de 2020	878	37	74	26	21	29	38	26	23	1152
Total, general	1102	76	126	51	42	56	58	27	29	1567
	70%	5%	8%	3%	3%	4%	4%	2%	2%	100%
lunes, 24 de febrero de 2020	66%	6%	9%	4%	3%	5%	4%	2%	2%	100%
martes, 25 de febrero de 2020	71%	5%	8%	3%	4%	3%	3%	1%	1%	100%
miércoles, 26 de febrero de 2020	68%	5%	9%	4%	2%	4%	4%	1%	2%	100%
jueves, 27 de febrero de 2020	76%	3%	6%	2%	2%	3%	3%	2%	2%	100%

Fuente: Propia

En la tabla 9-1 se presentan los datos de los aforos realizados, teniendo en cuenta el tramo, la fecha y los tipos de vehículos, además se presenta el TPD obteniendo un total de 1567 vehículos/día.

La información recolectada con relación al conteo vehicular y el análisis en forma precisa permitió evidenciar, la composición del tránsito en el tramo vial, lo que nos proporciona una idea del tipo de vehículo que más predomina en el sector.

- Se presenta un volumen de autos del 70% del TPD.
- Los volúmenes de buses por su parte disminuyen sustancialmente con un 16% del TPD.
- En cuanto a los volúmenes de camiones, vehículo pesado descende con un 14% del TPD

Con lo anterior se puede concluir que el comportamiento de la zona no se encuentra bien definida, ya que la proporción de los vehículos pesados es significativa, pues los buses y los camiones tienen un porcentaje alto, que solo los diferencia en un 2% entre sí, lo que hace que la localización y el tamaño no estén acorde al carácter del sector.

A continuación, se presenta en una gráfica el resumen de los TPD de los cuatro tramos explicados anteriormente.

Figura 9-2. TPD de los tramos.
Fuente: Propia

Obteniendo como resultado que el miércoles 26 de febrero se obtuvo un mayor volumen vehicular siendo este de 1322 vehículos por día y una distribución como se presenta en la figura 9-2, exponiendo los porcentajes de cada tipo vehicular, siendo así:

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

Figura 9-3. Miércoles, 26 de febrero de 2020.
Fuente: Propia

- Volumen de auto con un 68% del TPD
- Volumen de buses con un 19% del TPD
- Volumen de camión con un 13% del TPD

9.2. LEVANTAMIENTO Y REGISTRO DE DAÑOS EN FORMATO INVIAS

Para el levantamiento de daños del pavimento flexible se empleó el formato INVIAS, desde la abscisa K0+000 al K2+000, teniendo en cuenta que se debe realizar cada 100 metros, se inició de la siguiente manera:

Se describió la información general de la vía, como se muestra en la siguiente figura:

FORMATO PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE
TERRITORIAL: <u>Orinoquia</u> CODIGO DE LA VÍA: _____ NOMBRE DE LA VÍA: <u>Avenida Catama</u>	FECHA: <u>03/02/2020</u> CONTRATO N°: _____ LEVANTADO POR: <u>Camila Carreño - Camila Gómez</u>	CONCESIÓN MANTENIMIENTO INTEGRAL A.M.V	PR INICIAL: <u>_</u> K00+000 PR FINAL: <u>_</u> P00+500 HOJA: <u>1</u> DE: _____

Figura 9-4. Formato inspección visual INVIAS.
Fuente: Propia

Luego se realizó el recorrido de la vía para inspeccionar los daños, con sus respectivas especificaciones, que son:

Carril: la calzada tiene tres carriles en una dirección para definir la ubicación del daño a lo ancho de la calzada se especificó si está en el carril D1 que es el derecho externo D2 derecho medio y D3 derecho interno.

Tipo: el tipo de daño está estipulado en el capítulo 6.1. Tipos de deterioros o deformaciones en pavimentos flexibles.

Severidad: allí se detalla la gravedad del daño, cumpliendo con la tabla 6.1, donde A: Alto, M: Medio, B: Bajo.

Dimensiones de los daños: largo y Ancho (m).

Dimensiones de reparación: largo y Ancho (m).

Foto: se nombra la foto de su respectivo daño.

Aclaraciones: Se redacta detalles adicionales del pavimento cuando se requiera.

El registro de daños se realizó de forma ascendente, teniendo en cuenta el número de carril, con un total de 8 formatos incluyendo las hojas de las imágenes como se encuentra en el *ANEXO B*. una sección de estas se observa en la tabla 9-2.

Tabla 9-2. Registro de daños

PATOLOGÍA								ACLARACIONES
Carril	Tipo	Severidad	Daño		Reparación		FOTO	
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)		
D1	DC	M	1.2	0.67			.001	
D1	DC	M	0.34	0.23			.001	
D1	BC H	B	10	1.5			.002	
D1	SB	M	22				.003	
D1	PU	SS	30	1.5			.004	
D1	SB	M	13.4				.005	
D1	FL	M	5				.006	

Fuente: Propia

Para terminar el registro, se tuvo en cuenta un último comentario general del pavimento de la vía y su geometría como se presenta en la tabla 9-3.

Tabla 9-3. Comentarios y geometría de la vía.

Numero de calzadas: 1	COMENTARIOS: Se observó daños superficiales en la totalidad del área del pavimento, en especial perdida del agregado y pulimiento del agregado con severidad media.
Número de carriles por calzada: 3	
Ancho de carril: 2.9m Ancho de berma: NA	

Fuente: Propia

9.3. EVALUACIÓN DE DAÑOS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, INVIAS

Para el análisis de daños de la vía, se debió realizar una tabla como lo muestra en la tabla 9-4, se tuvo en cuenta los daños superficiales y no superficiales.

La tabla está compuesta por los siguientes datos:

- Tramo: Nombre de cada tramo, desde T1 a T20.
- Abscisa: Inicial y final de cada tramo.
- Área tramo: Teniendo en cuenta el ancho de la calzada y la longitud del tramo.
- Daños en el pavimento: Área total de cada daño indicando su nivel de severidad en cada tramo.
- Total: Área total afectada de todos los daños correspondientes a cada tramo.

- % Afectación por tramo: Se tiene en cuenta el total respecto al área de tramo.
- Área total inspeccionada: Se suma las áreas de cada tramo.
- Área total afectada: Se suma el área por cada daño del pavimento.
- Porcentaje de afectación: Se tiene en cuenta el área total afectada y el área total inspeccionada.
- Área total afectada por severidad y por daño: Se suman las áreas afectadas por cada tipo de daño y por severidad.
- Área total afectada por daño: Se suma las severidades de cada tipo de deterioro.
- Peso del daño dentro del área inspeccionada según severidad (%): Se tiene en cuenta el área total afectada por severidad y por daño y el área total inspeccionada.
- Peso total del daño dentro del área inspeccionada (%): Se tiene en cuenta el área total afectada por daño y área total inspeccionada.

Para determinar el área de cada tipo de daño, se debe multiplicar el ancho por el largo según sea su dimensión medida en campo. En caso de fisuras longitudinales, transversales, de borde o en juntas de construcciones se multiplica su longitud por un ancho de 0.6m y para separación de borde se multiplica su longitud por un ancho de 0.1m.

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

Tabla 9-4. Hoja y análisis de datos

TRAMO	ABSCISA		ÁREA TRAMO (m2)	DAÑOS EN EL PAVIMENTO (INCLUYENDO DAÑOS SUPERFICIALES)										TOTAL			%AFECTACION POR TRAMO		
				FL			FT			FML									
	A	M		B	A	M	B	A	M	B									
T1	K00+000	K00+100	880		7.68								7.68	0.9%					
T2	K00+100	K00+200	880		17.64	4.02		3.84	3.3				28.80	3.3%					
T3	K00+200	K00+300	880		14.628			2.58					17.21	2.0%					
T4	K00+300	K00+400	880		2.76								2.76	0.3%					
T5	K00+400	K00+500	880		4.68								4.68	0.5%					
T6	K00+500	K00+600	880										0.00	0.0%					
T7	K00+600	K00+700	880										0.00	0.0%					
T8	K00+700	K00+800	880										0.00	0.0%					
T9	K00+800	K00+900	880		8.34	6.66							15.00	1.7%					
T10	K00+900	K01+000	880	2.592									2.59	0.3%					
T11	K01+000	K01+100	880		4.68	5.88							10.56	1.2%					
T12	K01+100	K01+200	880			3.94							3.94	0.4%					
T13	K01+200	K01+300	880										0.00	0.0%					
T14	K01+300	K01+400	880										0.00	0.0%					
T15	K01+400	K01+500	880					8.76	3.36				12.12	1.4%					
T16	K01+500	K01+600	880			6.84		3.60					10.44	1.2%					
T17	K01+600	K01+700	880	8.58	4.02		8.70		4.56	0.19			26.05	3.0%					
T18	K01+700	K01+800	880										0.00	0.0%					
T19	K01+800	K01+900	880			2.14		3.18					5.32	0.6%					
T20	K01+900	K02+000	880										0.00	0.0%					
Área Total inspeccionada (m2)			17600							Área total afectada y porcentaje de afectación			147.14	0.8%					
Área total afectada por severidad y por daño (m2)							11.172	64.43		29.478	8.7	21.96	11.22	0.1856	0	0			
Área total afectada por daño (m2)							105.078				41.88			0.1856					
Peso del daño dentro del área inspeccionada según severidad (%)							0.06%	0.37%		0.17%	0.05%	0.12%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%			
Peso total del daño dentro del área inspeccionada (%)							0.60%				0.24%			0.00%					

Fuente: Propia

En la tabla 9-4 se presenta un resumen de la tabla del ANEXO C en el cual se observa con mayor detalle, allí también se encuentra la tabla para el proceso y análisis de datos para los daños superficiales y no superficiales.

A partir de los daños obtenidos según la inspección visual que se hizo en campo, se realizó la siguiente gráfica, donde se observa el tramo y el área dañada correspondiente.

Figura 9-5. Área afectada por tramos.
Fuente: Propia

Luego se presenta cuatro graficas correspondientes a la distribución de los daños teniendo en cuenta el nivel de severidad, incluyendo los daños superficiales.

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

Figura 9-6. Distribución de los daños de severidad alta por tipo.
Fuente: Propia

Como se puede observar la piel de cocodrilo tiene un alto grado significativo en el pavimento de la vía, siendo este el daño que más afecta la estructura de pavimento.

Figura 9-7. Distribución de los daños de severidad media por tipo.
Fuente: Propia

En la figura 9-7 se contempla que la piel de cocodrilo y el parche son los daños que más se presentan en todo el tramo de vía selecciona, en un nivel de severidad medio.

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

Figura 9-8. Distribución de los daños de severidad baja por tipo.
Fuente: Propia

En el nivel de severidad baja como se puede observar en la figura 9-8 el parche es el tipo de daño que más se evidencia en el tramo de pavimento seleccionado.

Figura 9-9. Sin grado de severidad por tipo.
Fuente: Propia

El daño superficial que más se presenta en la estructura de pavimento es el pulimiento del agregado, como se muestra en la figura 9-9.

A continuación, se muestra un resumen de las áreas afectadas por tramo, en el cual se puede ver de una forma más fácil y analizar el tramo más crítico de la vía en estudio.

Figura 9-10. Extensión total de daños

Fuente: Propia

Allí se puede analizar que el tramo más afectado por los daños en el pavimento inicia desde el K00+500 hasta el K00+700, con niveles de severidades alta, media y baja que se pueden clasificar según su porcentaje de la siguiente manera:

- K00+500
N. Baja: 11.94%
N. Media: 26.79%
N. Alta: 22.49%

- K00+600
N. Baja: 21.89%
N. Media: 7.36%
N. Alta: 20.54%

- K00+700
N. Baja: 0.05%
N. Media: 27.48%
N. Alta: 28.68%

Teniendo en cuenta los daños totales, se especifica los daños por nivel de severidad de cada carril, incluyendo los daños superficiales, a continuación, se presenta las gráficas del carril externo.

Figura 9-11. Área afectada por tramos del carril externo.

Fuente: Propia

En este primer carril el tramo más afectado es el K01+100 al K01+200, correspondiente al T12.

En las siguientes graficas se puede observar que en los 2 kilómetros del carril externo se evidencia una mayor afectación de piel de cocodrilo con un área de 109.35 m², en el nivel de severidad alto y 353.81 m² en el nivel de severidad medio, parche con un área de 161.13 m² en el nivel de severidad bajo y pulimiento del agregado con un área de 358.22 m² correspondiente a los daños superficiales.

Figura 9-12. Distribución de los daños de severidad alta por tipo del carril externo.
Fuente: Propia

Figura 9-13. Distribución de los daños de severidad media por tipo del carril externo. Fuente: Propia

Figura 9-14. Distribución de los daños de severidad baja por tipo del carril externo. Fuente: Propia

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

Figura 9-15. Distribución de los daños sin grado de severidad por tipo.
Fuente: Propia

A continuación, los daños por nivel de severidad del carril central.

En la siguiente grafica se puede observar que el tramo más crítico es el T5 Y T7 correspondiente al K00+500 Y K00+700, teniendo en cuenta todos los daños encontrados en campo.

Figura 9-16. Área afectada por tramos del carril central.
Fuente: Propia

En las siguientes graficas se puede observar que en los 2 kilómetros del carril central se evidencia una mayor afectación de piel de cocodrilo con un área de 728.88 m² y parche con área de 696.45 m² en el nivel de severidad alto, fisura longitudinal con un área de 16.08 m², en nivel de severidad medio y 8.28 m² bajo, pulimiento del agregado con un área de 134 m² correspondiente a los daños superficiales.

Figura 9-17. Distribución de los daños de severidad alta por tipo del carril central.
Fuente: Propia

Figura 9-18. Distribución de los daños de severidad media por tipo del carril central. Fuente: Propia

Figura 9-19. Distribución de los daños de severidad baja por tipo del carril central.
Fuente: Propia

Figura 9-20. Distribución de los daños sin grado de severidad por tipo del carril central. Fuente: Propia

Por último, se presenta, los daños por nivel de severidad del carril interno. En la siguiente grafica se puede observar que el tramo más crítico es el T5 Y T7 correspondiente al K00+500 Y K00+700, teniendo en cuenta todos los daños encontrados en campo.

Figura 9-21. Área afectada por tramos del carril interior.

Fuente: Propia

En las siguientes graficas se puede observar que en los 2 kilómetros del carril interior se evidencia una mayor afectación de piel de cocodrilo con un área de 108.45 m² en el nivel de severidad alto y 399.92 m² en el nivel de severidad medio, parche con un área 445.05 m² en nivel de severidad bajo, pulimento del agregado con un área de 51.12 m² correspondiente a los daños superficiales.

Figura 9-22. Distribución de los daños de severidad alta por tipo del carril interno.
Fuente: Propia

Figura 9-23. Distribución de los daños de severidad media por tipo del carril interno. Fuente: Propia

Figura 9-24. Distribución de los daños de severidad baja por tipo del carril interno.
Fuente: Propia

Figura 9-25. Distribución de los daños sin grado de severidad por tipo del carril interno. Fuente: Propia

10. ETAPA 3. ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

Para determinar el PCI del pavimento flexible se siguieron unos pasos que se encuentra con mayor detalle en el *ANEXO D*, a continuación, un breve resumen:

1. Datos de entrada: Se describe el tipo y geometría del tramo de vía.
2. Selección de las unidades de muestreo: se calcula el intervalo de muestreo, con el fin de conocer las unidades a inspeccionar con su respectiva abscisa inicial y final.
3. Total: sumatoria de las áreas del tipo de daño y nivel de severidad.
4. Densidad: Se dividió el área total por tipo de daño y nivel de severidad por el área de la muestra, expresándolo en porcentaje.
5. Valor deducido: Mediante las curvas denominada valor deducido del daño que se encuentran en el manual, teniendo en cuenta el tipo de daño y nivel de severidad

El total, la densidad y el valor deducido se presentaron en el formato PCI, siguiendo con los pasos estipulados en el manual.

Tabla 10-1. Formato PCI descripción

Daño	Severidad	Cantidades parciales			Total	Densidad (%)	Valor deducido
		Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)			
13	L	0.45	0.5	0.225			
13	L	0.3	0.2	0.06	0.285	0.101%	20
13	H	1	1.5	1.5	1.5	0.529%	40
7	M	20	0.3	6			
12	M	10	1.5	15	15	5.291%	0
7	M	10	1.5	15	21	7.407%	11
10	H	5	1.2	6	6	2.116%	12

Fuente: Propia

6. A partir de los valores deducidos obtenidos en el paso 5 se determinó el mayor valor deducido corregido (CVD) de la siguiente forma:
 - En el formato estipulado en el manual se ordenó de mayor a menor los valores deducidos.
 - El menor valor deducido se expresó a 2 en cada iteración.
 - Para obtener el total se sumó los valores deducidos.

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

- q que es el número de valores deducidos mayores a 2.
- Luego se busca en la gráfica de curva establecida por PCI el CVD correspondiente a cada iteración, teniendo en cuenta el total y la q.
- Las iteraciones finalizaron cuando solo un valor deducido es mayor a 2.

Tabla 10-2. Valores deducidos tramo 1

No.	Valores Deducidos					Total	q	CVD
1	40	20	12	11	0	83	4	47
2	40	20	12	2	0	74	3	46
3	40	20	2	2	0	64	2	46
4	40	2	2	2	0	46	1	46

Fuente: Propia

Tabla 10-3. Valores deducidos tramo 2

No.	Valores Deducidos					Total	q	CVD
1	30	29	12	6	5	82	5	42
2	30	29	12	6	2	79	4	44
3	30	29	12	2	2	75	3	48
4	30	29	2	2	2	65	2	48
5	30	2	2	2	2	38	1	38

Fuente: Propia

7. Para obtener el PCI de cada tramo se le resto 100 al mayor CVD obtenido de las iteraciones anteriores.

Tabla 10-4. PCI del tramo 1

MAX CVD	47
PCI	53
CLASIFICACION	REGULAR

Fuente. Propia

Tabla 10-5. PCI del tramo 2

MAX CVD	48
PCI	52
CLASIFICACION	REGULAR

Fuente. Propia

8. Los PCI de cada tramo se hallaron teniendo en cuenta el paso anterior, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 10-6. PCI de las unidades inspeccionadas

UNIDADES A INSPECCIONAR	Abscisa inicial	Abscisa final	PCI
1	0.0	31.5	53
2	154.5	186.0	52
3	309.1	340.6	50
4	463.6	495.1	14
5	618.1	649.6	49
6	772.7	804.2	29
7	927.2	958.7	34
8	1081.7	1113.2	32
9	1236.3	1267.8	22
10	1390.8	1422.3	51
11	1545.3	1576.8	59
12	1699.8	1731.3	54
13	1854.4	1885.9	60
ADICIONAL	14	1968.5	72

Fuente: Propia

9. Para terminar el PCI de la totalidad del pavimento flexible se calculó aplicando la fórmula 6.4.

Tabla 10-7. Datos para determinar el PCI

CALCULO DE PCI	
PCIR	45
PCIA	72
N	63
A	1

Fuente: Propia

Tabla 10-8. PCI del pavimento flexible

PCIS	45.50
CLASIFICACION	REGULAR

Fuente: Propia

En las tablas anteriores se describe con exactitud los datos y su respectivo significado para remplazarlo en la formula y así poder hallar el índice de condición del pavimento de la vía en estudio.

11.ETAPA 4. PLAN DE MANTEMIMIENTO PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Tabla 11-1. Resumen del plan de mantenimiento

PLAN DE MANTENIMIENTO AVENIDA CATAMA							
#	Tipo de mantenimiento	Deterioro a tratar	Severidad	Tipo de estructura	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Preventivo
1	Reparación de la señalización vertical	Falta de mantenimiento a causa de choques e imprudencias	-	Flexible	Arreglar el estado de la señalización, su forma, su color y la letra	N/A	N/A
2	Repintado de la señalización horizontal	El constante tráfico genera desgaste en la pintura	-	Flexible	Aplicar la pintura reglamentaria para evitar el desgaste de la señalización en la vía	Limpiar y arreglar la falta de señalización en la vía	N/A
3	Rellenado de Baches en la vía	Baches	Alta y media	Flexible	Retirar excesos, reparar capas y rellenar con riego y asfalto	Verificar estado de los baches, limpiar y sellar juntas de construcción	Verificar estado de los baches, limpiar y sellar juntas de construcción
4	Corte de vegetación	Exceso de vegetación, moho y maleza sobre el separador y la berma	-	Flexible	-	Podar y asear los excesos de vegetación y maleza sobre la vía	N/A
5	Mantenimiento a la semaforización de la calzada	Daños eléctricos a la semaforización de la calzada	-	Flexible	Verificar su funcionamiento para realizar su debido mantenimiento eléctrico	N/A	Verificar su funcionamiento para realizar su debido mantenimiento eléctrico
6	Reparación de grietas	Grietas longitudinales	Alta, media, baja	Flexible	Limpiar, arreglar y reparar las grietas concreto	Reparación a su alrededor	Supervisar la reparación de las grietas y generar su

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

PLAN DE MANTENIMIENTO AVENIDA CATAMA							
#	Tipo de mantenimiento	Deterioro a tratar	Severidad	Tipo de estructura	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Preventivo
		Grietas transversales	Alta, media, baja	Flexible			debido mantenimiento si es necesario
		Grietas de esquina	Alta, media, baja	Flexible			
7	Limpieza	Tapas de sumideros	-	Flexible	Limpiar muy bien los elementos con el fin de garantizar un buen servicio a los usuarios que transitan por esta vía	Limpiar muy bien los elementos con el fin de garantizar un buen servicio a los usuarios que transitan por esta vía	N/A
		Rejillas de alcantarilla	-	Flexible			
		Material suelto	-	Flexible			
8	Reparación de fisuras	Fisuras longitudinales	Alta, media, baja	Flexible	Limpiar, aplicar riego de liga e impermeabilizar.	N/A	Verificar el estado de las fisuras reparadas, e identificar nuevos daños para repararlos de inmediato.
		Fisuras transversales	Alta, media, baja	Flexible			
		Fisuras de borde	Alta, media, baja	Flexible			
9	Fresado	Fisuras en bloque	Alta, media, baja	Flexible	Retirar carpeta asfáltica y emplear la mezcla asfáltica	N/A	N/A
		Piel de cocodrilo	Alta, media, baja	Flexible			
		Parches	Alta, media, baja	Flexible			
		Descascaramiento	Alta, media, baja	Flexible			

Fuente: Propia

El plan de mantenimiento que se realizó se fue desarrollando con el objetivo de identificar los diferentes mantenimientos según los daños que se evidenció en campo de la avenida seleccionada, empezando por el mantenimiento correctivo que emplea acciones para corregir o restaurar los daños que interfieren el nivel de servicio del pavimento. Esto se encuentra en forma resumida y en detalle en el *ANEXO E*, donde se especifica por tramos, teniendo en cuenta que cada tramo está conformado por 500 metros, nombrando los daños, las causas, la solución, el carril, el área y la gráfica.

El mantenimiento rutinario se emplea para garantizar actividades de limpieza y verificar si la vía conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación.

Por último, se especifica el mantenimiento preventivo que consiste en adelantar acciones para proteger el pavimento en fallas en su fase inicial, como se muestra en la tabla 11-1.

A continuación, se presenta una tabla al detalle de las alternativas que proponemos para mejorar el pavimento de la avenida, teniendo en cuenta los daños analizados anteriormente, consiste en reforzar el pavimento para evitar fallas en la estructura, son soluciones con materiales nuevos y tecnológicos, que actualmente son usados en varias obras como es la geomalla, el Slurry y el TSS- TSD.

Tabla 11-2. Propuesta para el mantenimiento del pavimento flexible

SISTEMA DE REFUERZO POR TIPO DE DAÑO					
QUE ES	METODOLOGIA		CARACTERISTICAS	UTILIDAD	IMAGEN
Aplicación de uno o más riegos alternados de asfalto y de agregado sobre una capa granular	Tratamiento superficial TSS - TSD	Los tratamientos superficiales, en su variante más sencilla, se definen como una aplicación uniforme de un ligante asfáltico, usualmente emulsión asfáltica, cubierta por una capa uniforme de agregados de igual tamaño. Permiten aumentar el coeficiente de fricción de la carretera, sirven para impermeabilizar la estructura de pavimento existente, con lo cual se protegen las capas subyacentes, cuando se colocan sobre superficies granulares sirven para reducir la emisión de polvo, permiten disponer de una superficie uniforme. Es importante considerar que los tratamientos superficiales no deben ser colocados sobre carreteras con algún tipo de daño estructural significativo, ya que por su espesor no realizan ningún aporte estructural al pavimento	Aplicación de emulsión asfáltica de rotura rápida y capas de gravilla de tamaño uniforme. Mejora condiciones de fricción y drenaje Nueva Superficie de Rodadura Conserva la carpeta asfáltica	Proveer una superficie de rodado económica y duradera a caminos con base granular y con niveles de tránsito medios a bajos. Prevenir la penetración de agua en las bases granulares.

SISTEMA DE REFUERZO POR TIPO DE DAÑO					
QUE ES	METODOLOGIA		CARACTERISTICAS	UTILIDAD	IMAGEN
Es un geocompuesto utilizado para procesos de reasfaltado y de eliminación de grietas. Formado por fibra de vidrio, poliéster, polivinilo de alcohol	Instalación de geomallas para refuerzo de la carpeta asfáltica	Para cualquier tipo de restauración es necesario preparar la superficie del pavimento, eliminando el polvo y la humedad, además se requiere un buen sellado de las grietas existentes. Después de sellada las grietas, al pavimento se le aplica un riego de liga, que permita adherir el geotextil al pavimento antiguo y dependiendo del geotextil, es necesario colocar en aquellas dosis y temperatura que el fabricante recomienda. Finalizado el riego asfáltico, se procede a colocar la manta del geotextil éste es fijado al riego mediante un rodillo neumático para asegurar la adherencia entre el geotextil y el pavimento antiguo, luego se aplica otro riego de liga y posteriormente se aplica y compacta la carpeta asfáltica en forma tradicional.	Con las geomallas se logra aumentar la resistencia de la tracción de la capa asfáltica garantizando bajo una carga vertical la distribución uniforme de esfuerzos horizontales en una mayor superficie	El efecto de la inclusión de la geomalla de refuerzo reduce el espesor de la sobrecapa si se utiliza con la intención de reducir los costos y mantener el mismo tiempo de duración para el que se diseñó; o aumenta la vida útil del proyecto si la inclusión de la geomalla se hace para obtener un beneficio en la cantidad de tiempo y no en el costo

Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de Villavicencio (Meta)

SISTEMA DE REFUERZO POR TIPO DE DAÑO					
QUE ES	METODOLOGIA		CARACTERISTICAS	UTILIDAD	IMAGEN
Mortero con consistencia de lechada, fabricado con emulsión de resina sintética, árido de granulometría seleccionada y pigmentos.	Slurry	La preparación de la superficie consiste en una limpieza exhaustiva a través del soplado y barrido de ésta, luego aplicamos una liga con emulsión diluida para posterior mente aplicar la lechada, una vez que esta quebró se procede a ligar nuevamente para aplicar enseguida el rechapado en forma tradicional	Antideslizante, impermeable y no toxico. Es resistente a la intemperie y a la abrasión en seco. Mezcla de emulsión asfáltica de rotura lenta, agua, agregado fino y llenante mineral. Sella Grietas de poca abertura Impermeabilizar Superficies Mejora Fricción Superficial Nueva Superficie de Rodadura Conserva la carpeta asfáltica	Textura más rugosa protectora al desgaste. Capa impermeable, sella las grietas del pavimento viejo Superficie de rodamiento uniforme antiderrapante Sin necesidad de renivelar brocales, registros y alcantarillas En superficies nuevas, proporciona una capa de desgaste que prolonga considerablemente la vida del pavimento. Restaura textura del pavimento Corrige el disgregamiento Reduce el ruido

Fuente: Propia

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El registro y estudio de los vehículos que transitan en la avenida, se evidencia en el aforo con un TPD de 1.567 vehículo/día, especificando de la siguiente manera: automóviles de 1.102 vehículo/día con un 70% del volumen total, buses de 253 vehículo/día con el 16% del volumen total y camiones de 212 vehículo/día con el 14% del volumen total del tramo de la vía.

De acuerdo con el método propuesto por el INVIAS, en los 2 kilómetros de pavimento flexible se evidencia que existe 16 daños en la calle 35 del tramo de la carrera 20d hasta la carrera 5, con un 3.62% del área de piel de cocodrilo en el nivel de severidad alto, 5.93% del área de piel de cocodrilo en el nivel de severidad medio, 5.69% del área de parche en el nivel de severidad bajo y 3.09% del área de pulimento del agregado de daños superficiales. El tramo en que más se evidencia daños empieza en el k00+500 hasta el k00+700 con un 71.71% del área de afectación.

Se analizó por carril, en el cual el primer carril se nombró D1 (carril externo), allí se evidenció 0.62% del área de piel de cocodrilo en el nivel de severidad alto, 2.01% del área de piel de cocodrilo en el nivel de severidad medio, 0.92% del área de parche en el nivel de severidad bajo y 2.04% del área de pulimento del agregado de daños superficiales.

En el segundo carril D2 (carril medio o central) se evidencio 4.14% de piel de cocodrilo en el nivel de severidad alto, 0.09% del área de fisura longitudinal en el nivel de severidad medio, 0.05% del área de fisura longitudinal en el nivel de severidad bajo y 0.76% del área de pulimento del agregado de daños superficiales.

En el tercer carril D3 (carril interno) se evidenció 0.62% de piel de cocodrilo en el nivel de severidad alto, 2.27% del área de piel de cocodrilo en el nivel de severidad medio, 2.53% del área de parche en el nivel de severidad bajo y 0.29% del área de pulimento del agregado de daños superficiales.

Con el método PCI se determinó que la condición del pavimento es regular en una escala de 45.5, como se muestra en la tabla 10-8 según la evaluación y calificación objetiva del pavimento regido por la metodología, obteniendo 14 unidades a inspeccionar, en los que se identificaron diferentes niveles según su unidad de muestreo, se encontró 1 unidad de muestreo como muy bueno en un rango de 85-70, 2 como bueno en un rango de 70-55, 6 unidades de muestreo se clasificaron como regular en un rango de 55-40, 3 como malo en un rango de 40-25, 2 como muy malo en un rango de 25-10. La unidad 4 es la que presenta mayor afectación con un PCI de 14, 5.3% de piel de cocodrilo en severidad media, 0.08% de huecos de severidad media, 3.7% de desprendimiento de agregados en severidad media, 13.9% de piel de cocodrilo en severidad alta, 2.5% de agrietamiento en bloque en severidad alta, 17.8% en parcheo en severidad media. Por lo contrario, la unidad 14 presenta un PCI muy bueno con un rango de 72, clasificándose en 4% de grietas

longitudinales y transversales en un nivel de severidad medio, 3.4% de grieta de borde en severidad baja, 3.5% de grietas longitudinales y transversales en severidad baja, 1.1% de piel de cocodrilo en severidad media.

El plan de mantenimiento describe las posibles soluciones según el daño, teniendo en cuenta la metodología INVIAS, como propuesta personal, optamos por plantear el uso de geomallas sintéticas, el Tratamiento superficial TSS – TSD y el Slurry, con el fin de que el pavimento sea más durable, resistente a los cambios climáticos, resistente a las cargas pesadas, más económico y con más vida útil.

13.RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 13-1.Resultados esperados

Resultado	Indicador	Objetivo relacionado
Conocimiento de las causas y así mismo la solución que se pueda aplicar a las fallas patológicas del pavimento.	Implementar una alternativa para corregir los daños que causan el deterioro en la vía	Objetivo específico 3
Determinación el dato exacto del tráfico que se moviliza por esta vía para obtener la propuesta de pavimento correcta.	Aforo en el tramo seleccionado con el fin de conocer el TPD del tráfico.	Objetivo específico 2
Análisis de la inspección visual que se realizó con el fin de conocer los tipos de daños en el pavimento y los deterioros de señalización.	Inspección visual y de señalización	Objetivo específico 1
Alternativa de estabilización para mejorar la estructura de pavimento.	Investigación y análisis para mejorar el pavimento flexible del tramo.	Objetivo específico 4

Fuente: Propia

La propuesta de mejoramiento de la vía es importante para la movilidad de esta zona, ya que podría mejorar y superar la calidad de vida de la población en la que se encuentran, como bien se sabe, esta zona de la ciudad es muy transitada por el transporte público y privado, sea pesado y liviano, dicha propuesta mejorará la estructura de pavimento y por ende la circulación vehicular, así como también la comodidad y la seguridad de cada individuo que allí transite o resida. En la tabla 13-2 se presentan los impactos esperados con el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 13-2. Impactos del proyecto

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social		Lograr una excelente calidad de vida a la población afectada por la vía, aumentando la seguridad y el comercio que se evidencia en el tramo	Corto
Económico	Mejorar la capacidad estructural del Pavimento, optimando la movilidad de la zona	Generar empleo directo e indirecto que beneficie la comunidad que reside en esta zona y así mismo una vez terminado el proyecto se estima aumento en las ventas de los negocios que se encuentran por esta calle	Mediano y largo plazo
Ambiental		Cualquier tipo de construcción afecta el entorno, por otro lado, el tránsito constante de vehículos contamina el medio ambiente.	Corto mediano y plazo.

Fuente: Propia

14. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

14.1. CONCLUSIONES

En el aforo realizado se identificó que por esta avenida transita un 30% de vehículos pesados, distribuidos en un 14% camiones y buses con un 16% y vehículos livianos con el 70% del volumen total, por ende, se indica que es la causa del deterioro del pavimento. Se evidencia vandalismo, debido a que las señales verticales están rayadas y muy deterioradas, en cuanto a las horizontales se encuentran poco visible, lo que demuestra que no se cumple con el manual de señalización vial del 2015 del invias, lo que genera accidentabilidad e inseguridad en la vía.

Durante la inspección visual teniendo en cuenta la metodología INVIAS, se evidenciaron diferentes tipos de daños en sus diferentes niveles de severidad, en donde se obtuvo un 27.8% del área afectada en todo el tramo, siendo la piel de cocodrilo, el daño con mayor porcentaje de afectación, teniendo un 9.78% del área total inspeccionada, seguido del parche con un 8.43% del área total, por lo que es evidente que no se le está haciendo el mantenimiento adecuado a esta avenida principal.

Los resultados obtenidos por la metodología INVIAS y PCI se pueden relacionar más no comparar ya que no cuentan con la misma escala de calificación, analizando así que el tramo más afectado, se encuentra entre el K0+500 y K0+700 y en la unidad de muestreo 4, 5 y 6.

Para que la avenida Catama cumpla con los requisitos de seguridad y comodidad, es necesario primeramente realizar el mantenimiento correctivo en donde se repara la superficie de la vía, es decir actividades para restaurar los daños actuales, luego se debe realizar el mantenimiento rutinario que es la limpieza que se le hace a la vía en general, teniendo en cuenta la preservación de todos los elementos de la vía, por último se deberá aplicar el mantenimiento preventivo con el objetivo de hacer la vida útil del pavimento más duradera.

Las alternativas propuestas como mantenimiento para la estructura de pavimento flexible se plantean para reforzar la estructura, permitiendo que la vida útil de la vía mejore dando comodidad al peatón y a los conductores, visto que haciendo la debida investigación se descubrió que con la instalación de geomallas se lograra aumentar la resistencia de la tracción de la capa asfáltica garantizando bajo una carga vertical la distribución uniforme de esfuerzos horizontales en una mayor superficie, también el tratamiento superficial TSS – TSD que es la aplicación de uno o más riegos alternados de asfalto y de agregado sobre una capa granular y por último el slurry que permite el sello de grietas de poca abertura, impermeabilizando superficies, mejorando la fricción superficial y conservando la carpeta asfáltica.

14.2. TRABAJOS FUTUROS

El presente documento es concerniente a la evaluación del pavimento flexible en la ciudad de Villavicencio, el desarrollo de este puede ser una referencia para trabajos relacionados, con el fin de ser una guía para identificar los daños y la evaluación del pavimento, como también las actividades propuestas como mantenimiento para la rehabilitación o reconstrucción de una vía, obteniendo una vía en estado óptimo y seguro para los usuarios.

Realizar estudios que evalúen la capacidad estructural del pavimento, con equipos de alta tecnología y estudios de suelos, en las zonas más afectadas, para dar una solución más asertiva en la intervención del pavimento.

Se espera que el trabajo sea tenido en cuenta por los entes encargados del mantenimiento de las vías en Villavicencio, para que destinen los recursos necesarios para su reparación y de los elementos que conforman la avenida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. M. Clavijo-Rey y C. A. Aranda-Rojas, «Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla densa en caliente tipo MDC-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes (25%, 75%),» 2014. [En línea]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingenieux/article/view/1238/1209>.
- [2] A. G. Boza, «udep,» 05 diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>.
- [3] V. Alix, «webmaster,» [En línea]. Available: <http://sikuani.udea.edu.co/webmaster/elecciones2014/especial/InfraVial/Infraestructura.htm>.
- [4] Universidad Catolica de Colombia, *Diseño de un pavimento*, Bogotá: Universidad Catolica de Colombia, 2014.
- [5] INVAS, «Manual para inspeccion visual,» 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>.
- [6] I. A. J. B., «Manual de mantinimiento y rehabilitacion de pavimentos flexibles,» [En línea]. Available: http://vialidad21.galeon.com/manual_mvial.pdf.
- [7] L. R. V. Varela, «Para pavimentos asfalticos y de concreto en carreteras,» [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Camila/Downloads/manual-pci1.pdf>.
- [8] C. y. M. & J. Cardenas, Ingenieria de transito.
- [9] A. Parera, «Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos,» UNIFORT, 18 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.unifort.es/pavimentos-industriales/pavimentos-flexibles-pavimentos-rigidos/>. [Último acceso: 19 Octubre 2019].
- [10] N. M. Matta y S. Pulido, Evaluación estructural del pavimento flexible de la Avenida Arica en el tramo jirón Camino Real - jirón Santa Lucia, P.J. Dos de mayo, distrito Chimbote, Ancash 2019, Chimbote: Universidad César Vallejo, 2019.
- [11] J. S. Celestino, Evaluación de nivel de patologías del pavimento en el distrito de Ica durante el periodo de Marzo a Agosto del año 2016, Ica: Universidad Alas Peruanas, 2016.
- [12] P. B. Zamora, Evaluación del estado de conservación de las calles de la zona monumental de la ciudad de Celendín utilizando el método de Índice de Conservación del Pavimento (PCI), Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2019.
- [13] D. L. Romero, «Cualificación cuantitativa de las patologías en el pavimento flexible para la vía Siberia – Tenjo de la Sabana de Bogotá,» 2017. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15274>.
- [14] M. Higuera, «Inspección patológica de pavimentos flexibles en un sector específico de Bogotá D.C., como fase del proyecto “comparativa patológica de pavimentos flexibles en climas extremos y la toma de decisiones asociadas” del convenio interinstitucional con la Unive,» 2016. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/61089836-Proponente-monica-higuera-jaime-trabajo-de-grado.html>.
- [15] Y. F. Chávez, N. X. Hernández y C. M. Ricaurte, «Estudio patológico en la base estabilizada con crudo de Castilla del K0+230 al K2+330 de la vía de acceso a la vereda La Arganetina del municipio de Villavicencio Meta,» 2018. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/14676>.
- [16] R. E. Guevara y A. C. Romero, «Plan de mantenimiento para el pavimento de la avenida del llano calzada NS desde la glorieta de la grama hasta la calle 35 en Villavicencio, en base a la inspección visual de daños,» 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16893?show=full>.
- [17] L. K. Patarroyo, O. O. Morales, J. E. Serna y E. García, «Dinámica poblacional en Villavicencio (Departamento del Meta) por comuna y corregimiento,» Universidad de los Llanos, 19 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/emiliogarciagutierrez56/dinamica->

*Plan de mantenimiento para la estructura de pavimento flexible de la avenida
Catama (calle 35) en el tramo entre la carrera 20d hasta la carrera 5, de
Villavicencio (Meta)*

-
- poblacional-villavicencio-meta-por-comuna-y-corregimiento. [Último acceso: 7 Septiembre 2019].
- [18] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-A646, 2005.
- [19] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [20] L. L. a. H. Miao, «A specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*, Seattle, WA, USA,, November 8-12.
- [21] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [22] «TenSTEP,» [En línea]. Available: Cuando ha terminado de crear los objetivos y alcance, regrese y asegúrese de que todos están alineados. No debe tener objetivos que hagan referencia a entregables no definidos en los postulados del alcance. Si no está construyendo lo suficiente para satis. [Último acceso: 14 12 2015].
- [23] Diario Extra Llano, «Denuncian vía a Catama, sector La Reliquia por mal estado de pavimentación,» Diario Extra Llano, 10 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://llano.extra.com.co/noticias/local/denuncian-catama-sector-la-reliquia-por-mal-estado-de-367522>. [Último acceso: 17 Octubre 2019].