



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INSPECCIÓN VISUAL DE UN  
PAVIMENTO FLEXIBLE, POR LOS MÉTODOS TRADICIONAL Y  
POR SENSORES REMOTOS EN UN KILÓMETRO DE LA CALLE  
SÉPTIMA EN EL MUNICIPIO DE CAJICA CUNDINAMARCA**

**CAMILA ALEXANDRA VARGAS BUITRAGO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2018**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INSPECCIÓN VISUAL DE UN  
PAVIMENTO FLEXIBLE, POR LOS MÉTODOS TRADICIONAL Y  
POR SENSORES REMOTOS EN UN KILÓMETRO DE LA CALLE  
SÉPTIMA EN EL MUNICIPIO DE CAJICA CUNDINAMARCA**

**TUTOR:**

**ING. JUAN CARLOS RUGE**

**JURADO:**

**ING. MAURICIO JOSE OROZCO**

**PRESENTADO POR:**

**CAMILA ALEXANDRA VARGAS BUITRAGO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de grado lo dedico inicialmente a Dios quien supo guiarme, darme fuerzas para no desfallecer en los problemas que se presentaban, enseñándome a superar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni fallar en el intento.

A mi familia y a las personas que fueron participes para el desarrollo de mis conocimientos, una dedicación especial a mis padres quienes bajo sus sacrificios han logrado llevar a flote los sueños que empecé a labrar desde el inicio de mi carrera.

Agradezco también a nuestro asesor de tesis el Ingeniero Juan Carlos Ruge por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, así como también la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN .....	13
1. ANTECEDENTES.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
3. OBJETIVOS .....	20
3.1. GENERAL.....	20
3.2. ESPECIFICOS.....	20
4. METODOLOGÍA .....	21
5. JUSTIFICACIÓN .....	24
6. ESTADO DEL ARTE.....	26
7. MARCO CONCEPTUAL.....	29
7.1 MANTENIMIENTO PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	29
7.2 COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO: .....	30
7.3. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO. ....	31
7.4. DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DAÑOS.....	35
7.5 DRON .....	45
7.5.1 CARACTERÍSTICAS SENSOR TIPO DRON UTILIZADO .....	48

8.	MARCO LEGAL.....	52
9.	VÍA A INSPECCIONAR.....	54
10.	RESULTADOS.....	57
10.1	INSPECCIÓN TRADICIONAL.....	57
10.1.1	REPORTE DE DAÑOS.....	57
10.1.2	RESULTADOS.....	65
10.2	INSPECCIÓN CON SENSORES REMOTOS.....	76
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	81
11.1.	CRITERIOS DE DECISIÓN.....	83
11.2.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	87
11.3.	SELECCIÓN DEL MÉTODO. ....	89
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
	BIBLIOGRAFIA .....	91

## CONTENIDO DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Tabla de daños de pavimento - FISURAS</i> .....	<i>38</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Tabla de daños de pavimento - DEFORMACIONES</i> .....	<i>40</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Tabla de daños de pavimento – PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA</i> .....	<i>41</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Tabla de daños de pavimento – PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA</i> .....	<i>43</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Tabla de daños de pavimento – OTROS DAÑOS</i> .....	<i>44</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Tabla para evaluación de pavimento flexible</i> .....	<i>64</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Tabla de ponderación de criterios.</i> .....	<i>83</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Tabla desarrollo de alternativas.</i> .....	<i>86</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Tabla análisis de alternativas</i> .....	<i>87</i>

## CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Sección típica de un pavimento flexible.</i> .....	29
<i>Ilustración 2 Hoja 1 Formato para la evaluación de pavimento flexible - V2</i> .....	32
<i>Ilustración 3 HOJA 2 formato para la evaluación de pavimento flexible - V2</i> .....	33
<i>Ilustración 4 HOJA 3 Formato para la evaluación de pavimento flexible - V2</i> .....	34
<i>Ilustración 5 Inversion Privada en Colombia</i> .....	45
<i>Ilustración 6. Mantenimiento y exploración de carreteras mediante drones (Campos, 2016)</i> .....	46
<i>Ilustración 7: Ventajas dron en obra</i> .....	47
<i>Ilustración 8 Desventajas dron en obra</i> .....	48
<i>Ilustración 9 DRON DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR</i> .....	48
<i>Ilustración 10 Características técnicas cámara DRON DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR</i> .....	50
<i>Ilustración 11 Características Técnicas DRON DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR</i> .....	51
<i>Ilustración 12 Localización general</i> .....	54
<i>Ilustración 13 Localización específica</i> .....	55

## **CONTENIDO DE GRÁFICOS**

<i>Grafico 1 Grafico Inspección Visual Método Tradicional.....</i>	<i>75</i>
<i>Grafico 2 Grafico Analisis de alternativas.....</i>	<i>88</i>



## CONTENIDO DE IMÁGENES

<i>Imagen 1 Lugar de inicio de la vía K0+000 .....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 2 Coordenadas tomadas y transformación de las mismas de Geográficas a Planas .....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 3 Lugar de finalización de la Vía .....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 4 Medición de Abscisado y Marcación en Campo .....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 5 Estado Actual de la Vía .....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen 6 Estado Actual de la Vía .....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen 7 Formato de campo para la evaluación del pavimento flexible.....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 8 Formato de campo para la evaluación del pavimento flexible.....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 9 Falla No 1 y 2 Descascaramiento.....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 10 Falla No 5 Descascaramiento .....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 11 Falla No 3 Fisura en Borde.....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 12 Falla No 9 Fisura en Borde.....</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 13 Falla No 6 y 14 Fisura Longitudinal.....</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 14 Falla No 15 Fisura Longitudinal.....</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 15 Falla No 7 Piel de cocodrilo .....</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 16 Falla No 23 Piel de cocodrilo .....</i>	<i>69</i>
<i>Imagen 17 Falla No 10 y 11 Hundimiento .....</i>	<i>69</i>
<i>Imagen 18 Falla No 22 y 24 Hundimiento .....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 19 Falla No 12 y 13 Bache .....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 20 Falla No 17 y 19 Bache .....</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 21 Falla No 21 y 25 Bache .....</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 22 Falla No 26 Bache.....</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 23 Falla No 16 Fisura en bloque.....</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 24 Falla No 27 y Falla No 29 Fisura en bloque.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 25 Falla No 20 y 28 Reparación Total .....</i>	<i>73</i>

<i>Imagen 26 Falla No 30 Reparación Total</i> .....	74
<i>Imagen 27 Aerofotografía con Dron Phantom 3 Estándar</i> .....	76
<i>Imagen 28 Vía 7 Cajica</i> .....	78
<i>Imagen 29 Fallas en Terreno</i> .....	78
<i>Imagen 30 Vista con el dron calle 7 Cajica</i> .....	79
<i>Imagen 31 Vista con el dron calle 7 Cajica</i> .....	79
<i>Imagen 32 Método tradicional</i> .....	89

## RESUMEN

Evaluar un tramo de vía para identificar los problemas o patologías con que cuenta ha sido un método tradicional que lleva ya algunos años, lo cual toma tiempo y en algunos casos desgasta a la personal quien evalúa, así como algunos gastos económicos en la obtención de materiales para la toma de muestras e identificación de fallas. Por lo que se busca mediante la comparación de dos metodologías identificar cual es la más viable o factible para la evaluación de una vía de pavimento flexible. Donde el resultado definirá en temas de costo y tiempo la más óptima para la evaluación de esta.

### ABSTRACT

Evaluating a section of track to identify problems or pathologies that have been a traditional method that takes some years, which takes time and in some cases wears down the staff who evaluates, as well as some economic costs in obtaining materials for taking samples and identifying faults. For what is sought by comparing two methodologies identify which is the most viable or feasible for the evaluation of a flexible pavement road. Where the result will define the most optimal cost and time issues for the evaluation of this.

### PALABRAS CLAVE

*Dron:* Es una aeronave que vuela sin tripulación. Aunque hay VANT de uso civil, también son usados en aplicaciones militares, donde son denominados vehículo aéreo de combate no tripulado —UAV por su nombre en inglés.

*Sensor Remoto:* La teledetección o percepción remota engloba una serie de técnicas y procesos que permiten obtener una imagen de la superficie terrestre de forma remota, es

decir captada por sensores situados en satélites o aviones, y posteriormente tratarla e interpretarla con el objetivo de obtener información de la superficie terrestre y de sus cambios

*Mantenimiento:* Conservación de una cosa en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.

*Infraestructura vial:* es el medio a través del cual se le otorga conectividad terrestre al país para el transporte de personas y de carga, permitiendo realizar actividades productivas, de servicios, de distracción y turísticas.

*Evaluación de pavimentos:* La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la globalización ha permitido facilitar el acceso a la oferta y demanda de bienes y servicios a diferentes países, esto ha impactado en los sectores económicos y productivos de todas las Naciones, las cuales buscan obtener los mayores beneficios posibles. Igualmente, la globalización ha impulsado la necesidad de fortalecer diferentes sectores con el fin de ser más competitivo, entre los que se ha destacado la importancia de la inversión y el desarrollo en infraestructura vial, la cual se convierte en la base para el tránsito de materias primas, al igual que facilita y mejorar la movilidad en un país.

Con esto se permite definir que uno de los pilares principales para el desarrollo en un país se base en su infraestructura vial, conectando a todo el país, logrando así aumentar el comercio, pero no solo corresponde a su diseño y construcción si no a su mantenimiento siendo uno de los factores que hace que el país actualmente no cumpla al máximo sus alcances, siendo que Colombia es un país progresista y de gran auge en materia de comercialización de materias primas.

Razón por la cual el presente documento se basa en la investigación y comparación de métodos que permiten conocer e identificar un método para evaluar tipos de daños en las vías que se deben a factores climáticos, fortuitos o simplemente de acuerdo a las edades de los pavimentos en las vías. Al mismo tiempo la evaluación rigurosa evaluando temas de tiempo y economía como fundamentos en la solución de problemas viales. Finalmente, el resultado tras tomar una metodología no solo ayudara a empresas privadas sino también públicas en pro del desarrollo del país.

## 1. ANTECEDENTES

Conociendo la importancia de la infraestructura vial en el desarrollo socio-económico de un país, se han desarrollado diferentes estudios los cuales se profundizan en la buena administración del tiempo que permita mantener en óptimas condiciones las redes viales reduciendo el mayor tiempo posible en la comunicación de localidades. Existen múltiples aportes en el área de la evaluación de pavimentos y administración de redes viales, generadas por profesionales en países como Chile, Ecuador, Panamá y México mencionados con la mejor calidad de vías en Latinoamérica.

El primero de estos estudios en orden cronológico es el desarrollado por el INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE (IMT) en el año 2004 con base en la experiencia, aplicaciones y restricciones o fallas de las primeras versiones, tanto el IMT como el Sector Comunicaciones y Transportes decidieron diseñar un nuevo sistema, en especial las áreas de infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos y Dirección General de Conservación de Carreteras, con el fin de contar con una herramienta sencilla y de uso práctico para evaluar los pavimentos flexibles de la red federal de carreteras, y con los resultados del sistema en cuestión, los usuarios pudieran según su criterio, utilizar cualquier método adecuado de administración y conservación vial. Además, con los resultados de ambos, una vez integrados en el Sistema de Evaluación de Pavimentos y el Sistema de Administración de Conservación, se seleccionó que Sector estuviera en condiciones de priorizar y presupuestar anualmente todas y cada una de las acciones de conservación requeridas.

El sistema considera segmentos con una longitud de un kilómetro, además de algunas mejoras en los módulos de Datos Generales, y el Estructural; se adicionan los módulos de Fricción, Índice Internacional de Rugosidad, y Acciones de Conservación y Costos, considerando exclusivamente la conservación periódica y la reconstrucción, sin tomar en cuenta la conservación rutinaria ni la modernización de carreteras (Orozco, Tellez Gutierrez, Solorio Murillo, Perez Salazar, Sanchez Loo, & Torras Ortiz, 2016)

Un importante estudio realizado en Colombia fue el Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles desarrollado por el INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS en conjunto con la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006); En este manual se hace una recopilación bibliográfica y experimental acumulada entre la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), con respecto a la inspección y al reporte de daños que se pueden encontrar en los pavimentos flexibles (Instituto Nacional de Vías - Universidad Nacional de Colombia, 2016).

Otro de los documentos en los cuales se resalta la importancia y la necesidad de implementar un Sistema de Administración de Pavimentos para redes viales es el desarrollado por la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (2008), el cual destaca la importancia de conservar en buen estado la infraestructura vial urbana de la ciudad de Mazatlán, evitando su deterioro, siendo esta la necesidad que se tiene actualmente en el transporte vial en busca de conexión de un lugar a otro, tanto de personas como de materias primas y productos elaborados, necesidades que satisfacen a los habitantes. Las deficiencias conciernen un poco a la parte constructiva pero principalmente

a la parte administrativa; la carencia de programas de mantenimiento y la falta de recursos económicos en el municipio, no han permitido tener una red vial que satisfaga las necesidades de una ciudad en vías de desarrollo como es la ciudad de Mazatlán (Universidad Nacional Autónoma de México, 2016).

Otro estudio realizado por la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (2016), desarrollado con el objetivo de mantener una red de carreteras eficiente, busco no solo métodos de construcción de nuevas carreteras sino también la conservación de las ya construidas, basado en un trabajo de investigación donde compilaron los distintos equipos y métodos de evaluación de pavimentos empleados en la conservación de carreteras Mexicanas, los cuales ayudan a su desarrollo económico y social, proporcionando una mayor seguridad para el tránsito por carretera así como al progreso regional generando un medioambiente sostenible y sustentable. De igual forma se analizaron los criterios de rehabilitación y conservación de pavimentos para establecer propuestas que permitan llevar a cabo una correcta conservación de pavimentos en nuestro país (Universidad Autónoma de México, 2016).

Por último, pero no menos importante son los trabajos desarrollados por la empresa Airsight (AIRSIGHT, 2016), quien ofrece servicios de inspección visual de pavimentos en los aeródromos mediante el uso de drones, destacando los buenos resultados obtenidos en el empleo de aeronaves no tripuladas para la inspección de pistas y calles de rodaje en algunos aeródromos en Alemania.



Al apreciar los estudios de manera comparativa, resalta que los usos de métodos tradicionales requieren cerrar algunas pistas y calles de rodaje por un promedio cerca de 30 minutos para realizar inspecciones a lo largo de la vía, con el uso de drones el tiempo se reducía a casi una tercera parte optimizando las operaciones. Además, los datos obtenidos por los drones son sistematizados inmediatamente y pueden ser analizados en tiempo real, determinando las áreas que requieren una intervención prioritaria de manera más precisa y más eficaz.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la inversión se ha activado en vías 4G gracias al plan de ordenamiento territorial, concierne a ello trae desarrollo en carreteras primarias, secundarias, pistas de aterrizaje, estacionamientos y demás estructuras de pavimento flexible, que requieren de un mantenimiento preventivo, rehabilitación o reconstrucción mayor, esto implica el uso de métodos como técnicas para evaluar el estado actual de estructuras en pavimento, de allí se deriva, la necesidad de investigar que métodos son los mejores desde el tipo técnico y económico para realizar esta evaluación, de acuerdo a cada tipo de proyecto y necesidades que se permitan ser aprovechadas mediante el análisis de aerofotografías geo-referenciadas mediante nuevas tecnologías representadas por los sensores remotos mediante los drones, como las zonas aledañas a las vías, problemas de desprendimientos de bancada, taludes, inundaciones, zonas propensas a derrumbe e incluir como una inspección más completa de la vía aprovechando el área abarcada por las imágenes y el tiempo de recolección de la información, básicamente una inspección del pavimento y de la vía.

Las consecuencias reales de no adoptar un método adecuado que se ajuste al presupuesto, tiempo de entrega y que garanticen la auscultación y resultados, hará que no exista un seguimiento, diagnóstico o evaluación y la rata de deterioro aumente progresivamente, perdiendo la vía su real vida útil de diseño y con él, aumentando todos los costos generados por un mantenimiento mayor, rehabilitación o reconstrucción en el peor de los casos, con el uso de drones se puede prever diferentes aspectos que pueden afectar a la vía.

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema:

***“La necesidad de investigar y definir qué método de inspección visual de pavimentos flexibles es lo suficientemente efectivo, técnico y económico, para la evaluación del pavimento en la vía problema”***

De acuerdo con esta situación, el interrogante principal del proyecto propuesto se define como:

¿Cuál de los dos métodos de inspección de pavimentos flexibles puede optimizar desde el punto de vista técnico y económico el procedimiento de inspección visual de la estructura de la calle 7 del municipio de Cajicá Cundinamarca?

Definidos el problema y el cuestionamiento principal que dan origen a esta propuesta, se presenta a continuación el árbol del problema, basado en las causas y consecuencias del mismo, detectadas hasta el momento, que bien podrían ser modificadas durante el transcurso del proyecto.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. GENERAL**

Realizar un análisis comparativo de dos metodologías de inspección visual de un kilómetro de pavimento flexible de la calle 7 en el municipio de Cajicá, por los métodos tradicional y de sensores remotos.

### **3.2. ESPECIFICOS**

Realizar la inspección visual de pavimento flexible por el método tradicional y por el método de la evaluación por sensores remotos para determinar qué diferencias representativas tienen mediante el análisis de la información recolectada.

Establecer costos actuales por cada método de todos los recursos empleados para la ejecución, para determinar que opción se puede aplicar a un proyecto, considerando cual ofrece el mejor resultado.

Analizar y comparar aspectos técnicos y económicos como mano de obra, servicios profesionales, ahorros en tiempo, recursos tecnológicos físicos y software, así como infraestructura para las dos tecnologías en un (1) km de vía analizada, realizando de toma de datos para cada uno en campo por medio tradicional y por análisis de imágenes que permitan evaluar el pavimento.

## 4. METODOLOGÍA

Con el fin de obtener los resultados esperados producto de este proyecto de grado se empleará la metodología de “Método comparativo”, con la cual se realizará un análisis desde el punto de vista técnico y económico de los métodos de inspección visual tradicionales frente a incorporar nuevos sistemas tecnológicos como en este caso es el empleo de drones. Esta metodología se subdivide en tres etapas diferentes con el fin de obtener los resultados esperados como producto de la investigación, así:

- Recopilación de la información: Inicialmente se requiere hacer una revisión de la información documentada que se pueda obtener de diferentes fuentes como lo son el internet y los trabajos de investigación que reposan en la hemeroteca de la Universidad Militar Nueva Granada, con el fin de conocer y clasificar los métodos de inspección visual de pavimentos que se pueden encontrar y a partir de estos determinar el método más apropiado para el objetivo que se quiere alcanzar como producto final de esta investigación. Igualmente se requiere efectuar una investigación del mercado, buscando conocer que tipos de drones y las características de cada uno de ellos, en procura de emplear el que más se adapte a las necesidades de requeridas.

- Trabajo de campo: En esta etapa se requiere inicialmente realizar la geolocalización de dos puntos situados dentro de la calle séptima, Municipio de Cajicá, Cundinamarca, los cuales servirán de puntos de referencia para poder orientar con exactitud las fallas encontradas. Posterior a la localización de los puntos se inicia con la inspección visual de la vía, para la cual se tomará como referencia el manual para la inspección visual de

pavimentos flexibles, elaborado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en cooperación con la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) en octubre de 2006, en esta fase se realizará una inspección visual empleando los métodos tradicionales con el fin de identificar y localizar las fallas encontradas en el área que se va a estudiar. Una vez documentados y registrados los resultados obtenidos en la inspección visual por el método tradicional, se procederá a realizar la inspección visual con el dron DJI PHANTON 3 ESTANDAR, el cual se elevará a una altura de 150-300 pies sobre el terreno y requerirá que el área a registrar se encuentre despejada y con buenas condiciones meteorológicas, lo anterior con el propósito de obtener los resultados esperados en las fotografías y poder realizar la identificación y localización de las fallas en la estructura vial, tales como fisuras, deformaciones y pérdida de la capa de la estructura que se puedan presentar en terreno.

- Análisis y depuración de la información: Una vez registrados los datos tomados en campo, se procederá a realizar la comparación inicialmente en los aspectos técnicos, entre los cuales se tendrán en cuenta: el número de fallas encontradas y la dimensión de las fallas con el fin de hacer una evaluación del estado de la infraestructura. Con esta comparación se busca determinar si a partir de las fotografías tomadas por el dron se puede identificar óptimamente las fallas presentadas comparadas con las identificadas por el método tradicional. Posterior a la comparación en los aspectos técnicos se realiza la comparación de ejecución de cada uno de los procedimientos, por lo cual se pretende realizar un cuadro comparativo donde se expongan factores como: costos de materiales y de mano de obra, tiempo empleado en la toma de muestras y cierres viales, facilidad en la toma de muestras y depuración de la información y la facilidad de acceso a cada uno de los materiales

requeridos para realizar dicha inspección, finalmente, a cada factor se le asignara un valor dependiendo su relevancia en el proceso y se determinará mediante una matriz de evaluación de alternativas para la toma de decisiones en la cual se le asignara a cada criterio un valor de 1 a 10 según su importancia, donde el valor de 1 será el menos importante y el valor de 10 el más importante, a continuación cada factor evaluado se multiplicara por el valor del criterio y se podrá ver cuantitativamente cuál de las dos alternativas resulta más efectiva según su evaluación.

## 5. JUSTIFICACIÓN

El contexto ingenieril con el que se construye la comparación de dichos métodos, se permitirá realizar una caracterización de cada uno de los ellos, esto por medio de la ejecución y documentación, en donde se busca desarrollar una propuesta metodológica que permita determinar el mejor método de evaluación de pavimentos de acuerdo al proyecto realizado, ya que podría ser utilizado por alguna entidad en sus necesidades técnicas, económicas y confiables en sus resultados, para con ello optar por decisiones adecuadas de mantenimiento o rehabilitación en un tiempo satisfactorio y con la optimización de todos los recursos.

Se realiza esta investigación, en primera instancia para incluir nuevas tecnologías en el ámbito vial dentro de sus actividades de administración y mantenimiento para redes viales en Colombia, en comparación al empleo de métodos tradicionales, tal como se ha realizado en diferentes países como México, quien en el año 2004 diseñó un sistema para evaluar los pavimentos flexibles de la red federal de carreteras, y con los resultados del sistema en cuestión, los usuarios pudieran según su criterio, utilizar cualquier método adecuado de administración y conservación vial o como lo hace la empresa Airsight en Alemania que tiene un programa en el cual se enfoca el uso de drones para la inspección de pavimentos y desarrollar todo esto con el propósito de determinar que procedimiento es más eficiente para optimizar los recursos; por otro lado al obtener imágenes concernientes a la vía, permitirá la implementación de éstas en otros trabajos específicos y la solución a diferentes problemas que se puedan determinar con las mismas, ya que podría ser utilizado por alguna entidad para futuros proyectos como ampliación de la vías, rediseños



geométricos, evaluación de redes, ampliación de redes, espacio público, redes de comunicación y energía eléctrica, movilidad, entre otros, que beneficien a la comunidad y zonas cercanas, inclusive las zonas nacionales por tipo de proyecto, teniendo uso no solo en pavimentos sino otros campos de ingeniería y de desarrollo.

## 6. ESTADO DEL ARTE

Tomando como base el uso de los drones en diferentes ámbitos estructurales cabe resaltar sus usos en otros países tal como es el caso de Perú, donde esta tecnología ya se ha visto implementada para el análisis de vías. En el 2018 gracias a trabajos de investigación dados por estudiantes de la Universidad Andina de Cusco se muestra la valoración de un tramo de vía construida en 1982 la cual a la fecha del reconocimiento ya había cumplido con el tiempo de vida útil por lo cual la intención fue identificar fallas y deterioros en ella: La piel de cocodrilo, exudaciones, agrietamientos y corrugaciones, entre otras, son los resultados vistos en imágenes del dron tomados para vía la cuales muestran buenos resultados en la toma de imágenes, evaluadas estas bajo condiciones y criterios del método P.C.I para evaluación de pavimentos. (YANARICO DEL CARPIO, 2018)

En segunda instancia se presentan estudios con metodología para levantamientos y evaluación de vías de tipo terciaria en Estados Unidos, con el fin de evaluar carreteras no pavimentadas (Vías Terciarias) teniendo en cuenta las características en que se encuentra y cómo se puede realizar una mejora, el condado de Dakota del sur propone este tipo de estudios por medio un helicóptero del fuselaje Airstar Internacional Mangosta, prolongando vuelos de 30 min el cual tiene capacidades de captura de fotos dando resultados y análisis para su evaluación; sin embargo sus resultados no fueron del todo eficientes debido a la baja resolución y la poca calidad de la imagen, por lo que se deberán realizar nuevos ajustes que justifiquen su pronto uso, ya que ayuda a optimizar el tiempo de evaluación de una sección vial.. (Zhang, 2008)

Por otra parte, el Capitán Patrick J. Grandsaert del Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea y Educación - Universidad del aire y comando del entrenamiento propuso en su tesis “programas para evaluación de pavimentos por medio del método PCI” el cual es fundado e implementado en su país, que al igual que el método de inspección visual y tradicional de Colombia caracteriza el estado del pavimento por patologías. En este caso la intención del Capitán es evaluar el estado del pavimento en bases militares aéreas, debido a las sobrecargas de peso que deben soportar a causa de las aeronaves, y así mismo tener en cuenta los parámetros que pudiesen verse involucrados en el daño del pavimento como: velocidades de la aeronave, cantidad de aterrizajes y despegues, tipo y peso de las aeronaves y horas maquina en las cuales los pilotos aún se encuentran en tierra, estos datos son registrados en cámaras y llevadas a expertos donde son inspeccionadas y evaluadas para determinar el estado en que se encuentran estos pavimentos. (Patrick J. Grandsaert, 2015 )

De igual forma, en el año 2004 el Instituto Mexicano de transporte(IMT) decidió diseñar con apoyo del sector de comunicaciones y de transportes un sistema fácil de utilizar y de acceder, con el fin de contar con una herramienta practica para evaluar los pavimentos flexibles de la red federal de carreteras, y con los resultados del sistema en cuestión, los usuarios pudieran según su criterio, utilizar cualquier método adecuado de administración y conservación vial. Además, con los resultados de ambos, una vez integrados en el Sistema de Evaluación de Pavimentos y el Sistema de Administración de Conservación, se seleccionó que Sector estuviera en condiciones de priorizar y presupuestar anualmente todas y cada una de las acciones de conservación requeridas. Cuatro años después de

realizar este proyecto por parte de la IMT de México, la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (2008), realizó una propuesta de inspección vial la cual estaba basada en la preservación vial de la zona urbana de la ciudad de Mazatlán ya que el deterioro de estas vías en muy corto plazo generaría problemas en la conexión de un lugar a otro, tanto de personas como de materias primas, dentro de su estudio argumentaron que la falta de un programa optimo y de libre acceso no ha permitido tener una red vial que satisfaga las necesidades de una ciudad en vías de desarrollo como es la ciudad de Mazatlán (Universidad Nacional Autónoma de México, 2016).

Por último y no menos importante se encuentra un trabajo realizado por la Universidad Nacional de Manizales, en este trabajo se encuentra la evaluación de la condición del pavimento, realizada sobre el tramo de la carretera Puente De La Libertad – Fresno en el sector Puente De La Libertad – Maltería, la intención de este es realizar una comparación de los resultados de la evaluación superficial del pavimento en los diferentes tramos, mediante las metodologías francesa VIZIR adoptada por el INVIAS y la metodología norteamericana PCI, para ello en trabajo de campo se realizó un recorrido en la vía anteriormente mencionada identificando y valorando los posibles daños en la superficie del pavimento, todo esto con el fin de elegir una de ellas para detectar a tiempo y de forma acertada los daños que más adelante resultarían más costosos y traumáticos al momento de arreglar (VALENCIA, 2007)

## 7. MARCO CONCEPTUAL

### 7.1 MANTENIMIENTO PAVIMENTOS FLEXIBLES

Pavimento flexible: Este pavimento está constituido por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base (ilustración 1). Debido a la alta flexibilidad de la carpeta bituminosa (capacidad de gran deformación sin rotura bajo la acción de una carga), el peso del vehículo que transita sobre la superficie es prácticamente una carga concentrada, cuyo efecto se disminuye a través del espesor de las capas subyacentes, hasta llegar distribuido y atenuado a la subrasante (MINTRANSPORTE, 2016).

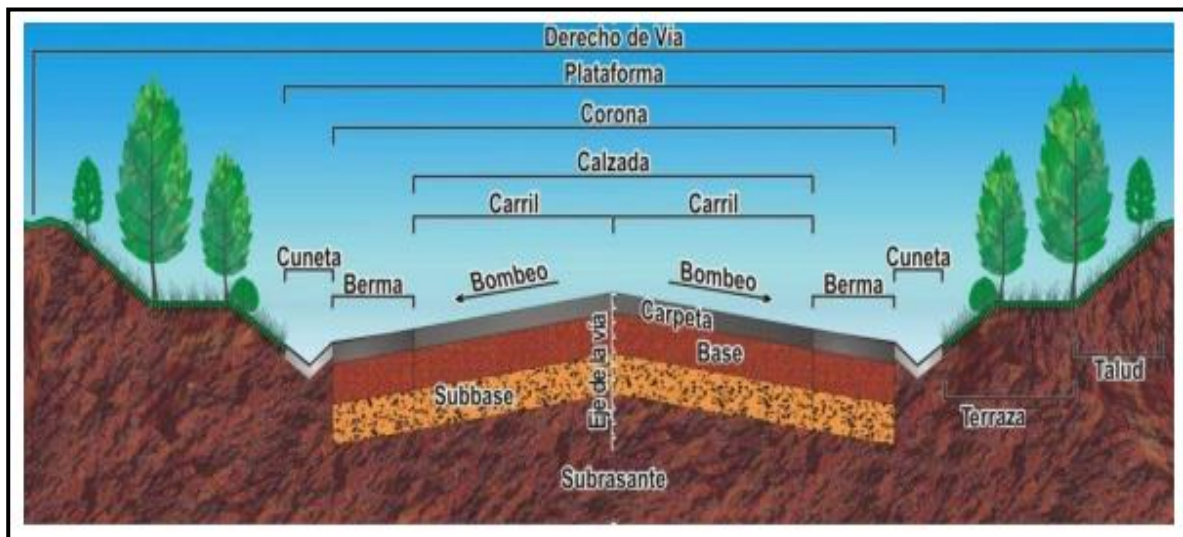


Ilustración 1 Sección típica de un pavimento flexible.  
FUENTE: Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)

## 7.2 COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO:

Es importante tener presente que su estructura sufrirá (con el tiempo) daño y deterioro aun cuando sea adecuadamente diseñado y construido de acuerdo con todas las especificaciones y normas de calidad. Las demás obras de ingeniería tienen una vida indefinida, los pavimentos viales tienen una vida definida; aún con un mantenimiento óptimo alcanzarán un punto de falla.

Los pavimentos son probablemente la única estructura de ingeniería que se diseña para que falle dentro de un periodo específico de tiempo. El modo de deterioro varía sustancialmente, en función de la interacción de varios parámetros, que adicionalmente controlan la rata de deterioro, ellos son:

- a. La estructura (resistencia) del pavimento, incluyendo la subrasante.
- b. El volumen de tráfico y el tipo de cargas.
- c. Políticas de mantenimiento.

En general la falla de un pavimento puede clasificarse como estructural o funcional.

La falla estructural está asociada con la capacidad de carga del pavimento y normalmente se refiere a la fatiga de la estructura, la falla funcional es generalmente definida como la incapacidad del pavimento para proveer una superficie que permita un rodaje confortable, seguro y económico de los vehículos.

### **7.3. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN E INSPECCIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.**



La inspección visual de pavimentos es un método sencillo que busca realizar un registro de las fallas que se pueden encontrar en las infraestructuras viales, con el fin de efectuar un mantenimiento adecuado, buscando preservar las vías en óptimas condiciones y garantizar las medidas de seguridad para los usuarios.

Para la realización de este proyecto de investigación se tomó como referencia el manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (Colombia, 2006), realizado por la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), el cual describe los tipos de daños que se pueden encontrar, al igual que los formatos que se pueden emplear para el registro de los daños encontrados, buscando recopilar la información de manera clara y sencilla.

Se debe tener en cuenta que no se encuentra reglamentado ni documentado el procedimiento a seguir para el desarrollo de este tipo de inspección. Inicialmente hay que contar con algunos elementos básicos como el “formato para la evaluación de pavimento flexible - V2” (UNAL, INVIAS, 2006), este formato permite registrar los tipos de daños encontrados, sus dimensiones, severidad y recurrencia, facilitando la definición de las posibles causas de estas fallas y las actividades de mantenimiento pertinentes.

Posterior a la inspección y registro de los tipos de fallas encontradas en este proceso, es imperativo que se realice la consolidación y organización de la información, en la cual se

debe hacer énfasis al propósito de este proyecto de grado que es la comparación técnica y económica de la inspección visual del pavimento por el método tradicional y por sensores remotos. Determinando los costos de la realización de la inspección y que procedimientos se llevaron a cabo para la consolidación de la información y finalmente la inspección visual de la infraestructura vial.

**ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS**  
**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003**  
**FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2**

TERRITORIAL: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_ CONCESIÓN:  PR INICIAL: \_\_\_\_\_  
 CÓDIGO DE LA VÍA: \_\_\_\_\_ CONTRATO No.: \_\_\_\_\_ **1** MTO INTEGRAL:  PR FINAL: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DE LA VÍA: \_\_\_\_\_ LEVANTADO POR: \_\_\_\_\_ A.M.V.:  HOJA: \_\_\_\_\_ DE: \_\_\_\_\_

PATOLOGÍA								Foto	Aclaraciones
Carril	Tipo	Sever	Daño		Reparación				
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)			

Número de calzadas: **4**      **5** **COMENTARIOS:**  
 Número de carriles por calzada: \_\_\_\_\_  
 Ancho de carril: \_\_\_\_\_      Ancho de berma: \_\_\_\_\_

Ilustración 2 Hoja 1 Formato para la evaluación de pavimento flexible - V2  
 FUENTE: MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)



TIPO DE DAÑO	CONVENC.	SEVERIDADES		
		BAJA	MEDIA	ALTO
<b>FISURAS</b>				
Fisuras longitudinales (m)	FL	Abertura < 1mm o selladas.	Abertura 1-3mm, sin sello, algunas fisuras leves la cruzan.	Abertura > 3mm, posee alto desgaste, algunas fisuras medias las cruzan, causa vibración al vehículo.
Fisuras transversales (m)	FT			
Fisuras en juntas de construcción (m)	FCL, FCT			
Reflexión de juntas de pavimentos rígidos (m)	FJL, FJT			
Fisuras en media luna (m2)	FML			
Fisuras de borde (m)	FBD			
Fisuras en bloque (m2)	FB	Los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos y están conformados por fisuras < 1mm o selladas, sin desgaste en ellas.	Bloques definidos por fisuras 1-3mm, o sin sellante, con desgaste leve.	Bloques bien definidos por fisuras > 3mm que presentan alto desgaste.
Piel de cocodrilo (m2)	PC	Serie de fisuras longitudinales paralelas con abertura de hasta 3 mm, principalmente en la huela.	Las fisuras han formado bloques que tienen un ligero desgaste en los bordes.	Área con bloques sueltos de bordes desgastados, puede existir bombeo.
Fisuras por deslizamiento de capas (m2)	FDC	Fisuras < 1mm o selladas.	Fisuras 1-3mm, pueden existir agrietamientos alrededor con aberturas menores a 1 mm	Fisuras > 3mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras con aberturas mayores a 1 mm.
Fisuración incipiente (m2)	FIN	Sin grados de severidad asociados		
<b>DEFORMACIONES</b>				
Ondulaciones (m2)	OND	Altura < 10mm	Altura 10-20mm	Altura > 20mm
Abultamiento (m2)	AB			
Hundimiento (m2)	HUN	Altura < 20mm	Altura 20-40mm	Altura > 40mm
Ahuellamiento (m2)	AHU	Altura < 10mm	Altura 10-25mm	Altura > 25mm

DAÑOS SUPERFICIALES				
Desgaste superficial (m2)	DSU	Pérdida de la textura uniforme de la superficie, con irregularidades hasta de 3 mm.	Profundidad de las irregularidades entre 3 mm y 10 mm, se observa el agregado grueso, el vehículo experimenta vibración y ruido.	Ha comenzado desintegrarse la superficie, presenta desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada.
Pérdida del agregado (m2)	PA	Se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.	Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.	Desprendimiento extensivo de agregados con separaciones menores a 0.05 m, superficie muy rugosa, se observan agregados sueltos.
Pulimento del agregado (m2)	PU	Sin grados de severidad asociados.		
Cabezas duras (m2)	CD	Sin grados de severidad asociados.		
Exudación (m2)	EX	Se hace visible en la superficie en franjas aisladas y de espesor delgado que no cubre los agregados gruesos.	Exceso de asfalto libre que conforma una película cubriendo parcialmente los agregados.	Cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, aspecto húmedo de intensa coloración negra.
Surcos (m2)	SU	Sin grados de severidad asociados.		
DETERIORO DE CAPAS ESTRUCTURALES				
Descascaramiento (m2)	DC	Altura < 10mm	Altura 10-25mm	Altura > 25mm
Bache o hueco (m2)	BCH	Profundidad < 25 mm, corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.	Profundidad entre 25-50 mm, afecta incluso la base asfáltica	Profundidad > 50mm, llega a afectar la base granular
Parqueo (m2)	PCH	Está en muy buena condición y se desempeña satisfactoriamente.	Presenta algunos daños de severidad baja a media y deficiencias en los bordes.	Presenta daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto.
OTROS DAÑOS				
Corrimiento vertical de la berma <sup>(1)</sup> (m, h)	CV	Altura < 6mm	Altura 6-25mm	Altura > 25mm
Separación de la berma (m, s)	SB	Ancho < 3mm	Altura 3-10mm	Altura > 10mm
Afloramiento de agua (m) <sup>(2)</sup>	AFA	Sin grados de severidad asociados.		
Afloramiento de finos <sup>(3)</sup>	AFI	Sin grados de severidad asociados.		

**COMENTARIOS:**

- En el caso de las bermas, los daños que presenten deben registrarse con las mismas convenciones indicadas adicionando una "B" al final para diferenciarlos de los daños en el pavimento. Los daños reportados como separación y corrimiento vertical de la berma no requieren la adición de la "B" al final.
- En el caso de los afloramientos de agua se mide en metros (m) la zona afectada cuando no tiene otro daño asociado, sin embargo, cuando el afloramiento se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de agua.
- Dado que el afloramiento de finos siempre se presenta donde existe un daño (por ejemplo una fisura o piel de cocodrilo), se reporta el daño y en las aclaraciones se escribe que posee afloramiento de finos.

**Ilustración 3 HOJA 2 formato para la evaluación de pavimento flexible - V2**  
**FUENTE: MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)**

TERRITORIAL: XXXXXXXX FECHA: 01-jun-06 CONCESIÓN:  PR INICIAL: PR63+400  
 CÓDIGO DE LA VÍA: XXXXXXXX CONTRATO No.: XXX de 2001 MTTTO INTEGRAL:  PR FINAL: PR63+500  
 NOMBRE DE LA VÍA: XXXXXXXX LEVANTADO POR: XXXXXXXX A.M.V.:  HOJA: 1 DE 1

PATOLOGÍA								Foto	Aclaraciones
Carril	Tipo	Sever	Daño		Reparación		Foto		
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)			

PR63+500								Foto	Aclaraciones
D	FCL	A	Daño		Reparación		Foto		
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)			
D	FCL	A	7				6	Al parecer se produjo por segregación de la mezcla	
D	FBD	A	0.8				5		
D	PC	M	4	3.5			4		
I	CV	A	3.5	0.1			3	Se observa hundimiento en la banca	
D	DC	M	1.5	0.8			2		
D	FML	A	12	3.5			1	Se requiere muro de contención y recuperación de la banca, el daño afecta la bermacuneta	

PR63+400								Foto	Aclaraciones
D	FCL	A	Daño		Reparación		Foto		
			Largo (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Ancho (m)			

Número de calzadas:	1	COMENTARIOS:	A lo largo de la vía se observaron diferentes problemas de inestabilidad de la banca y de los taludes
Número de carriles por calzada:	2		de corte, existe desgaste superficial bajo generalizado. Recomendar labores de mantenimiento en las obras de drenaje.
Ancho de carril:	3.5 m	Ancho de berma:	1m bermacuneta

Ilustración 4 HOJA 3 Formato para la evaluación de pavimento flexible - V2  
 FUENTE: MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)

Basados en este manual se realizara la evaluación e inspección en campo y oficina (imágenes dron) de fisuras, deformaciones, pérdidas de capas de estructuras, daños superficiales y otros daños que presente la vía, por lo tanto los conceptos a continuación descritos, sirven para diagnosticar y evaluar el pavimento, generando una comparación a partir de los resultados obtenidos de las dos inspecciones realizadas, basados en los mismos conceptos generales de los tipos de daños establecidos en el Manual para la inspección visual de pavimentos así:

## 7.4. DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DAÑOS

FISURAS					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCIÓN
<b>Longitudinales y Transversales</b>	FL - FC	M - M2	Discontinuidades longitudinales o transversales, en la carpeta asfáltica indican esfuerzos de tensión en una de las capas de la estructura o se relacionan con fatiga en esta o en una de sus partes, se encuentran en zonas sujetas a carga.	BAJA: Abertura: 1mm MEDIA: Abertura: 1mm y 3mm ALTA: > Abertura: 3mm	Descascaramientos, piel de cocodrilo, asentamiento longitudinal o transversal (agua), fisuras en bloque
<b>En Juntas de Construcción</b>	FCL - FCT	M	Son fisuras generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica, pueden ser transversales o longitudinales, generalmente están en el eje de la vía, en la separación de carriles o en zonas de ampliación, básicamente uniones del pavimento asfáltico, causadas posiblemente por falta de ligante, mal corte vertical, compactación en la zona, diferente rigidez de materiales en la unión.	BAJA: Abertura: 1mm MEDIA: Abertura: 1mm y 3mm ALTA: > Abertura: 3mm	Descascaramientos, piel de cocodrilo, asentamiento longitudinal o transversal (agua), despoornillamientos, pérdida de agregado
<b>Reflexión de juntas o grietas en placas de concreto</b>	FJL -FJT	M - M2	Se forman por los movimientos de las juntas en las placas de concretos rígidos o de bloques, se pueden asociar los cambios de temperatura y de humedad, se presenta cuando existen una capa de concreto asfáltico sobre una de concreto rígido.	BAJA: Abertura: 1mm MEDIA: Abertura: 1mm y 3mm ALTA: > Abertura: 3mm	Fisura en bloque, descascaramiento, bache.

FISURAS					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
<b>Medialuna</b>	FML	M2	Son fisuras que se presentan generalmente por hundimientos o movimiento de la banca, esta tienen una forma parabólica, surgen también por arboles cerca al borde de la vía, taludes o convenciones de banca. Si se presta demasiado hundimiento se debe registrar su flecha máxima en el formato de daños.	BAJA: Abertura: 1mm MEDIA: Abertura: 1mm y 3mm ALTA: > Abertura: 3mm	Perdida de banca, hundimiento, ampliación de la zona afectada.
<b>Borde</b>	FBD	M	Se localiza al borde de la calzada, tienen forma longitudinal semicircular, presentadas principalmente por diferencia de nivel entre esta y la berma o falta de la misma u otro confinamiento lateral.	BAJA: Abertura: 1mm MEDIA: Abertura: 1mm y 3mm ALTA: > Abertura: 3mm	Desprendimiento del borde o descascaramiento
<b>Bloque</b>	FB	M2	Se generan bloques en la superficie del asfalto en forma rectangular con un lado promedio mayor a 30 cm, a diferencia del daño de piel de cocodrilo, este no se presenta por carga. Se generan principalmente por variación de temperatura. Si hay diferentes grados de severidad, se registra toda el área, asignando el mayor grado de severidad, si se combina con otro daño como piel de cocodrilo, estos se deben registrar por separado.	BAJA: Se comienza a formar los bloques con fisuras menores a 1 mm, no está desportillado. MEDIA: Bloques ya definidos con aberturas entre 1mm y 3 mm. ALTA: Bloques muy definidos con aberturas mayores 3 mm y puede estar altamente desportillado	Descascaramientos, piel de cocodrilo.

FISURAS					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
Piel de Cocodrilo	PC	M2	Se presentan en zonas sujetas a repeticiones de carga y se caracterizan por fisuras interconectadas con patrones irregulares, presentan ángulos y lados agudos de ahí que se diferencian que los bloques, ante la repetición de cargas estas fisuras se propagan formando piezas angulares, parecido a la piel de cocodrilo, pueden ser afectadas también falta de compactación de las capas, mal separaciones, problemas de drenaje, subrasantes expansivas, este daño no es común encontrarlo en capas de material asfáltico sobre placas de concreto rígido.	<p>BAJA: Fisuras longitudinales paralelas hasta 3 mm, no está desportillado, poca conexión entre fisuras, se presenta principalmente en la huella</p> <p>MEDIA: Patrón de polígonos pequeños y angulares aberturas de 1 - 3 mm, no bombeo y desgaste en los bordes</p> <p>ALTA: Desgaste o desportillamiento en los bordes, fisuras avanzadas, presenta bombeo y hasta descascaramiento, se mueven los bloques con el tránsito.</p>	Deformaciones, Descascaramientos, baches.
Fisuración Incipiente	FIN	M2	Son una serie de fisuras contiguas y cerradas las cuales generalmente no se interceptan, se presentan por diferencia de temperatura entre la mezcla y el medio ambiente en la colocación, al igual que por lluvia en este proceso.	Dado que son daños muy leves, no presentan niveles de severidad.	Piel de cocodrilo de pequeños bloques, fisuras en bloque y pérdida de agregados

FISURAS					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
Fisuración por deslizamiento de capas	FDC	M2	Esta tiene forma de semicírculo o media luna, las cuales están definidas por la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento en el momento de frenar o acelerar, usualmente aparece en zonas montañosas, curvas o intersecciones, se puede generar por el tránsito muy pesado, lento y en las zonas de frenado, esto conlleva a que el pavimento se deslice; puede presentarse por una superficie de baja resistencia, escasa adherencia a la estructura o por espesores de carpeta muy bajos, arena en la mezcla asfáltica, mala imprimación, exceso de ligante y polvo.	<p>BAJA: Abertura: 1mm</p> <p>MEDIA: Abertura: 1mm y 3 mm, pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras &lt; 1 mm</p> <p>ALTA: Abertura: &gt; 3mm pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras &gt; 1 mm</p>	Descascaramiento, baches, hundimientos, abultamientos

Tabla 1 Tabla de daños de pavimento - FISURAS

FUENTE: PROPIA, basados en el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)

DEFORMACIONES					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
ONDULACIÓN	OND	M2	Conocida como corrugación o rizado, presenta ondas en la superficie del pavimento, es una deformación plástica de la capa asfáltica, algunas veces por la mala dosificación del asfalto lo cual genera perdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos, también puede ser por exceso de humedad en la sub rasante o contaminación de la mezcla asfáltica con fino o materia orgánica.	BAJA: Profundidad: 10mm, provoca vibración al vehículo, no genera incomodad al conductor. MEDIA: Profundidad 10mm - 20 mm, provoca vibración al vehículo, genera incomodad al conductor. ALTA: Profundidad: >20 mm, provoca vibración al vehículo, genera incomodad al conductor, haciendo necesario reducir velocidad por seguridad.	Exudación, ahilamiento
ABULTAMIENTO	AB	M2	Conocidos también como abombamientos o prominencias, presentadas en la superficie del pavimento, en áreas pequeñas o gradualmente en grandes, se generan principalmente por expansión de la sub rasante o cuando se colocan capas de concreto asfaltico sobre placas de concreto rígido y se deforma al existir presiones, puede ser también una ondulación por las mismas causas de esta.	Mismo criterios que la ondulación.	Figuración, desprendimiento, exudación, ahuellamiento

DEFORMACIONES					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
HUNDIMIENTO	HUN	M2	Son depresiones localizadas respecto al nivel de la rasante, generan problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando en estos se aposa el agua, pueden estar orientados longitudinal transversal, por ello que es importante aclararlo en el formato de inspección, se originan por diferentes problemas en general con la estructura del pavimento, asentamientos, mala compactación déficit en el drenaje, inestabilidad de la banca etc.	BAJA: Profundidad: <20mm, poca vibración del vehículo, no genera incomodad al conductor. MEDIA. Profundidad 20mm - 40 mm, vibración al vehículo, genera incomodad al conductor. ALTA: Profundidad: >40 mm, vibración al vehículo, genera incomodidad al conductor, haciendo necesario reducir velocidad por seguridad	Fisuración, desprendimientos, movimiento en masa
AHUELLAMIENTO	AHU	M2	Es una depresión de la zona de la trayectoria de las llantas, con frecuencia se encuentra elevación de las áreas circundantes de esta zona y se acompaña de fisuración, puede llevar a la falla estructural del pavimento posible hidropelante por aposamiento de agua, se genera generalmente por deformación permanente de la capas del pavimentos, debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas muy altas, esta tiende a aumentar en climas cálidos, una mala compactación o agregados redondeados.	BAJA: Profundidad: <10mm, MEDIA Profundidad: 10mm - 25 mm, ALTA: Profundidad: >25 mm,	Piel de cocodrilo, desprendimientos

Tabla 2 Tabla de daños de pavimento - DEFORMACIONES

FUENTE: PROPIA, basados en el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)



PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
DESCASCARAMIENTO	DC	M2	Se presenta cuando se desprende únicamente la capa asfáltica superficial sin afectar las demás capas asfálticas, sus causas se pueden originar por un insuficiente riego de la liga, un espesor insuficiente de la capa de rodadura, limpieza insuficiente o una mezcla asfáltica muy permeable.	BAJA: Profundidad: 10mm MEDIA: Profundidad: 10mm - 25 mm ALTA: Profundidad: >25 mm	Piel de cocodrilo, bache
BACHES	BCH	M2	Es el daño más grave que se puede producir en las capas asfálticas, originando una exposición de los materiales granulares que aumentan el área afectada y la profundidad con el paso del tráfico. Se originan por la retención de agua en zonas fisuradas, y se presenta por la evolución de otros daños (especialmente piel de cocodrilo), y algunos defectos en la construcción.	BAJA: Profundidad: <25mm, MEDIA: Profundidad: 25mm - 50 mm, ALTA: Profundidad: >50 mm	Dstrucción de la estructura
PARCHE	PCH	M2	Son áreas en donde se reemplaza el pavimento original por un material similar o diferente, ya sea por daños presentados o por la instalación de redes de servicios públicos. Se denomina PARCHEO cuando se reemplaza parcial o totalmente el concreto asfáltico, y BACHEO cuando se reemplaza parcial o totalmente capas granulares. Se origina por deficiencia en la construcción, progresión del daño inicial, deficiencia en las juntas y propagación de los daños existentes.	BAJA: Esta en buena condición, MEDIA: Presenta daños de severidad baja o media, ALTA: Esta gravemente deteriorado y requiere ser reparado pronto.	Aceleración del deterioro general del pavimento

Tabla 3 Tabla de daños de pavimento – PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA  
FUENTE: PROPIA, basados en el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)

DAÑOS SUPERFICIALES					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
DESGASTE SUPERFICIAL	DSU	M2	Se presenta perdida de ligante o mortero, ocasionado por el tránsito y agentes abrasivos o erosivos como el agua, eficiente dosificación de asfalto en la mezcla y falta de adherencia del asfalto con los agregados.	BAJA: Irregularidades <3mm la superficie se evidencia áspera o rugosa, MEDIA: Irregularidades 3mm - 10mm - se evidencia vibración y diferencia de sonido en las llantas, ALTA: Desintegración superficial de la capa de rodadura y desprendimientos evidentes.	Pérdida agregado de
PERDIDA DE AGREGADOS	PA	M2	Se presenta perdida de ligante o mortero, ocasionado por el tránsito y agentes abrasivos o erosivos como el agua, deficiente dosificación de asfalto en la mezcla y falta de adherencia del asfalto con los agregados.	BAJA: Irregularidades <3mm la superficie se evidencia áspera o rugosa, MEDIA: Irregularidades 3mm - 10mm - se evidencia vibración y diferencia de sonido en las llantas, ALTA: Desintegración superficial de la capa de rodadura y desprendimientos evidentes.	Pérdida agregado de
PULIMIENTO DEL AGREGADO	PU	M2	Se presenta por ausencia de agregados angulares y agregados con caras planas en la superficie causando baja resistencia de algunos agregados al pulimiento.	N/A	N/A

DAÑOS SUPERFICIALES					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
EXUDACIÓN	EX	M2	Se presenta cuando la mezcla asfáltica se realiza con asfaltos muy blandos o por excesos en las cantidades de asfalto, ocasionando afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento, afectando la resistencia del deslizamiento.	BAJA: la exudación se hace visible en la superficie, MEDIA: exceso de asfalto libre que cubre parcialmente los agregados, se torna pegajoso en climas cálidos, ALTA: presencia de una cantidad significativa en la superficie lo que le da un aspecto húmedo.	N/A
SURCOS	SU	M2	Se presenta por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, produciendo desprendimiento de los agregados.	N/A	Perdida de agregado, descascaramiento, bache
CABEZAS DURAS	CD	M2	Se presenta por presencia de agregados fuera del mortero, causado por segregación de los agregados durante el manejo en obra, agregados gruesos con tamaño equivocado y mala distribución granulométrica, produciendo ruido excesivo para el conductor.	N/A	N/A

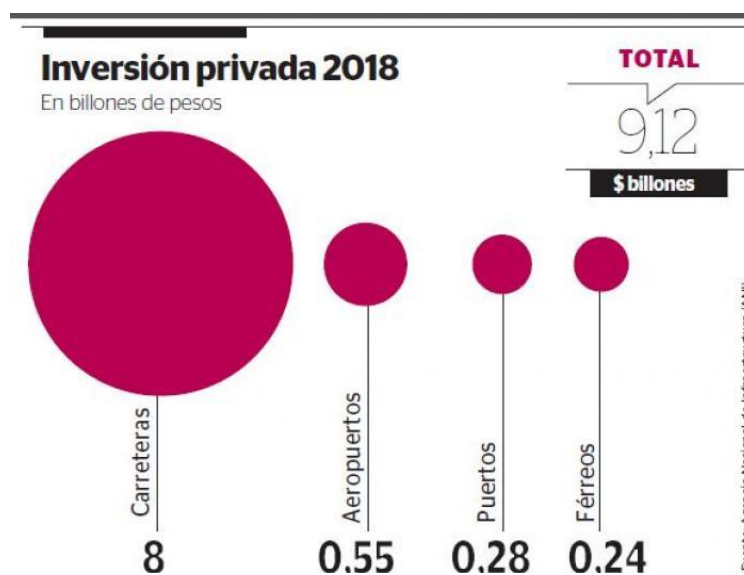
Tabla 4 Tabla de daños de pavimento – PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA  
FUENTE: PROPIA, basados en el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)

OTROS DAÑOS					
TIPO	NOMENCLATURA	UNIDAD DE MEDIDA	CONCEPTO	SEVERIDAD	EVOLUCION
CORRIMIENTO VERTICAL DE LA BERNA	CVB	M	Se presenta por problemas de inestabilidad en el terreno o por diferencia de materiales entre la Berna y el pavimento, causando diferencia de elevaciones entre la calzada y la Berna, permitiendo el ingreso de agua al interior de la estructura.	BAJA: Desplazamiento <6mm, MEDIA: Desplazamiento entre 6mm y 25mm, ALTA: Desplazamiento >25mm.	N/A
SEPARACIÓN DE LA BERNA	SB	M	Se presenta por problemas de inestabilidad en el terreno, causando una separación significativa entre la Berna y la calzada, permitiendo la infiltración de agua al interior de la estructura.	BAJA: Abertura <3mm, MEDIA: Abertura entre 3mm y 10mm, ALTA: Abertura > 10mm.	Hundimientos y fisura de borde
AFLORAMIENTO DE FINOS	AFI	Se reporta el daño y se describe las condiciones	Se presenta por ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, ocasionando salida de agua infiltrada con algunos materiales finos de la capa base.	N/A	Piel de cocodrilo, Descascaramiento y baches
AFLORAMIENTO DE AGUA	AFA	M	Se presenta por ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, filtración de aguas, causando presencia de agua en la superficie.	N/A	Piel de cocodrilo, Descascaramiento y baches

Tabla 5 Tabla de daños de pavimento – OTROS DAÑOS  
FUENTE: PROPIA, basados en el MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (Colombia, 2006)

## 7.5 DRON

Los multirrotores, drones, UAV, siglas que identifican a las palabras inglesas Unmanned Aerial Vehicle de vehículo aéreo no tripulado y RPA (Remotely Piloted Aircraft), aviones controlados de forma remota son una herramienta de trabajo perfecta para este campo y muchos otros más. Es una nueva tecnología que se ha aplicado a las infraestructuras viales, y la inspección remota de infraestructuras (puentes), aprovechando las ventajas de contar con un sistema que permite el acceso rápido y económico a zonas complejas.



**Ilustración 5 Inversión Privada en Colombia**

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura

Dado que la inversión en el país para la construcción de carreteras aborda casi el 80% del presupuesto para ello, el uso de estos sensores resultaría ser una herramienta bastante asertiva en el momento de realizar la inspección vial para determinar en qué lugares se recomienda intervenir con mantenimientos preventivos

Los RPAS son una herramienta perfecta para ayuda en labores de mantenimiento, exploración de carreteras y evaluación; aun así, en Colombia su uso está limitado por la legislación respecto al vuelo de RPAS y la seguridad necesaria para que en caso de avería no caiga en zona de tráfico.



Ilustración 6. Mantenimiento y exploración de carreteras mediante drones (Campos, 2016).

FUENTE: Coex

Todo este mantenimiento requiere de un continuo seguimiento de la red de carreteras, evaluación de deterioros, mejora y reparación de infraestructuras, pavimentos y otros elementos que interfieren en las carreteras. En el mantenimiento tradicional se recorren día a día los tramos en busca de defectos y mejoras usando largos tiempos y quizá en un vehículo no se pueden observar estos daños con detenimiento; Un dron puede recorrer un tramo de carretera de manera automática con una visión perfecta, en tiempo real de toda la zona a mantener, se pueden usar imágenes reales y térmicas para diferentes acciones, detalles de infraestructuras muy rápidos y sin peligro y puede emitir alarmas en cuanto detecte algo en su planeamiento, adicionando un inventario vial y demás elementos en una gestión de pavimentos, como la visualización de registros, importación automatizada de imágenes y geo posicionamiento de las mismas, seguridad vial y actividades de viabilidad en la operación de vehículos, accesos de primera mano

y en físico de las vías sin tener que ir de nuevo a campo llegado el caso se tenga una duda, ya que todo quedara en imágenes y documentado

De igual forma tiene limitaciones, como en primer lugar su parte técnica donde la autonomía de estas máquinas no es muy elevada, aunque recientemente se está trabajando en ello con las nuevas baterías de Grafeno, aunque un RPAS también es un avión, si se aumentas la autonomía y velocidad de vuelo, funciona perfecto para la observación de obras lineales.



Ilustración 7: Ventajas dron en obra  
FUENTE: DRONONGENIERIA



**Ilustración 8** Desventajas dron en obra  
FUENTE: DRONONGENIERIA

### 7.5.1 CARACTERÍSTICAS SENSOR TIPO DRON UTILIZADO



**Ilustración 9** DRON DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR  
FUENTE: DJI Official Website



El Dron: DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR, cuadricoptero presenta las siguientes características:

- Sistema de vuelo inteligente mantiene automáticamente el en el aire y bajo control.
- Videos HD 2.7K y fotografías de 12 megapíxeles con la cámara aérea integrada.
- Metraje estable: avanzada tecnología de estabilización del gimbal de, ofrece resultados de calidad cinematográfica.
- Vista en tiempo real HD de 720p de lo que la cámara puede ver directamente en el dispositivo móvil.
- Vuela hasta 25 minutos con una sola carga. Además, la batería de vuelo inteligente le recordará automáticamente cuando se está agotando la carga (DJI STORE Official website, 2016)

CÁMARA	
Sensor	1/2.3", Píxeles efectivos 12M
Lente	FOV 94° 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8, enfoque a ∞
Rango ISO	100-3200 (vídeo) 100-1600 (foto)
Velocidad Del Obturador	8s - 1/8000s
Tamaño M. De Imagen	4000×3000
Modos De Fotografía	Disparo nico Disparo en ráfaga: 3/5/7 disparos Exposición Automática en Horquillado (AEB): 3/5 Horquilla de Exposición a 0.7EV Bias Time-lapse
Modos De Video	2.7K: 2704 x1520p 24/25/30 (29.97) FHD: 1920x1080p 24/25/30 HD: 1280x720p 24/25/30/48/50/60
Tasa De Bits M. De Almacenamiento De Video	40 Mbps
Formatos De Archivo Admitidos	FAT32 ( ≤ 32 GB ); exFAT ( > 32 GB )
Tipos De Tarjetas SD Compatibles	Tarjeta Micro SD 8Gb incluida

**Ilustración 10** Características técnicas cámara DRON DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR  
Fuente: DJI Official Website

AERONAVE	
Peso (Batería Y Hélices Incluidas)	1216 g
Tamaño Diagonal (Hélices Excluidas)	350 mm
Velocidad Máx. En Ascenso	5 m/s
Velocidad Máx. En Descenso	3 m/s
Velocidad Máx.	16 m/s (modo ATTI, sin viento)
Altura Max. De Servicio Sobre El Nivel Del Mar	6000 m (Límite de altura por defecto: 120 m sobre el punto de despegue)
Máx. Duración De Vuelo	Aproximadamente 25 minutos
Temperatura De Funcionamiento	de 0°C a 40°C
Modo GPS	GPS

Ilustración 11 Características Técnicas DRON DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR  
FUENTE: DJI Official Website

## 8. MARCO LEGAL

La Aeronáutica civil y la Fuerza Aérea Colombiana desde el 8 de septiembre de 2015 regulan los RPAS o drones; En Colombia es vigente una nueva normatividad de la Aeronáutica Civil (RPAS No. 002) que reglamenta este uso y lo divide básicamente en:

### *Uso deportivo-recreativo:*

Son los vuelos dentro del espacio aéreo permitido, como las pistas de aerodelismo y zonas urbanas donde no haya presencia de personas ni edificaciones. En ese espacio no hay problema alguno y la circulación de estos no afecta, no puede volar en las ciudades, la normatividad invita a regular el aparato no tripulado en caso tal que desee realizar una actividad comercial.

### *Uso comercial:*

Para poder realizar vuelos con drones de uso comercial se debe cumplir con los requerimientos mencionados a continuación, los cuales están establecidos por la Aeronáutica civil:

1. Licencia de piloto privado con curso en tierra que dura unos 6 meses.
2. 40 Horas de vuelo y 200 despegues y aterrizajes, previos, certificados por la escuela de aviación.
3. Identificación y matrícula del dron.
4. Póliza de seguro para daños a terceros.

5. Solicitud con plan de vuelo ante la Aeronáutica Civil con 15 días hábiles de anticipación.
6. El dron debe tener un color que permita ser identificado fácilmente en el aire.
7. Deben estar equipados con piloto automático y contar con GPS
8. Su motor no debe generar exceso de ruido ni contaminación.

En Colombia no pueden volar drones que excedan los 25 kilogramos en peso y que sus hélices sean metálicas. Además, no se puede volar cerca de aeropuertos, bases militares y estaciones policiales, entidades del estado como gobernaciones y alcaldías, eventos con aglomeración de personas y cerca de edificaciones, también la circular regula el vuelo de estos aparatos en un radio de 1,8 kilómetros del Presidente, Vicepresidente, autoridades nacionales e internacionales. Igualmente, se hace claridad en las distancias de vuelo permitidas:

- Altura máxima: 152 metros
- Altura mínima de un objeto o persona: 50 metros
- Distancia máxima recorrida: 750 metros

Hay que tener en cuenta que las multas se aplican tanto para el explotador del dron (empresa) como para el piloto, la Aerocivil hace esta circular regulatoria con el fin de organizar y prevenir accidentes con estos aparatos no tripulados (VILARÓ, 2016)

## 9. VÍA A INSPECCIONAR

El proyecto se desarrollará en el municipio de Cajicá, calle séptima y está localizado, entre el cruce que se desprende de la variante Chía Cajicá y el puente del río Bogotá, en esta vía se puede encontrar bastante flujo vehicular tanto liviano como pesado, está delimitado aproximadamente por las siguientes coordenadas geográficas:

Variante Cajicá      **K0+000:**      N 74° 0' 54.93"    O 4°55' 9.70"

Puente Rio Bogotá    **K1+000:**      N 74° 0' 30.83"    O 4°55'18.45"

### Localización General



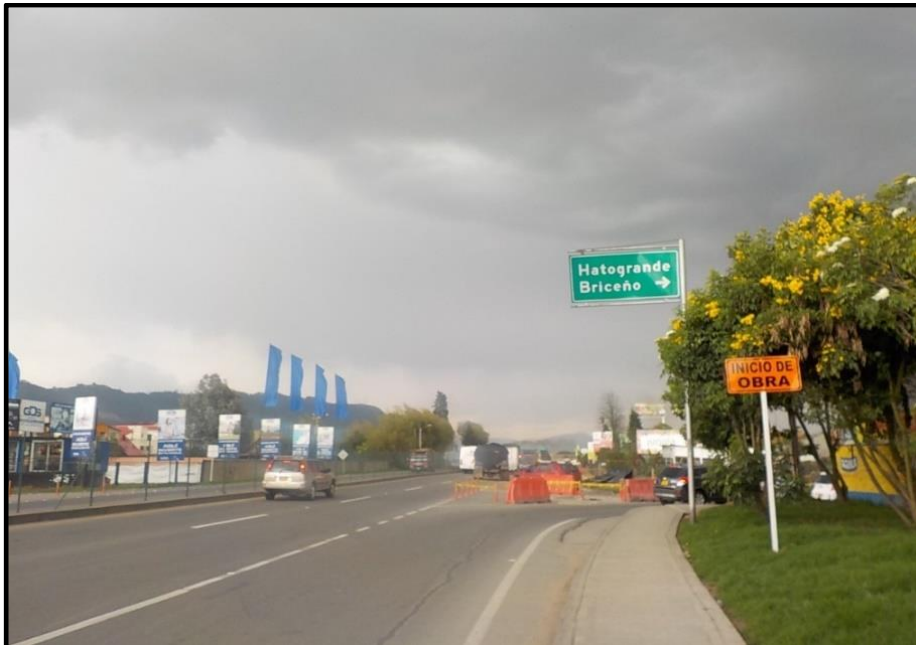
**Ilustración 12** Localización general  
FUENTE: Google Maps

## Localización Específica



**Ilustración 13** Localización específica  
FUENTE: Google Maps.

## Punto Inicio de la Vía, K0+000



**Imagen 1** Lugar de inicio de la vía K0+000  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 2** Coordenadas tomadas y transformación de las mismas de Geográficas a Planas  
FUENTE: PROPIA

### **Fin de la vía K1+000**

La vía a inspeccionar finaliza antes del puente sobre el Rio Bogotá, se observa el deterioro que presenta y varias de las fallas a registrar.



**Imagen 3** Lugar de finalización de la Vía  
FUENTE: PROPIA



## 10. RESULTADOS

### 10.1 INSPECCIÓN TRADICIONAL

#### 10.1.1 REPORTE DE DAÑOS

Se procede a realizar un reconocimiento visual de la vía a inspeccionar, posteriormente se determina el punto inicial K0+000, en este se ubican coordenadas y se realiza la demarcación. A partir del punto inicial se inicia a abscisa la vía cada 100 metros, una vez se ha terminado la demarcación de la vía por tramos, se da inicio a la inspección visual por método tradicional identificando las fallas encontradas.

Cada falla es demarcada y medida tanto longitudinal como transversalmente con el fin de determinar la severidad de cada daño identificado; Igualmente se toman coordenadas de cada una de las fallas encontradas, para una vez terminado el procedimiento, efectuar una comparación con los resultados obtenidos de la inspección visual mediante sensores remotos.

Cada falla identificada se registra en el formato determinado en el manual de pavimentos

Colombia, I. N. (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: INVIAS.

En campo se procede a medir y abscisar la vía, con el uso de Odómetro, marcado el abcisado cada 100 mts y a su vez midiendo la ubicación del daño para ser referenciado en el respectivo formato, se registra sus coordenadas con navegador Garmin, para luego ser comparado con las coordenadas de las imágenes satelitales.



**Imagen 4** Medición de Abcisado y Marcación en Campo  
FUENTE: PROPIA

La vía se encuentra altamente afectada por el no mantenimiento preventivo, adicional de las intervenciones a la vía no ejecutadas de la manera correcta, tal y como son: excavación para instalación de la tubería principal al costado izquierdo en más de un 10% de la vía, adicional a las conexiones domiciliarias de algunos de sus pobladores, se evidencia también que no tiene un drenaje adecuado, tampoco confinamiento ni por sardinel y no posee bermas, por lo tanto el agua afecta varios de los bordes de su estructura, aumentando aún más el deterioro de la misma ya que la carga de vehículos es grande por ser comunicadora de dos municipios y tiene continuamente tráfico pesado.



**Imagen 5 Estado Actual de la Vía**  
FUENTE: PROPIA





**Imagen 6 Estado Actual de la Vía**  
FUENTE: PROPIA

A continuación, se adjunta el formato de campo para la evaluación del pavimento flexible, se anexa registro fotográfico de los daños encontrados en un Km de esta vía, usado para esta inspección.

TERRITORIAL		FECHA		CONCESIÓN		PR. INICIAL		
CÓDIGO DE LA VÍA		CONTRATO No		MITO INTEGRAL		PR. FINAL		
NOMBRE DE LA VÍA		LEVANTADO POR		A.M.V.		HOJA		
CARRIL	TIPO	SERVIDER	PATOLOGIA				FOTO	ACERACIONES
			DAÑO		REPARACIÓN			
			LARGO (m)	ANCHO (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)		
D			105	3,2			14	Coordenadas 1007135 - 1035640 km 0 + 235
I			38,1	1,5			15	Coordenadas 1007179 - 1035636 km 0 + 239
I			12	1,7			16	Coordenadas 1007188 - 1035660 km 0 + 283
I			96	1,0			17	Coordenadas 1007219 - 1035650 km 0 + 319
D			2,10	1,25			18	Coordenadas 1007227 - 1035644 km 0 + 326
I			1,5	2,0			19	Coordenadas 1007231 - 1035646 km 0 + 332
1/2			566	6,5			20	Coordenadas 1007238 - 1035649 km 0 + 340
D			96	0,6			21	Coordenadas 1007304 - 1035640 km 0 + 404
I			2215	1,6			22	Coordenadas 1007295 - 1035645 km 0 + 396
D			1236	3,3			23	Coordenadas 1007366 - 1035653 km 0 + 467
I			17,5	1,8			24	Coordenadas 1007409 - 1035679 km 0 + 517
I			14,6	1,5			25	Coordenadas 1007491 - 1035733 km 0 + 623
I			38,1	1,3			26	Coordenadas 1007505 - 1035736 km 0 + 669
I			29,6	1,7			27	Coordenadas 1007521 - 1035841 km 0 + 786

NÚMERO DE CALZADAS:	COMENTARIOS:
NÚMERO DE CARRILES POR CALZADA:	
ANCHO DE CARRIL:	
ANCHO DE BERMA:	

Imagen 7 Formato de campo para la evaluación del pavimento flexible  
FUENTE: PROPIA, Basado en manual de inspección visual


**ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS**  
 CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003  
**FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
 SEDE BOGOTÁ



TERRITORIAL	FECHA	CONCESIÓN	PR. INICIAL
CÓDIGO DE LA VÍA	CONTRATO No	MTTO INTEGRAL	PR. FINAL
NOMBRE DE LA VÍA	LEVANTADO POR	A.M.V.	HOJA

CARRIL	TIPO	SERVER	PATOLOGÍA				FOTO	ACLARACIONES
			DAÑO		REPARACIÓN			
			LARGO (m)	ANCHO (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)		
1/0			12,9	6,5			28	Coordenadas 1007530 - 1035867 KM 0+761
0			22,6	1,20			29	Coordenadas 1007571 - 1035992 KM 0+846
1/0			86,4	6,0			30	Coordenadas 1007574 - 1036011 KM 0+913

**Imagen 8 Formato de campo para la evaluación del pavimento flexible**  
 FUENTE: PROPIA, Basado en manual de inspección visual

### FORMATO DE OFICINA PARA EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE


**ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS**  
 CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0587 DE 2003  
**FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE - V2**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
 SEDE BOGOTÁ

TERRITORIAL	CUNDINAMARCA	FECHA	NOV-18	CONCESIÓN	NO	PR. INICIAL	K0 + 000
CÓDIGO DE LA VÍA		CONTRATO No		MTTO INTEGRAL	NO	PR. FINAL	K1 + 000
NOMBRE DE LA VÍA	CALLE 7	LEVANTADO POR	VARGAS	A.M.V.		HOJA	1

PATOLOGÍA						ACLARACIONES
CARRIL	TIPO	SEVERIDAD	DAÑO	REPARACIÓN	FOTO	

			LARGO (m)	ANCHO (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)		
<b>K1+000</b>								
I/D	RT	A	86.4	6			30	COORDENADAS: 1007574- 1036011 K 0 + 913 Baches, piel de cocodrilo, descascamiento, desgaste superficial. Reparación total
<b>K0+900</b>								
D	FB	M	22.6	1.2			29	COORDENADAS: 1007571- 1035992 K 0 + 896 Fisura en bloque, pro al no tener confinamiento la vía, se ve afectada por la aguas represadas de la zona verde, no drenaje de la vía
<b>K0+800</b>								
I/D	RT	A	12.49	6.5			28	COORDENADAS: 1007530 - 1035867 K 0 + 761 Baches, piel de cocodrilo, descascamiento, desgaste superficial. Reparación total
I	FB	M	29.6	1.7			27	COORDENADAS: 1007521 - 1035841 K 0 + 736 Fisura en bloque con ahuellamiento paralelo a la vía
<b>K0+700</b>								
I	BCH	A	38.7	1.3			26	COORDENADAS: 1007505 - 1035776 K 0 + 669 Bache generado por ruptura de capas para instalación de tubería y no reparación
I	BCH	A	14.6	1.5			25	COORDENADAS: 1007491 - 1035733 K 0 + 623 Bache con descascamiento, hundimiento y fisuras longitudinales
<b>K0+600</b>								
I	HUN	A	17.5	1.8			24	COORDENADAS: 1007409 - 1035679 K 0 + 517 Hundimiento paralelo a la vía, con fisuras en bloques y longitudinales, abultamiento por falta de confinación de la vía
<b>K0+500</b>								
D	PC	A	22.5	1.6			23	COORDENADAS: 1007368 - 1035653 K 0 + 467
I	HUN	M	123.8	3.3			22	COORDENADAS: 1007295 - 1035645 K 0 + 396 Hundimiento paralelo a la vía, generado por instalación de tubería y posible asentamiento por mala compactación, longitud considerable
D	BCH	A	0.8	0.6			21	COORDENADAS: 1007304- 1035640 K 0 + 404 Bache con descascamiento

K0+400								
I/D	RT	A	56.6	6.5			20	COORDENADAS: 1007238- 1035649 K 0 + 340 Baches, piel de cocodrilo, descascamiento, desgaste superficial. Reparación total
I	BCH	A	1.5	2			19	COORDENADAS: 1007231 - 1035646 K 0 + 332 Bache presentado por ruptura de capas para instalación de tubería y no reparación de la misma
D	BCH	A	2.1	1.25			18	COORDENADAS: 1007227 - 1035644 K 0 + 326
I	BCH	A	0.8	1			17	COORDENADAS: 1007219- 1035650 K 0 + 319
K0+300								
I	FB	M	12	1.7			16	COORDENADAS: 1007183 - 1035660 K 0 + 283
I	FL	A	38.2	1.5			15	COORDENADAS: 1007139 - 1035676 KM 0 + 239
D	FL	A	5	3.2			14	COORDENADAS: 1007135 - 1035670 KM 0 + 235
I	BCH	A	0.6	0.95			13	COORDENADAS: 1007141 - 1035670 KM 0 + 242
I	BCH	A	0.7	0.4			12	COORDENADAS: 1007137 - 1035672 KM 0 + 235
K0+200								
D	HUN	A	13.1	1.9			11	COORDENADAS: 1007090 - 1035682 KM 0 + 186
I	HUN	A	70	1.5			10	COORDENADAS: 1007030 - 1035709 KM 0 + 127

K0+100								
I	FBD	A	3	1.1			9	COORDENADAS: 1007005 - 1035713 KM 0 + 097
I	BCH	A	0.6	0.45			8	COORDENADAS: 1006986 - 1035717 KM 0 + 078
D	PC	A	4.4	1.5			7	COORDENADAS: 1006970 - 1035715 KM 0 + 064
I	FL	A	11.1	0.01			6	COORDENADAS: 1006958 - 1035721 KM 0 + 051
D	DC	A	2	4.4			5	COORDENADAS: 1006941 - 1035721 KM 0 + 030
I	BCH	A	2.3	1.8			4	COORDENADAS: 1006943 - 1035727 KM 0 + 023
I	FBD	A	20	1.3			3	COORDENADAS: 1006925 - 1035734 KM 0 + 016
I	DC	A	2	0.9			2	COORDENADAS: 1006914 - 1035736 KM 0 + 003
D	DC	A	1.6	0.2			1	COORDENADAS: 1006913 - 1035733 KM 0 + 003
K0+000								
NÚMERO DE CALZADAS:		1	COMENTARIOS:					
NÚMERO DE CARRILES POR CALZADA:		2						
ANCHO DE CARRIL:		3.5 M						
ANCHO DE BERMA:		SIN BERMA						

Tabla 6 Tabla para evaluación de pavimento flexible  
FUENTE: PROPIA



## 10.1.2 RESULTADOS

### 1. PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA: DESCASCARAMIENTO (DC)

- Se presenta cuando se desprende únicamente la capa asfáltica superficial sin afectar las demás capas asfálticas, en este caso se ha producido esta falla debido a que la mezcla asfáltica es muy permeable y se ha filtrado agua.

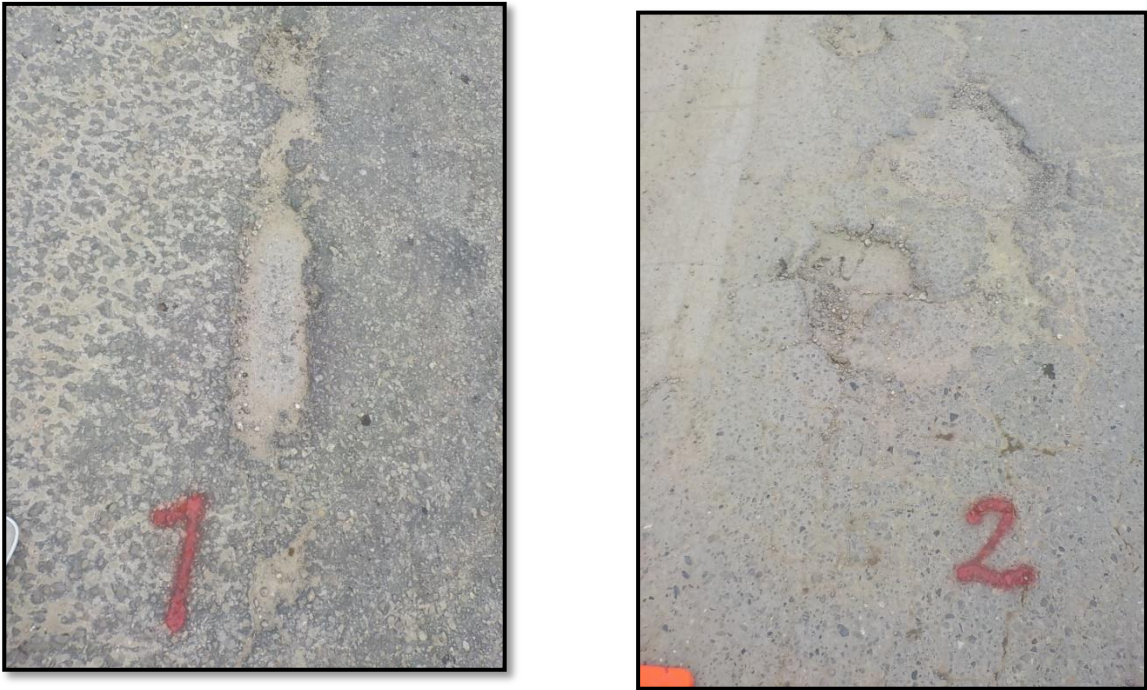


Imagen 9 Falla No 1 y 2 Descascaramiento

FUENTE: PROPIA



Imagen 10 Falla No 5 Descascaramiento

FUENTE: PROPIA

## 2. FISURAS: BORDE (FBD)

- Se localiza al borde de la calzada, tiene forma longitudinal semicircular, se presenta en este caso por la falta de berma.



Imagen 11 Falla No 3 Fisura en Borde

FUENTE: PROPIA



**Imagen 12 Falla No 9 Fisura en Borde**  
FUENTE: PROPIA

### 3. FISURAS: LONGITUDINALES (FL)

- Indican esfuerzos de tensión en una de las capas de la estructura o se relacionan con fatiga en esta o en una de sus partes, En este caso se da esta fatiga debido a que la estructura está sometida a una alta carga por el alto tráfico de vehículos pesados



**Imagen 13 Falla No 6 y 14 Fisura Longitudinal**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 14 Falla No 15 Fisura Longitudinal**  
FUENTE: PROPIA

#### **4. FISURAS: PIEL DE COCODRILO (PC)**

- Se presentan en zonas sujetas a repeticiones de carga y se caracterizan por fisuras interconectadas con patrones irregulares, presentan ángulos y lados agudos, ante la repetición de cargas. Estas fisuras se propagan formando piezas angulares, parecido a la piel de cocodrilo, en este caso específicamente se presenta por problemas de drenaje.



**Imagen 15 Falla No 7 Piel de cocodrilo**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 16 Falla No 23 Piel de cocodrilo**  
FUENTE: PROPIA

#### **5. DEFORMACIONES: HUNDIMIENTO (HUN)**

- Son depresiones localizadas respecto al nivel de la rasante, generan problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando en estos se aposa el agua. En este caso se encuentra orientado longitudinalmente y se evidencia que son generados por la instalación de tuberías de agua.



**Imagen 17 Falla No 10 y 11 Hundimiento**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 18 Falla No 22 y 24 Hundimiento**  
FUENTE: PROPIA

#### **6. PERDIDA DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA: BACHES (BCH)**

- Es el daño más grave que se puede producir en las capas asfálticas, originando una exposición de los materiales granulares que aumentan el área afectada y la profundidad con el paso del tráfico, en este caso se presenta por poco mantenimiento y evolución de otros daños.



**Imagen 19 Falla No 12 y 13 Bache**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 20 Falla No 17 y 19 Bache**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 21 Falla No 21 y 25 Bache**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 22 Falla No 26 Bache**  
FUENTE: PROPIA

#### **7. FISURAS: FISURA EN BLOQUE (FB)**

- Se generan principalmente por variación de temperatura. Si hay diferentes grados de severidad, se registra toda el área, asignando el mayor grado de severidad, si se combina con otro daño como piel de cocodrilo, estos se deben registrar por separado.



**Imagen 23 Falla No 16 Fisura en bloque**  
FUENTE: PROPIA





**Imagen 24 Falla No 27 y Falla No 29 Fisura en bloque**  
FUENTE: PROPIA

**8. FISURAS: Reparación Total (RT)**



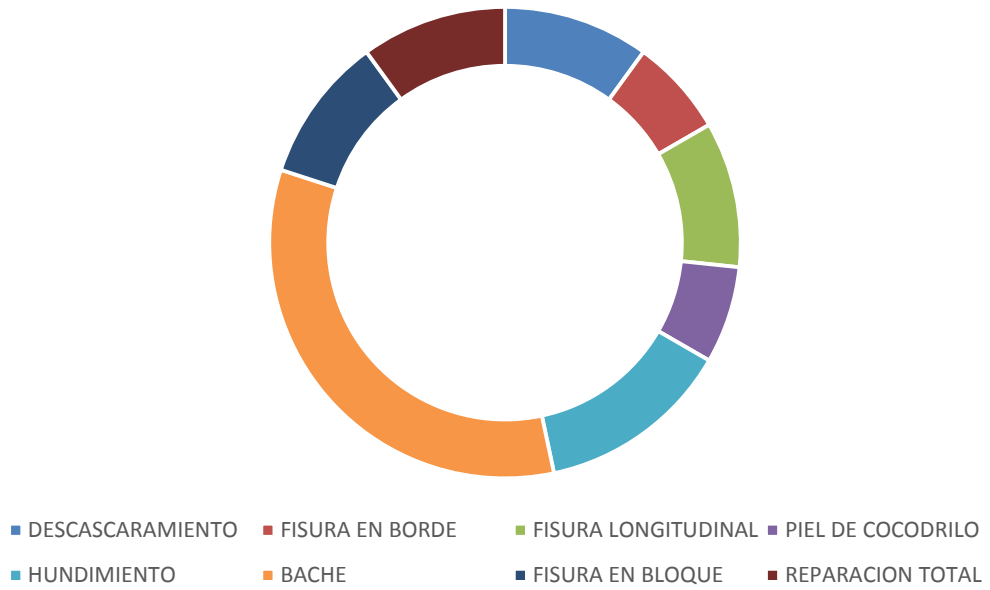
**Imagen 25 Falla No 20 y 28 Reparación Total**  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 26 Falla No 30 Reparación Total**  
FUENTE: PROPIA

Una vez recopilada la información obtenida en el trabajo de campo, se procede a analizar los datos obtenidos, se consolidan las fallas repetitivas en la inspección y se determina que la posible causa de lo encontrado anteriormente se debe a que paralelo a la vía inspeccionada pasa un río el cual tiene una gran incidencia en el pavimento, de igual forma, se evidencia por el color del pavimento que es bastante antiguo y no se ha realizado mantenimiento, así mismo, el tránsito de vehículos pesados ha sido determinante en el deterioro de la vía, en resumen con todo lo expuesto anteriormente, la severidad de las patologías que se encontraron y los datos recolectados, el pavimento de esta calle se encuentra en unas condiciones muy desfavorables por lo que el mantenimiento no sería la solución definitiva al daño

GRAFICO INSPECCION VISUAL METODO TRADICIONAL



**Grafico 1 Grafico Inspección Visual Método Tradicional**  
FUENTE: PROPIA

## 10.2 INSPECCIÓN CON SENSORES REMOTOS

Inicialmente se realizó un reconocimiento de campo a la vía objeto de estudio de esta investigación, mediante el cual se buscaba determinar que cumpliera con todas las características necesarias para poder hacer el estudio, entre las cuales encontramos que presenta diferentes tipos de fallas, la vía se encuentra despejada de obstáculos en su periferia, debido a que la inspección visual con sensores remotos requiere que la vía se encuentre libre por lo menos a 30 metros de altura en la cual se toman aerofotografías y se puede obtener la mejor calidad y resolución de cada una de las patologías.



**Imagen 27** Aerofotografía con Dron Phantom 3 Estándar  
FUENTE: PROPIA

Para el método de sensores remotos se empleó el Sensor remoto tipo Dron: DJI PHANTON 3 ESTÁNDAR, cuadricoptero debido a que nos suministra imágenes con resolución de 3 cm por pixel, a una altura de vuelo de 30 mts la cual se considera que es la más adecuada para poder hacer un análisis directo, permitiendo identificar los tipos de fallas encontradas en la vía objeto de estudio. Para la toma de las imágenes el dron requiere de algunas características como que el área se encuentre despejada de obstáculos, tanto naturales como artificiales a una distancia mínima de 30 metros, distancia en la cual se opera el Dron, al igual que contar con unas condiciones meteorológicas adecuadas que permitan una visibilidad tanto vertical como horizontal para que la resolución de las imágenes sea la adecuada. Una vez realizadas las tomas necesarias, se procede a procesar la información, clasificar y determinar que imágenes se van a emplear, posterior se realiza el análisis de cada una de las imágenes y se registran las fallas encontradas en el “formato para la evaluación de pavimento flexible - V2” (UNAL, INVIAS, 2006). De acuerdo a esto, se realiza el video en campo con ayuda del dron, y luego, como trabajo de escritorio se realiza la depuración de la información obteniendo las imágenes que se presentaran a continuación, donde se evidencian las características del terreno en forma general y las fallas puntuales en el pavimento flexible.



Imagen 28 Vía 7 Cajica  
FUENTE: PROPIA

Se puede evidenciar una falencia en la toma de la información, puesto que el uso de dron sugiere que no se debe encontrar ningún elemento en un radio de 30 metros, resulta difícil detener el tráfico en la vía en cuestión, por lo que en el video aparecen algunos vehículos transitando.



Imagen 29 Fallas en Terreno  
FUENTE: PROPIA



**Imagen 30** Vista con el dron calle 7 Cajica  
FUENTE: PROPIA

Igualmente, gracias al dron se pudo obtener una vision general, donde quedan registradas las diferentes patologias en una misma imagen, sin embargo al realizar la depuracion de la informacion, la toma de las medidas es inexacta, ya que es complicado en terreno mantener la altitud exacta del dron para realizar el escalado. Esta toma de medidas se realiza mediante un software que permite a una escala aproximada teniendo en cuenta la altura de 30 metros en la cual se tomaron mas muestrars y con ayuda de un puntero obtener un valor cercano al real en el terreno



**Imagen 31** Vista con el dron calle 7 Cajica  
FUENTE: PROPIA

Una vez determinados los resultados obtenidos de los dos tipos de inspección, se procede a efectuar un análisis comparativo empleando una matriz de evaluación de alternativas para la toma de decisiones con el fin de poder definir qué método es el más económico y eficiente para la realización de una inspección vial.



## 11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la información recolectada en terreno mediante el método tradicional y el método con sensores remotos se muestra a continuación las cotizaciones realizadas para el presente trabajo, donde se expondrá el costo correspondiente para la realización de la inspección del pavimento flexible:

Bogotá, 16 – Noviembre del 2018

Asunto: Cotización servicio de fotografías y videos aéreos de un kilómetro de vía ubicado en la calle 7 Cajicá - Cundinamarca.

JUAN SEBASTIAN VARGAS PEREZ  
1.020.760.886

Este trabajo tiene como objeto dar información gráfica real del kilómetro de análisis, este trabajo tardara alrededor de cuatro horas ( 4h) en las cuales se realizara videos de tráfico, de la carretera y fotografías ortogonales. Este trabajo se realizará por medio de un drone y con la ayuda de un piloto certificado de RPA (drone).

Este trabajo se trabajó se realizará para la Sr Camila Alexandra Vargas Buitrago identificada con el No. De cedula 1013663766.

OPCIÓN	SERVICIO	OBSERVACIONES	1 al mes
1	fotografías y videos aéreos	El precio esta en función del tiempo, reconocimiento del terreno, clima, seguridad y distancia de recorrido. Se entregará el materia obtenido sin editar, promedio fotos. tiempo de entrega 17 días hábiles después de la toma de información.	\$ 429.950
TOTAL			\$ 429.950

Cuenta de ahorros (Bancolombia) No.688-163943-45.



1020760886

JUAN SEBASTIÁN VARGAS PÉREZ  
C.C 1020760886  
TEL: 6958053 Cel: 3144419085



Bogotá, Octubre 30 de 2018

SRA. CAMILA ALEXANDRA VARGAS  
Cra 86b No 13 b 80  
Telefono: 3106884461  
Bogota D.C

**Asunto:** Cotización

Por medio de esta carta me permito realizar la cotización de los productos que nos cotizo días atrás. Le indicamos las características principales de los productos y algunos detalles específicos respecto a cada uno de ellos:

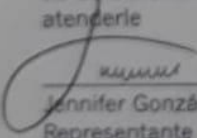
Elementos requeridos	Cantidad
Pintura para marcación de un (01) kilómetro	2 aerosoles
Alquiler conos de marcación	2 conos
Kit de medición (Odómetro, decámetro)	1 kit
Kit de marcación (Pintura roja, pinceles, guantes)	1 kit


Personal capacitado y transporte

**SUBTOTAL: \$180.000**  
IVA 19%  
**TOTAL: \$180.000 + IVA**

El tiempo estimado de realización de la muestra en la vía solicitada es de 7 horas.

Esta cotización de nuestros productos es válida desde el día 30 de Octubre del 2018 hasta el 15 de Diciembre de 2018. Cualquier duda comuníquese con nosotros, estamos gustosos de atenderle

  
Jennifer González Ruiz  
Representante de ventas

 Sede Principal: Calle 70 No. 38 - 29  
Cra 1 y Simón Bolívar, Calle 72 No. 27 - 18  
Bogotá - Colombia

 **Cóncucador**  
(+57 1) 5472767  
(+57 1) 3048176  
(+57 1) 2313030  
Móvil: 315 2964527

 [info@auscultar.com](mailto:info@auscultar.com)

## 11.1. CRITERIOS DE DECISIÓN

Una vez se tiene la diferencia de costos y el desarrollo del proyecto en la parte técnica se procede a realizar la ponderación de criterios, de tal modo, como se explicó en la metodología tendrá un valor de uno a diez dependiendo su relevancia en el proceso, donde uno es valor más desfavorable y diez es el más favorable.

<b>CRITERIO</b>	<b>VALOR ASIGNADO</b>
Costo de realización	10
Tiempo de realización	10
Cantidad de materiales a utilizar	6
Facilidad de acceso a los materiales	8
Capacitación del personal	8
Precisión en la medición	10
Patologías encontradas en el pavimento	9
Calidad de imagen	7
Almacenamiento de la información	6
Capacidad de acceso a la información	6
Tiempo atmosférico	7

Tabla 7 Tabla de ponderación de criterios.  
FUENTE: PROPIA

A continuación, se asignará el valor que le corresponde a cada criterio seleccionado para cada uno de los métodos donde como en el caso anterior, 1 es el más desfavorable y 10 el más favorable. Para ello, se tuvo en cuenta todo lo desarrollado en el trabajo de campo para determinar los criterios prácticos y lo realizado como trabajo de escritorio durante la redacción de la presente tesis.

Basados en las cotizaciones el costo de realización del método tradicional es de \$180.000 + IVA, que corresponde al 19%, para un total de \$214.200, mientras que el costo para realizar la inspección con el dron es de \$429.950. De modo que los costos con el dron se incrementan al doble. El tiempo de realización para el trabajo de campo fue de una hora de vuelo con el dron, con tramos de aproximadamente 100metros cada vuelo, mientras que con el método tradicional el tiempo fue de 7 horas, lo que genera una demora de 6 horas más en un tramo de 1km.

La cantidad de materiales que se utilizaron para el trabajo de campo fue muy poca en el vuelo con el dron, ya que en su alquiler se cuenta con baterías, memoria y todos los elementos necesarios para que el piloto pueda realizar un buen trabajo, mientras que en el método tradicional toca especificar que materiales se requieren y hacer un estimado de su cantidad, para este caso, quedo material sobrante y en caso de que no se hubiese comprado algún material se complicaría el trabajo de campo, sin embargo no resulta difícil conseguir el material para realizar la inspección por el método tradicional, pero por otro lado, conseguir la persona certificada para realizar la inspección con sensores remotos fue muy difícil, ya que la capacitación para ello requiere de unos cursos especiales que se deben tomar por unas empresas certificadoras en unos tiempos específicos, lo que hace difícil la asistencia del personal, mientras que para el método

tradicional basto con los conocimientos adquiridos en la materia de pavimentos y la lectura exhaustiva del manual de inspección vial del INVIAS para realizar la inspección.

En cuanto a la precisión en la medición y las patologías encontradas mediante sensores remotos resulta mucho más complicado hallar el valor exacto, ya que se sugiere una altitud de 30 metros, pero en terreno resulta complicado mantener dicho valor, lo que en el trabajo de escritorio genera un margen de error, mientras que con el método tradicional tomar los valores es exacto ya que la misma persona es quien lo hace.

La calidad de la imagen y su almacenamiento mediante el vuelo con el dron es excelente, su cámara cuenta con una definición muy buena y a medida que realiza el video se pueden ir tomando las fotos deseadas, donde se aprecia en contexto lo que puede estar generando las patologías o posibles complicaciones en el terreno, mientras que con el método tradicional no se puede apreciar todo esto.

Por último el tiempo atmosférico resulto ser un factor ligado al tiempo, para realizar los vuelos del dron se debe contar con un tiempo sin lluvia, lo que impidió muchas veces la realización del trabajo por las condiciones climáticas, para realizar el trabajo de campo con el otro método se contó con buen tiempo atmosférico, sin embargo basta con utilizar una sombrilla en caso de que llueva y se puede continuar con las labores.

En resumen se puede evidenciar en la tabla a continuación los valores que se le asignan a cada criterio teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente.

	<b>MÉTODO TRADICIONAL</b>	<b>SENSORES REMOTOS</b>
Costo de realización	7	3
Tiempo de realización	2	9
Cantidad de materiales a utilizar	3	8
Facilidad de acceso a los materiales	9	4
Capacitación del personal	8	4
Precisión en la medición	9	6
Patologías encontradas en el pavimento	10	8
Calidad de imagen	4	10
Almacenamiento de la información	5	9
Capacidad de acceso a la información	6	9
Tiempo atmosférico	8	3

Tabla 8 Tabla desarrollo de alternativas.

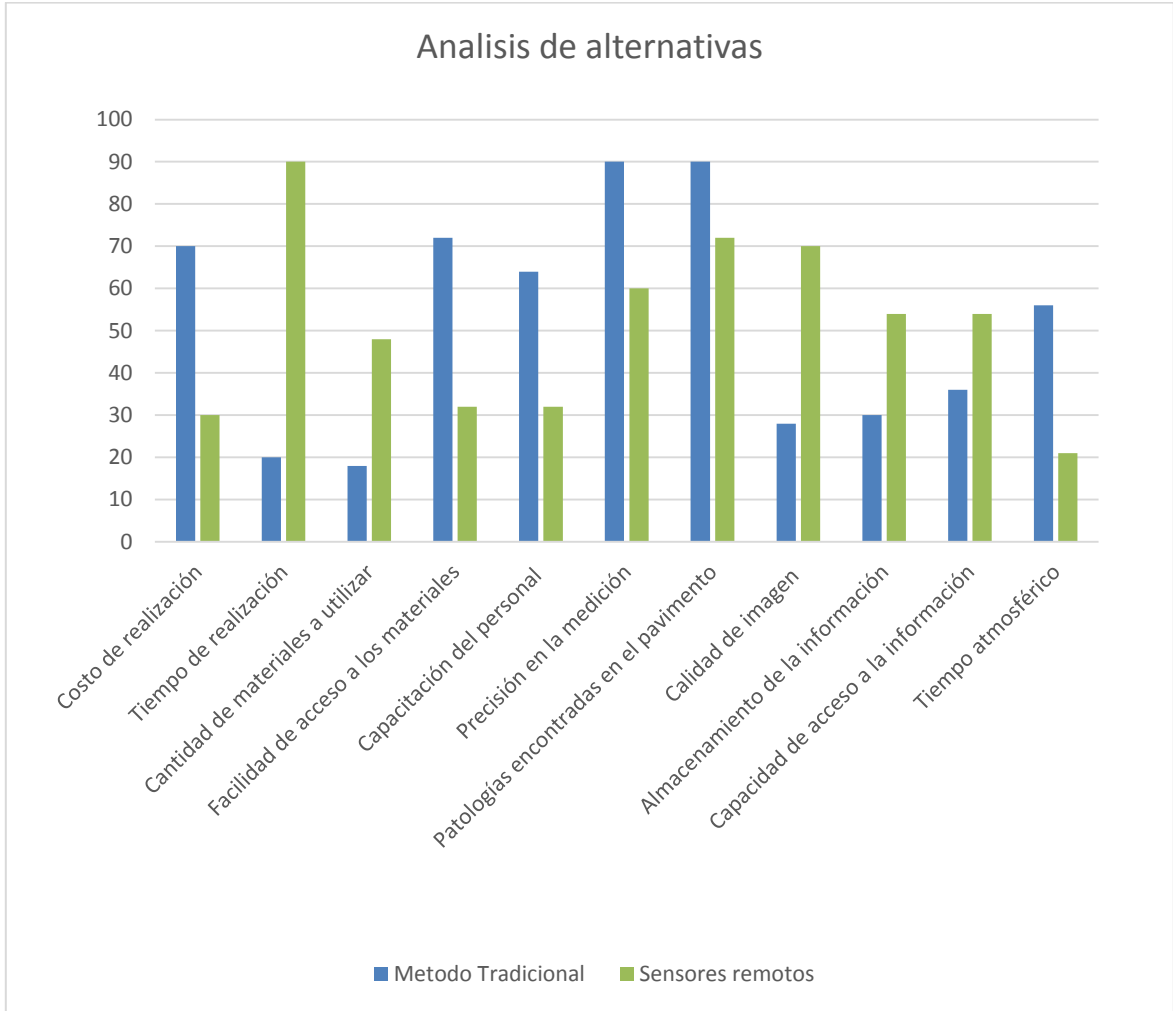
**FUENTE: PROPIA**

## 11.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Una vez se han identificado las fortalezas y debilidades que presenta cada método en los diferentes criterios de decisión, se debe registrar en la Tabla 9 el producto entre cada alternativa y el valor que se le asignó a cada criterio, y finalmente, se realiza la sumatoria de los valores para así obtener el método que más se acerca a las necesidades.

	<b>MÉTODO TRADICIONAL</b>	<b>SENSORES REMOTOS</b>
Costo de realización	70	30
Tiempo de realización	20	90
Cantidad de materiales a utilizar	18	48
Facilidad de acceso a los materiales	72	32
Capacitación del personal	64	32
Precisión en la medición	90	60
Patologías encontradas en el pavimento	90	72
Calidad de imagen	28	70
Almacenamiento de la información	30	54
Capacidad de acceso a la información	36	54
Tiempo atmosférico	56	21
<b>SUMATORIA</b>	<b>574</b>	<b>563</b>

Tabla 9 Tabla análisis de alternativas  
FUENTE: PROPIA



**Grafico 2 Grafico Análisis de alternativas**  
FUENTE: PROPIA



### 11.3. SELECCIÓN DEL MÉTODO.

Según lo desarrollado anteriormente, el mejor método es el método tradicional ya que en su mayoría cumple con las expectativas y los requisitos mínimos establecidos en los criterios para poder desarrollar el análisis de la inspección visual de un pavimento flexible. Sin embargo, se debe tener en cuenta que estos valores pueden variar dependiendo de la ubicación geográfica de la vía y de las prioridades establecidas por el ingeniero que llevara a cabo el trabajo.



**Imagen 32** Método tradicional  
FUENTE: PROPIA

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El criterio de Capacitación de personal se encuentra estrechamente ligado a la parte legal, de modo que es imperativo que el personal que realice la inspección del pavimento flexible sea idóneo y se encuentre completamente capacitado en la función que desarrolla.
- Según lo expuesto, los criterios de decisión se encuentran sujetos a las prioridades del ingeniero que desarrolla el trabajo, pueden existir más, pero los mencionados anteriormente resultan ser los más relevantes en el momento de la selección del método de inspección visual del pavimento flexible.
- Se debe tener en cuenta que para cada uno de estos criterios de decisión se le asignó un valor a criterio de los autores del presente trabajo, pero en otros casos, podría cambiar su valor dependiendo la ubicación geográfica, altitud, clima, equipo de trabajo, etc...
- La cantidad de materiales a utilizar depende de la longitud a estudiar de la vía, las cotizaciones realizadas se encuentran basadas en un tramo de un kilómetro, por lo cual se puede tomar como referencia en dicha longitud.
- Resulta importante tener un back up de información, mediante el cual en caso de alguna eventualidad se puedan encontrar fácilmente los datos y nuevamente se logre obtener la información en escritorio sin necesidad de acudir nuevamente al trabajo en campo.

## BIBLIOGRAFIA

Aereo, D. d. (2012). Normas y Procedimientos de la Especialidad de Medicina de Aviacion del Ejercito Nacional. 1era .Ed.2012,pag.6.

Aeronautica, U. A. (s.f.). Reglamento Aeronautico de Colombia (RAC) parte octava p.8.

AIRSIGHT. (30 de Octubre de 2016). *AIRSIGHT*. Obtenido de AIRSIGHT:

<<https://www.airsight.de/en/>>

Alfonso, M. M. (2012). *psicología aeronautica y seguridad operacional*. buenos aires.

Campos, V. T. (30 de Octubre de 2016). *DronIngeniería*. Obtenido de DronIngeniería:

<http://www.droningenieria.com/coex-mantenimiento-y-explotacion-de-carreteras-mediante-drones/Coex estudios de conservación y explotación de carreteras>

Civil, A. (s.f.). Obtenido de Aerocivil: <http://www.aerocivil.gov.co>

Colombia, I. N. (2006). *Manual para la inspeccion visual de pavimentos flexibles*. Bogota:

INVIAS.

DJI STORE Official website. (30 de Octubre de 2016). *DJI STORE*. Obtenido de DJI STORE:

<http://store.dji.com/es/product/phantom-3-standard?site=brandsite>

FEDESARROLLO. (30 de Octubre de 2016). *FEDESARROLLO*. Obtenido de

FEDESARROLLO: [http://www.fedesarrollo.org.co/wp-](http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Indicadores-del-sector-transporte-en-Colombia-Informe-Consolidado.pdf)

[content/uploads/2011/08/Indicadores-del-sector-transporte-en-Colombia-Informe-](http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Indicadores-del-sector-transporte-en-Colombia-Informe-Consolidado.pdf)

[Consolidado.pdf](http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Indicadores-del-sector-transporte-en-Colombia-Informe-Consolidado.pdf)

Instituto Nacional de Vias - Universidad Nacional de colombia. (30 de Octubre de 2016).

*CYLEX*. Obtenido de CYLEX:

<[http://media.cylex.com.co/companies/1112/0482/uploadedfiles/11120482\\_6347840578](http://media.cylex.com.co/companies/1112/0482/uploadedfiles/11120482_6347840578)

[64525270\\_INSPECCION\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://media.cylex.com.co/companies/1112/0482/uploadedfiles/11120482_6347840578)>

MINTRANSPORTE. (30 de Octubre de 2016). *MINTRANSPORTE*. Obtenido de

MINTRANSPORTE:

<https://dirinfra.mintransporte.gov.co/pvr2/images/stories/documentos/pavimentos1.pdf>

Orozco y Orozco, J. M., Tellez Gutierrez, R., Solorio Murillo, R., Perez Salazar , A., Sanchez Loo, M., & Torras Ortiz, S. (30 de octubre de 2016). *Instituto Mexicano del Transporte*.

Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte:

<<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt245.pdf>>

Orozco, J. M., Tellez Gutierrez, R., Solorio Murillo, R., Perez Salazar, A., Sanchez Loo, M. A., & Torras Ortiz, S. (30 de octubre de 2016). *Instituto Mexicano del Transporte*. Obtenido

de Instituto Mexicano del Transporte:

<<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt245.pdf>>

Pacheco, D. O. (2011). *Factores humanos en aviación*. Obtenido de semae: [http://](http://www.cemae.es)

[www.cemae.es](http://www.cemae.es)

Patrick J. Grandsaert, C. U. (2015 ). INTEGRATING PAVEMENT CRACK DETECTION AND ANALYSIS USING AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLE IMAGERY. AIR FORCE INSTITUTE OF TECHNOLOGY : DEPARTMENT OF THE AIR FORCE AIR UNIVERSITY.

Rojas, M. L., & Solano Beauregard, M. (2007). *Psicología y aviación. Reflexiones*.

Sánchez Ayra, E. (2013). *Risk Analysis and Safety Decision-Making in Commercial Air Transport Operations*.

Trabajo, M. d. (2014). Disposiciones para la implementacion del Sistema de Gestion de la Seguridad y Salud en el trabajo. Diario oficial. 2014 pag 5 .

UNAL, INVIAS. (2006). *Manual para la inspeccion visual de pavimentos flexibles*. Bogota:

INVIAS.

Unidas, O. d. (s.f.). *Organizacion Civil Internacional*. Documento OACI 9859.

Universidad Autonoma de Mexico. (30 de Octubre de 2016). *UNAM*. Obtenido de UNAM:

<<https://es.scribd.com/document/323897096/Tesis-Evaluacion-de-Pavimentos>>

Universidad Nacional Autonoma de Mexico. (30 de Octubre de 2016). *UNAM*. Obtenido de

UNAM:

<<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2547/osunaruiz.pdf?sequence=1>>

VALENCIA, J. A. (2007). “*AUSCULTACIÓN, CALIFICACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL*

*Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CARRETERA SECTOR PUENTE DE LA*

*LIBERTAD – MALTERIA DESDE EL K0+000 HASTA EL K6+000 (CÓDIGO 5006).*

MANIZALES .

VILARÓ, E. (30 de Octubre de 2016). *EL TIEMPO*. Obtenido de EL TIEMPO:

<http://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/nueva-reglamentacion-para-los-drones/16353316>>

YANARICO DEL CARPIO, K. F. (2018). *PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN ANUAL*

*BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y*

*COMUNICACIONES, PARA LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO EN LAS AVENIDAS:*

*JORGE CHÁVEZ Y COSTANERA –WANCHAQ – CUSCO.*”. CUSCO – PERÚ- 2018:

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO.

Zhang, C. (2008). AN UAV-BASED PHOTOGRAMMETRIC MAPPING SYSTEM.