



**Estudio de geosintéticos usados para la rehabilitación de las patologías en el pavimento, relacionadas a las cámaras de inspección del tramo de la carrera 19c y calle 48c sur, barrio Tunal localidad de Tunjuelito, Bogotá.**

**Sergio Andrés Lozano Flórez**

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil Y Ambiental – Sede Sur

Bogotá D.C

2022



**Estudio de geosintéticos usados para la rehabilitación de las patologías en el pavimento, relacionadas a las cámaras de inspección del tramo de la carrera 19c y calle 48c sur, barrio Tunal localidad de Tunjuelito, Bogotá.**

**Sergio Andrés Lozano Flórez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Civil**

Director :

PhD. Carlos Martin Molina Gallego

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental – Sede Sur

Bogotá D.C, Colombia

2022



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado es dedicado a mis padres por brindarme su apoyo incondicional, siempre darme ánimo en los momentos que lo necesite y gracias a ellos puede afrontar cualquier adversidad que pudiera presentar.

Mis hermanas e hijo, quienes siempre estuvieron pendiente de mi ayudándome y dándome las ganas para seguir adelante sin darme por vencido.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero Agradecer principalmente a Dios y mis padres, Oscar lozano y Fanny Flórez, por brindarme la oportunidad de estudiar y ser profesional porque sin su esfuerzo y compromiso no habría sido posible este proyecto, a mi novia Tatiana quien siempre estuvo cuando más la necesite, me brindo su apoyo y fue una gran ayuda, y a toda mi familia que siempre estuvo muy pendiente de mi progreso.

**TABLA DE CONTENIDO****Pág.**

<b>1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. Objetivos generales .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.    Objetivos específicos.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Marco conceptual .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.    Generalidades del Pavimento .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.    Pavimento flexible.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1.    Subrasante para pavimentos de tipo flexible .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2.2.    Subbase para pavimentos de tipo flexible .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2.1.    Base para pavimentos de tipo flexible.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.1.    Capa de rodadura para pavimentos de tipo flexible .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.    Pavimento Rigido.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.1.    Subrasante para pavimentos rigidos.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.2.    Base para pavimentos rigidos.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.3.    Superficie de rodadura para pavimentos rigidos .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.4.    Diferencias entre pavimentos de hormigón y de asfalto .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4.    Cámaras de inspección.....</b>	<b>15</b>
<b>3.4.1.    Características de las camaras de inspeccion.....</b>	<b>16</b>
<b>3.4.2.    Funciones de las estructuras de conexión o inspección .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4.3.    Norma de construcción para cámaras de inspección vaciadas en sitio NC-AS-IL02-05.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4.4.    Pruebas y ensayos para pozos y cámaras de inspección vaciadas en sitio .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4.5.    Filtración de Aguas a las vías .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.6.    Patologías del pavimento.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.7.    Patologías del pavimento flexible asociadas a las cámaras de inspección aledañas .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.8.    Patologías del pavimento rígido asociadas a la cámara de inspección .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.9.    Rehabilitacion de los pavimentos .....</b>	<b>22</b>
<b>4. Estado del arte .....</b>	<b>25</b>
<b>5. Planteamiento del problema .....</b>	<b>32</b>
<b>6. Metodología.....</b>	<b>34</b>
<b>7. Resultados y Discusión .....</b>	<b>35</b>

<b>7.1. Identificación del caso de estudio .....</b>	<b>35</b>
<b>7.2. Antecedentes de la Zona de estudio .....</b>	<b>37</b>
<b>7.3. Auscultación de la vía ubicada en la carrera 19c con calle 48 c sur .....</b>	<b>41</b>
<b>7.4. Diseño de pavimento para implementación en la zona de estudio .....</b>	<b>45</b>
<b>7.4.1. Variables de diseño .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>54</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>55</b>
<b>10. Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>58</b>



## Lista de Figuras

Figura 1 Estructura del pavimento flexible.....	11
Figura 2 Estructura de un pavimento Rígido.....	13
Figura 3 distribución de cargas en pavimento rígido y pavimento flexible.....	15
Figura 4 Esquema general de cámaras de inspección vaciadas en sitio.....	16
Figura 5 Esquema de infiltración superficial.....	19
Figura 6 Documentos subidos por año.....	26
Figura 7 Movimiento durante periodo de estudio.....	27
Figura 8 Simulación de compactación de pavimentos en DEM2D.....	29
Figura 9 Etapas de la metodología.....	34
Figura 10 Georreferencia de la zona de estudio.....	35
Figura 11 Ubicación de alcantarillado en la zona de estudio.....	36
Figura 13 Piel de cocodrilo, Pulimiento de agregado “Pavimento flexible”.....	42
Figura 14 Grietas longitudinales y transversales “pavimento rígido”.....	42
Figura 15 Sello de fisuras, Grietas en pozos y sumideros “pavimento regido”.....	43
Figura 16 Sello de fisuras ”pavimento flexible”.....	43
Figura 17 Piel de Cocodrilo, sello de fisuras “pavimento flexible”.....	43
Figura 18 Grietas en pozos y sumideros, piel de cocodrilo “pavimento flexible”......	44
Figura 19 Propuesta de diseño para la zona.....	48
Figura 20 Diseño de capas la estructura de pavimento con geosintéticos.....	51
Figura 21 Estructura con Geosintético en el centro de la subbase.....	52
Figura 22 Diseño de pavimento con geotextiles en la zona.....	53

## Lista de tablas

Tabla 1 <i>Tipos de pavimento</i> .....	10
Tabla 2 <i>Patologías del Pavimento flexible asociadas a las cámaras de inspección.</i> .....	20
Tabla 3 <i>Patologías del pavimento rígido asociadas a las cámaras de inspección</i> .....	21
Tabla 4 <i>Rehabilitación para el pavimento flexible</i> .....	23
Tabla 5 <i>Rehabilitación para el pavimento rígido.</i> .....	25
Tabla 6 <i>Especificaciones de las cámaras de recolección de la zona de estudio</i> .....	36
Tabla 7 <i>Historial se Fallas presentadas en la zona en los últimos 10 años</i> .....	37
Tabla 8 <i>Intervenciones Realizadas por el INVIAS</i> .....	40
Tabla 9 <i>Fallas Presentadas en la zona.</i> .....	41
Tabla 10 <i>Área de daño total</i> .....	45
Tabla 11 <i>Transito promedio diario semanal</i> .....	46
Tabla 12 <i>Transito promedio diario mayorado 10%</i> .....	46
Tabla 13 <i>Numero de ejes equivalentes para el periodo de diseño</i> .....	47
Tabla 14 <i>Guía ASSHTO</i> .....	49
Tabla 15 <i>Capas con y sin refuerzo de Geomalla</i> .....	50

## **Anexos**

ANEXO 1 Carta de solicitud de información al UVM .....	55
ANEXO 2 Tabla de diseño de mezcla para hormigón NRL.....	57

## Resumen

Este proyecto aborda el tema de las implicaciones que pueden tener las cámaras de inspección en las estructuras de pavimento, actualmente el estado de la vía comprendida de la carrera 19c y la calle 48c sur en el barrio Tunal ha presentado durante más de diez años afectaciones en la misma zona, presentando una vida útil muy corta por más rehabilitaciones que se le realicen a esta, por esta razón se busca implementar una alternativa de diseño con la implementación de geosintéticos que permitan aumentar su vida útil mitigando los daños mejorando su capacidad portante, resistencia de sus capas y una manera de reducir la filtración desde las cámaras a la estructura. De esta manera se propone un diseño de pavimento usando adicionando el geosintético biaxial FORTGRIND en la subbase y cubriendo el contorno de la estructura de la cámara de inspección obteniendo resultados favorables al reducir los daños en un 5% a nivel estructural y semi-impermeabilizando la zona ante posibles fugas brindando una serie de ventajas al implementar este método en la estructura de pavimento.

Palabras Claves: geosintéticos, pavimento, cámaras de inspección, rehabilitación

## Abstract

This project was carried out due to the lack of studies on the subject of the implications that inspection cameras can have on pavement structures, currently the state of the road between Carrera 19c and Calle 48c Sur in the Tunal neighborhood has presented for more than ten years affectations in the same area, presenting a very short useful life due to more rehabilitations that are carried out on it, for this reason it is sought to implement a design alternative with the implementation of geosynthetics that allow to increase its useful life by mitigating the damage by improving its bearing capacity, resistance of its layers and a way to reduce leakage from the chambers to the structure. In this way, a pavement design is proposed using the FORTGRIND biaxial geosynthetic in the subbase and covering the structure of the inspection chamber, obtaining favorable results by reducing damage by 5% at the structural level and semi-waterproofing the area against possible leaks. providing a series of advantages when implementing this method in the pavement structure.

Keywords: geosynthetics, pavement, inspection chambers, rehabilitation

## 1. Introducción

La malla vial que conforma una ciudad es un factor fundamental para el impulso y desarrollo de los habitantes, puesto que esto permite facilitar el crecimiento y estabilidad de los mismos, el mantenimiento de estas tiene un impacto en costos de transporte, dinamizando la economía y el uso de bienes y servicios locales (Ramirez, 2018), por ello, se debe garantizar una movilidad de calidad y seguridad.

A lo largo del tiempo en el barrio el Tunal se ha evidenciado problemas en diversas partes de sus vías, en especial en la calle 48c sur, donde a pesar de que se realizan rehabilitaciones a su pavimento, el problema ha persistido. En el lugar de estudio, se avista una serie de patologías diversas durante los últimos diez años, desde piel de cocodrilo, grietas, descascaramiento, baches, fisuras de juntas, fisuras longitudinales y transversales entre otras, y todo esto en el mismo punto. Es necesario investigar más el tema ya que en la actualidad no se cuentan con muchos estudios que relacionen las cámaras de inspección de alcantarillado a las patologías viales que son frecuentes en zonas aledañas a donde se instalan estas, es preciso dar opciones para su tratamiento con lo que se podría mitigar una posible prolongación de daños más extensos, estas patologías se podrían relacionar directamente con las cámaras de inspección instaladas en la zona, ya que, las fallas inicialmente se generan alrededor de las cámaras y estas afectan directamente la continuidad del pavimento (INVIAS, 2006a).

Con base a esto, se hace necesario la recopilación de información sobre este tipo de patologías encontradas en los pozos y sumidero, para posteriormente implementar metodologías de evaluación que permitan conocer la condición estructural de las vías de manera cualitativa y cuantitativa, diagnosticando las causas posibles de estas grietas que pueden ser debido a una

variación en la distribución de esfuerzos, daños o filtraciones en las tuberías dado a que puede variar su nivel de severidad, que de no ser tratadas pueden generar una evolución eventual de las grietas, por eso urge la formulación de métodos de rehabilitación para esta patología.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivos generales**

Elaborar un documento que recopile y analice los geosintéticos como método de rehabilitación para el pavimento ubicada en la Cra 19 c con calle 48c sur del barrio Tunal contemplando las cámaras de inspección como una variable que afecta el buen funcionamiento de esta.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Presentar alternativas de mejoramiento por medio de materiales innovadores o estructurales que ofrezcan una solución mejorada a las afectaciones identificadas en la estructura del pavimento de la vía.
- Realizar un diseño alternativo para la estructura del pavimento mejorado, que pueda solucionar las afectaciones ocasionadas por las cámaras de inspección para la zona de estudio.
- Identificar los beneficios de la mejora del pavimento con los materiales alternativos en la zona de estudio.

### **3. Marco conceptual**

#### **3.1. Generalidades del Pavimento**

Las estructuras viales están conformadas por secciones en capas superpuestas una sobre otra, compuestas por materiales seleccionados según la necesidad. Estas están diseñadas para poder soportar las cargas aplicadas por el tránsito y condiciones climáticas sin olvidar que también deben cumplir un paso cómodo seguro y confiable, estas estructuras deben garantizar además de lo ya nombrado:

1. Costo óptimo de operación.
2. Superficie uniforme.
3. Superficie impermeable.
4. Color y textura adecuados.
5. Resistencia a la repetición de cargas.

Cabe resaltar que el pavimento puede revestirse con una variedad de materiales como lo son las mezclas asfálticas y el hormigón, que son de las más habituales y que ofrecen un buen rendimiento en el soporte facilitando el paso constante de los vehículos sin que estos sufran daños significativos (UTN & Leone, 2017). Los pavimentos generalmente se clasifican como flexibles o rígidos según como se distribuyan las cargas superficiales, un pavimento rígido distribuye las cargas en una área amplia y un pavimento flexible tiene una resistencia a la flexión baja, pero que tiene una estabilidad para soportar cargas del tráfico, en la tabla 1 se nombran algunos materiales que se implementan para cada uno de los tipos de pavimento (Design, 2012).

Tabla 1 *Tipos de pavimento*

Tipos	
Pavimentos Asfálticos o Flexibles.	Son aquellos construidos con materiales asfálticos y materiales granulares.
Pavimentos de Concreto O Rígidos.	Pavimentos construidos con hormigón de cemento portland y materiales granulares.
Otros.	Conformados por adoquines, empedrados y suelo de cemento.

**Fuente:** Adaptado de Pavimentos/cátedra ingeniería civil(UTN & Leone, 2017).

### 3.2. Pavimento flexible

Las estructuras de este tipo están divididas por una capa asfáltica que se apoya sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares que no son tratados (base, subbase y subrasante) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** A través de estas, los esfuerzos que se generan al recibir cargas vehiculares se disipan en cada una de estas capas hasta llegar a la capa subrasante, para que un pavimento sea viable la resistencia mecánica del suelo debe resistir los esfuerzos sin que se generen deformaciones que puedan terminar en deterioro funcional o estructural de la vía (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015), esta es una estructura de bajos costos en comparación con otros tipos de pavimento, pero desafortunadamente también requiere un mayor mantenimiento y su periodo de uso es más corto (Daniela Andrade et al., 2020).

Figura 1 Estructura del pavimento flexible.



**Fuente:** Tomada de (UTN & Leone, 2017).

### 3.2.1. Subrasante para pavimentos de tipo flexible

Es el suelo en el que se cimentará la estructura del pavimento, por lo general, es suelo natural que ha sido debidamente compactado normalmente de materiales de tipo granular, de no cumplir con las condiciones adecuadas se hará necesario la aplicación de materiales que mejoren la calidad (Rondón Quintana, Fernandez Gomez y Fuentes P., 2012).

### 3.2.2. Subbase para pavimentos de tipo flexible

Esta capa, está hecha de materiales de bajo costo y menor calidad. Sus principales funciones son las de resistir las cargas de tránsito, servir como transmisor controlando las variaciones de elasticidad y otra de sus funciones es la de servir de controlador de ascensión capilar y drenaje de agua (Colombia, 2022).

### **3.2.1. Base para pavimentos de tipo flexible**

La función fundamental de esta capa consiste en proporcionar un grado de resistencia que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos que le producen el tránsito y distribuirlos en una intensidad apropiada, la base muchas veces también tiene que funcionar como un drenaje para el agua que se introduzca a través de la capa de rodadura o también conocida como carpeta (UC, 1999). La base generalmente consta de agregados bien graduados, duros y resistentes a la degradación por las cargas del tráfico, el material se compacta en una capa más densa que tiene una alta resistencia a la fricción y buenas cualidades de distribución de cargas (Design, 2012).

### **3.2.1. Capa de rodadura para pavimentos de tipo flexible**

Esta es la última capa que conforma el pavimento, en esta es donde se movilizan los vehículos durante su periodo de servicio, por lo cual, su resistencia debe ser mayor que el resto de las capas; otro de los aspectos más relevantes de esta es que el factor climático influye en gran medida sobre esta al estar directamente expuesta, por lo que su impermeabilización es de vital importancia para poder ofrecer un grado de comodidad y seguridad para quien la use (Rondón Quintana, Fernandez Gomez y Fuentes P., 2012).

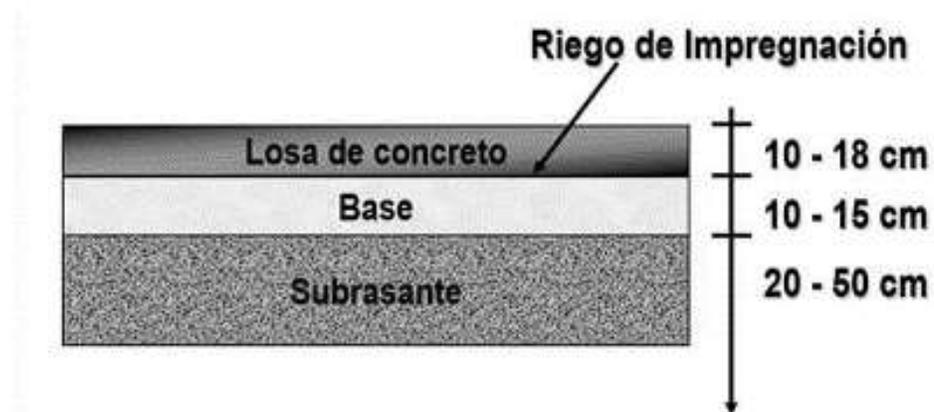
### **3.2.2. Duración de un pavimento flexible**

Un pavimento flexible debe tener una duración óptima de al menos 15 años, no obstante en estos pavimentos se debe también plantear una estrategia de diseño que proponga un periodo inicial de 8 años antes de ser necesario superponer otra capa. Cuando mayor sea el módulo, aumenta la capacidad estructural de la capa de pavimento, la carga se distribuye sobre la subbase más ancha o suelo de apoyo (CONSTRUNEIC, 2022).

### 3.3. Pavimento Rígido

Este tipo de estructura consiste en una losa de concreto de cemento portland que puede tener o no una subbase entre la losa y la subrasante ilustrados en la figura 2, estos transmiten directamente los esfuerzos al suelo de una manera mucho mas minimizada, una de sus principales características es que es auto-resistente con una cantidad de concreto controlada.

Figura 2 Estructura de un pavimento Rígido.



Fuente: Tomada de (UTN & Leone, 2017).

#### 3.3.1. Subrasante para pavimentos rígidos

Es el soporte natural que mediante procesos se prepara y compacta para posteriormente construir el pavimento, la función de la subrasante es brindar un apoyo uniforme que no genere cambios al valor de apoyo, esta capa soporta la estructura de pavimento que debe tener secciones transversales y pendientes especificadas en sus planos de diseño (ALICARESP, 2019).

#### 3.3.2. Base para pavimentos rígidos

Es aquella que aporta una resistencia óptima para trasladar de la subrasante la fuerza que genera el paso vehicular, generalmente está constituida por partículas duras de gran durabilidad

como lo pueden ser las rocas trituradas que contribuyen a su drenaje, ofrece control de bombeo además de funcionar como plataforma de construcción de las losas (Lina, 2012).

### **3.3.3. Superficie de rodadura para pavimentos rígidos**

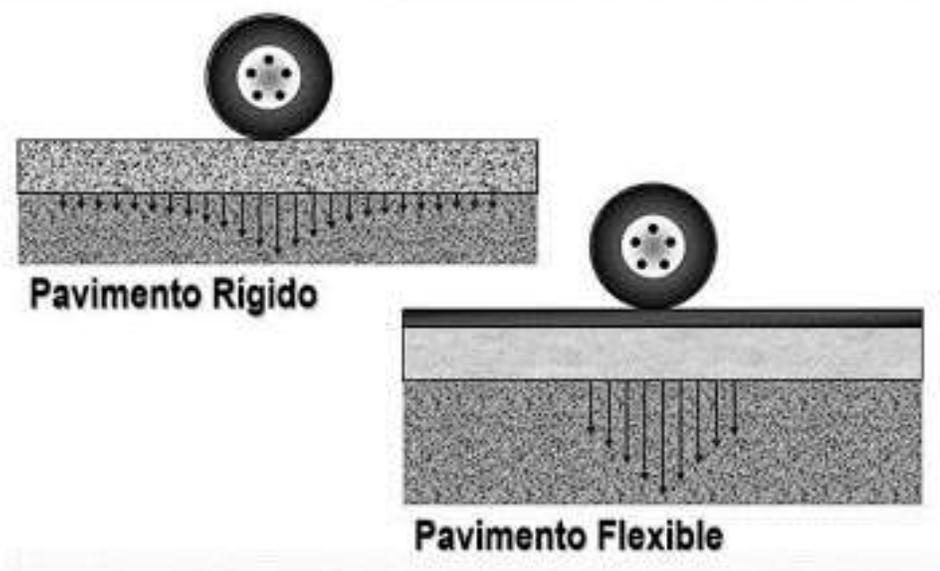
Es la capa superior de la estructura, construida en concreto de tal forma que su diseño soporte las cargas de tránsito y resista tanto el deslizamiento de los vehículos por abrasión, el coeficiente mínimo de mezcla de cemento debe determinarse en base a pruebas previas de laboratorio que regulen su resistencia y durabilidad (Andrés David Mora Cano & Camilo Alberto Argüelles Saenz, 2015).

### **3.3.4. Diferencias entre pavimentos de hormigón y de asfalto**

La principal diferencia es en la manera en que cada uno transmite las cargas a su capa de subrasante, la alta rigidez de las losas en concreto le permite mantenerse como una placa y distribuir las cargas sobre un área mayor de la subrasante transmitiendo presiones bastante bajas a las capas inferiores. Por sí misma, la capa de rodadura del pavimento rígido mejor conocida como losa proporciona la mayor parte de la capacidad estructural en este.

El pavimento flexible está construido con materiales más débiles y menos rígidos en comparación con los que se usan en el pavimento rígido, lo cual hace que sea más susceptible a ser deformables al transmitir a la subrasante las cargas de manera más concentrada, distribuyendo el total de la carga en menos área de apoyo, por estas razones el pavimento flexible como se puede apreciar en la Figura 3, normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la subrasante (Rico Rodríguez, Alfonso, 2011).

Figura 3 *distribución de cargas en pavimento rígido y pavimento flexible*



**Fuente:**tomada de (UTN & Leone, 2017).

### 3.4. Cámaras de inspección

Un pozo de inspección es una estructura de forma cilíndrica que remata generalmente en su parte superior en forma tronco-cónica con una tapa removible que cumple la función de permitir la ventilación y el acceso a este para mantenimientos. La estructura es usada en los alcantarillados sanitarios para poder redireccionar el flujo de agua de los puntos de cambio, con un alineamiento vertical u horizontal. Normalmente se fabrica en diversos materiales que se debe instalar bajo la superficie del terreno. Entre los elementos que conforman una cámara de inspección están: losa inferior, cañuelas, cilindro, cono de reducción, peldaños, losa superior (anillo, cuello) y tapa señalados en la figura 4 (EPM, 2009). Los pozos y cámaras de inspección son estructuras muy relevantes en el sistema de alcantarillado debido a que, todos los cambios hidráulicos y geométricos se concentran en estas estructuras.

Figura 4 Esquema general de cámaras de inspección vaciadas en sitio.



Fuente: Tomada de (EPM, 2017)

### 3.4.1. Características de las camaras de inspeccion

- **Resistencia:** las paredes deben resistir las altas profundidades de su instalación por eso sus diseños deben estar dispuestos para que resistan las cargas vivas en áreas de tráfico.
- **Eficiencia hidráulica:** su base se diseña especialmente para promover el movimiento de los fluidos eliminando la turbulencia.
- **Hermeticidad tubería-cámara:** en las juntas del alcantarillado con la cámara se debe realizar por un empalme según la norma ASTM F 477 que garantiza eliminar los

problemas de infiltración y escape en las conexiones de las tuberías con las secciones del registro(CHAPARRO PÉREZ, Jhon Jairo, HERRERA NEIRA, 2009).

### **3.4.2. Funciones de las estructuras de conexión o inspección**

Los pozos y cámaras de conexión e inspección en redes de alcantarillado cumplen las siguientes funciones (Acueducto, 2022).

- Aireación y desaireación del flujo.
- Labores de mantenimiento y rehabilitación del sistema de alcantarillado.
- Inspección de colectores deteriorados.
- Minimizar los cambios de velocidad y dirección.
- Liberación de sobrecargas por sobre flujos de emergencia en casos de taponamiento el sistema de alcantarillado.
- Dirigir los flujos hacia la tubería de salida.

### **3.4.3. Norma de construcción para cámaras de inspección vaciadas en sitio NC-AS-IL02-05**

Esta norma brinda los requisitos técnicos que se deben cumplir para la construcción de las cámaras de inspección o estructuras de conexión que se vacían en sitio. Estas deben construirse en la red de alcantarillado cuando hay arranques de tubería, cambios de dirección, cambio de pendientes en tuberías, cambios de diámetro de tuberías y entre tramos rectos de tuberías cuando se alcancen las distancias máximas de acuerdo a la norma Acueducto de Bogotá (consideraciones para proyección). Estas cámaras son estructuras de concreto de forma cilíndrica que cuentan en su parte superior un cono truncado y una tapa removible que permite la ventilación y el ingreso de personal para mantenimiento y operaciones (Figura 4). Para el concreto y acero se establece

en la norma (NC-MN-OC07-01 concretos) para los siguientes elementos de la cámara de inspección se debe utilizar concreto reforzado con una resistencia a la compresión de 28MPa , el concreto no reforzado se implementará en los siguientes elementos: la losa inferior, cilindro y cañuelas y este deberá contar con una resistencia a la compresión de 28 MPa (EPM, 2017).

#### **3.4.4. Pruebas y ensayos para pozos y cámaras de inspección vaciadas en sitio**

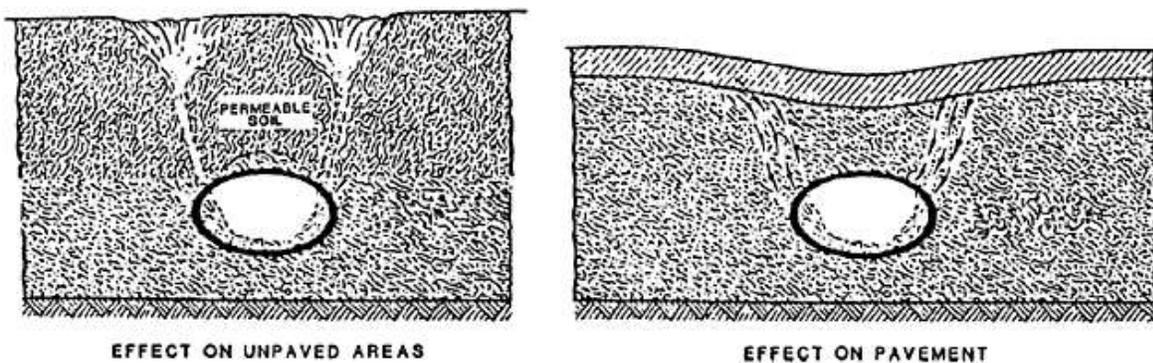
Estanqueidad: Se deberá realizar una prueba de estanqueidad de la cámara sellando las entradas y la salidas de las bocas de la cámara de inspección, se llena con agua hasta una altura de 0,20 m por debajo de la parte inferior del anillo de cargue, se deja transcurrir un periodo de dos hora, tiempo en el que las superficies de la cámara absorben cierta cantidad de agua esto con el fin de no tener distorsiones en la prueba, a las 24 horas siguientes se toma una lectura de la profundidad considerándose exitosa si el descenso de la columna de agua es inferior o igual al 2%. Por último, se debe verificar la superficie del cilindro, las uniones con las tuberías, así como sus recubrimientos, con el fin de prevenir que se comprometa la hermeticidad de la cámara.

#### **Daños al pavimento ocasionados por la falta de mantenimiento de las cámaras de inspección**

Una falla ocasionada por una cámara de inspección podría ocasionar un colapso de la calzada superior o la incapacidad de la cámara de transportar el flujo que transite por esta. Las fallas de las vías pueden ser el resultado directo del colapso de la estructura, o también puede darse por una pérdida del relleno de las capas inferiores de la estructura vial debido a la infiltración de finos, la filtración excesiva a través de las juntas abiertas pueden provocar perdida de material tal y como se muestra en la figura 5 tomada de (Brockenbrough, 2009). Es muy raro el colapso total de una vía por estas causas, las cámaras de inspección que se encuentran en

sobrecarga, sea por pérdida del soporte de su suelo circundante debido a la filtración o un mal diseño de su estructura, tenderán a redistribuir esas tensiones, desde los conceptos técnicos presentados en el manual de inspección vial (INVIAS, 2006a). La pérdida de apoyo o el efecto de cargas vivas en exceso somete a una sección a esfuerzos excesivos, tendiendo a flexionarse más que las secciones aledañas y transferirá esas cargas a secciones más rígidas. Incluso si no sucede un colapso total, la falla estructural puede afectar el suelo adyacente y paulatinamente acelerar la falla. La infiltración causa una pérdida de soporte del suelo contiguo a la cámara, puede avanzar a un ritmo creciente causando fallas en la carretera como piel de cocodrilo, grietas, descascaramiento, baches, fisuras de juntas, fisuras longitudinales y transversales entre otras.

Figura 5 Esquema de infiltración superficial.



Fuente: Tomada de (Brockenbrough, 2009).

### 3.4.5. Filtración de Aguas a las vías

La filtración en los suelos cercanos a las cámaras de inspección se podría definir como el paso de agua procedente de este, producto de daños en sus tuberías o en la estructura como tal, la losa de pavimento falla al quedarse sin soporte en su base y subrasante. Los flujos subterráneos de agua presuntamente por tuberías rotas van lentamente “lavando” o arrastrando las partículas

más pequeñas del material compactado debajo del pavimento, hasta que forman grandes vacíos que al venir un vehículo lo suficientemente pesado lo hace colapsar (Daoulas et al., 2011).

### 3.4.6. Patologías del pavimento

Cuando uno o más de los niveles de las capas que conforman el pavimento se deterioran se considera que la estructura está fallando, en la tabla.2 y tabla 3, se nombran algunas fallas que se podrían asociar a problemas de infiltración de aguas y una mala compactación a causa de daños, mal diseño o falta de mantenimiento en las cámaras de inspección. El deterioro del pavimento se puede clasificar en dos categorías básicas para todos los tipos: estructural y funcional. La categoría más crítica es la estructural que da como resultado una capacidad reducida para transportar cargas y una vida útil reducida del pavimento. El deterioro funcional solo está relacionado con la calidad de conducción y las características de fricción. Según el (INVIAS, 2006) existe otra categoría que sería el deterioro ambiental, este afecta los materiales del pavimento y se manifiestan como alguno de los dos deterioros anteriormente nombrados .

### 3.4.7. Patologías del pavimento flexible asociadas a las cámaras de inspección aledañas

Tabla 2 *Patologías del Pavimento flexible asociadas a las cámaras de inspección.*

Pavimento flexible

---

Daño

Descripción

---

Agrietamiento de cocodrilo

Es una serie de grietas interconectadas, estas inician en la parte inferior de la capa de asfalto debido al daño

---

---

provocado por la tensión de tracción desarrollada por la carga repetida de las ruedas.

---

Agrietamiento longitudinal de arriba hacia abajo

Son grietas con trayectoria cercana a las ruedas, paralelas a la línea central de la calzada, estas se generan debido a la tensión constante de tracción de corte.

---

Pelar

Es un daño relacionado a la humedad, por lo general es debido a la pérdida de unión entre los agregados y el aglomerante asfáltico que inicia en la parte inferior de la capa y avanza hacia arriba

---

Baches

Son depresiones en forma de cuenco en la superficie del pavimento que penetra a través de la capa de asfalto hasta la capa base.

---

Fuente: Adaptado de (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006a).

### **3.4.8. Patologías del pavimento rígido asociadas a la cámara de inspección**

Tabla 3 *Patologías del pavimento rígido asociadas a las cámaras de inspección*

Pavimento rígido

---

---

Daño	Descripción
Grietas en pozos y sumideros	Son grietas que están específicamente relacionadas con la presencia del pozo o sumidero. Se atribuye a la variación en la distribución de esfuerzos debido a la presencia de los pozos o sumideros, esto vuelve a la zona vulnerable a aparición de grietas, las principales causas de este daño pueden ser bombeo y deterioro total de la losa.
Grietas transversales	Grietas que se presentan perpendiculares al eje de circulación de la vía, las posibles causas van desde asentamientos de la base o subrasante, problemas de drenaje y cargas excesivas.
Daño de juntas	Corresponde a una abertura en la junta longitudinal de pavimento. Este problema se da por la contracción o expansión diferencial losas, asentamientos diferenciales de la subrasante.

Fuente: adaptado de (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006b)

### 3.4.9. Rehabilitación de los pavimentos

El pavimento se diseña con la consideración de que fallará mostrando grietas o deformaciones al cabo de algunos años de servicio, luego el pavimento se deberá reparar con regularidad o periódicamente esperando brindar la calidad del servicio esperado, a continuación, en la tabla 4 y la tabla 5, se menciona la manera en la que se suele rehabilitar el pavimento tanto flexible como rígido que se podrían asociar al mal mantenimiento de las cámaras de inspección.

El método más común de rehabilitación de los pavimentos flexibles es un arreglo a su capa de asfalto. Hay muchas variaciones de esta técnica que va desde el alisado del pavimento y una capa gruesa de asfalto hasta un parche de piel delgada esta última es una de las estrategias más económicas. El mantenimiento preventivo es otra de las estrategias más rentables que retarda el deterioro de este el tratamiento por definición es el mantenimiento preventivo del pavimento, incluye en sus tratamientos la reducción de la cantidad de agua que se infiltran en la estructura y corrige las deficiencias de la superficie como la aspereza y el deterioro no relacionado con la carga, por eso mismo una gran desventaja de la implementación de este método es que no se debe implementar si existe fallas relacionadas con la fatiga en el pavimento.

Tabla 4 *Rehabilitación para el pavimento flexible*

Pavimento flexible	
Daño	Rehabilitación.
Agrietamiento de cocodrilo	La rehabilitación en profundidad es la mejor opción para poder eliminar grandes zonas de fisura, como esta falla empieza en la parte inferior de la capa y se propaga hacia arriba, reemplazar una parte de la capa de asfalto no eliminara este agrietamiento.

---

Agrietamiento longitudinal de arriba hacia abajo	Dependiendo de la profundidad de las grietas, es posible que se requiera un reemplazo de profundidad delgada o total.
--	---

---

Pelar	Se requiere una reparación tanto en la capa de asfalto como de la base, subsuelo. Debido a esto la recuperación de profundidad total es el único remedio. El decapado total se podría evitar con el diseño de un sistema de drenaje adecuado.
-------	---

---

Baches	Los baches se pueden arreglar con parches o rellenos. Se remueven los materiales sueltos, se limpia los baches y por último se aplica una cala de liga.
--------	---

---

Fuente: adaptado de (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006a).

En los pavimentos rígidos a diferencia de los flexibles, sí existe una categoría en los daños a las cámaras de inspección como se señala en la tabla 4, pero cabe resaltar que no hay un tratamiento específico o norma para la solución de este. El método más común para la restauración de los pavimentos rígidos tanto reforzados como no reforzados según (M. Berkovitz R. Ahmed, 2019) lo denomina restauración de pavimentos de hormigón (CPR). En este método se incluye entre sus variables la transferencia de carga, restauración, remoción y reemplazo de juntas, rectificando de perfiles para reestablecer la suavidad, y por lo general volver a sellar juntas y cualquier grieta que pueda existir, algunas reparaciones comunes mencionadas en el manual de inspección vial del INVIAS (INVIAS, 2006a) se nombrarán en la tabla 5.

Tabla 5 *Rehabilitación para el pavimento rígido.*

---

Pavimento rígido	
Daño	Rehabilitación.
Grietas en pozos y sumideros	No existe en la normativa nacional o un claro procedimiento para su rehabilitación fuera de los ya conocido parcheo o sierres de juntas.
Grietas transversales	Sello de fisuras con asfalto
Daño de juntas	Cuando la sección transversal presenta un nivel de severidad alto se deben colocar barras de amarre en las juntas longitudinales.

---

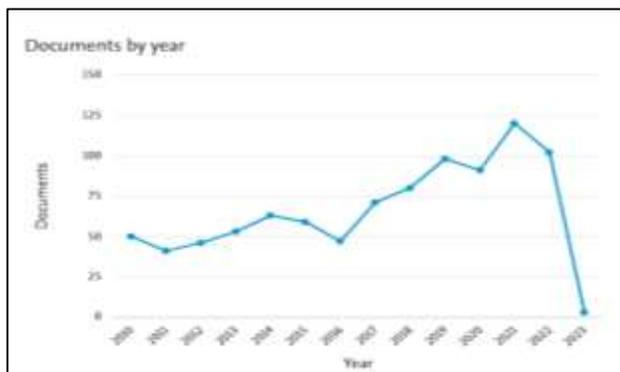
Fuente: adaptado de (Del Castillo, 2005)

#### **4. Estado del arte**

se expondrán para este caso de estudio investigaciones, artículos y noticias donde se exponga posibles soluciones para la rehabilitación y sostenimiento de la vía de estudio, estos documentos serán adaptados al fundamento principal de la investigación que es la influencia de las cámaras de inspección de alcantarillado en el pavimento y las principales patologías que pueden derivar por la acción directa de esta, según (Ministerio de Transporte de Colombia,

2006a). Por medio de la base de datos “Scopus”(Scopus,2022) y ScienceDirect usando palabras claves: pavement, rehabilitación, infiltration, inspection cameras. En el análisis de los datos se evidencia una disminución en las investigaciones desde el año 2005 hasta hoy como se muestra en la Figura 6. En proyecto se analizara la información más relevante que pueda aplicarse al fundamento de este, que es la afectación de las cámaras de inspección al pavimento por tres razones aparentes que son: infiltración de aguas de estos hacia la estructura del pavimento, una falla de la capacidad de carga por una mala compactación de sus capas o de la totalidad de su estructura y el paso vehicular pesado por ser una causa que influiría por su acción al no permitir dirigir correctamente la distribución de esfuerzos

Figura 6 *Documentos subidos por año.*



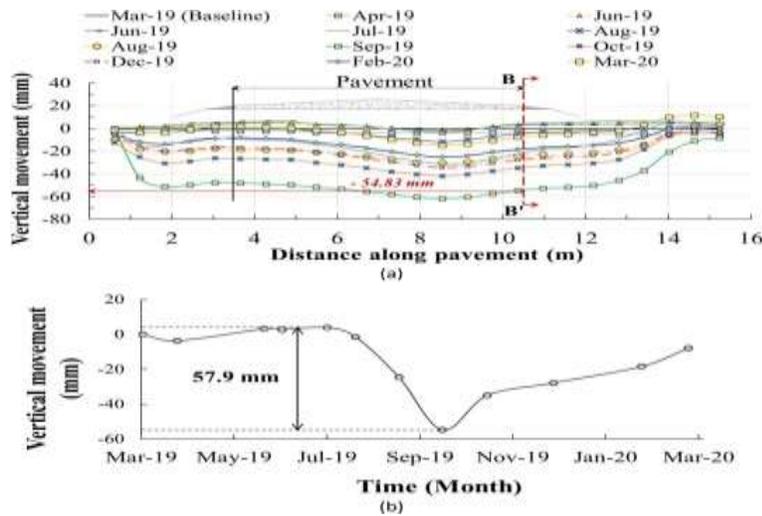
*Fuente: Tomada de (Scopus, 2022).*

Acorde a esto se realizará un análisis de la información encontrada para la rehabilitación de la vía comprendida entre la carrera 19c y calle 48c sur, en donde se ubican dos cámaras de recolección.

Los pavimentos requieren un mantenimiento, por lo general, causado por la expansión y contracción cíclica que experimenta la subrasante, la investigación realizada en el artículo de (Pandey et al., 2021) muestra que la intrusión de agua por infiltraciones es la principal causa de

la hinchazón y contracción del pavimento, el estudio se plantea estabilizar la sección del pavimento que presenta una expansión manejando una mezcla de materiales geo sintéticos denominados barrera de humedad modificada, con instrumentos como sensores de humedad que monitorean el porcentaje de humedad del suelo y el movimiento vertical que este presenta durante el periodo de estudio. La figura. 7 representa la deformación de la subrasante expuesta a filtraciones de agua.

Figura 7 *Movimiento durante periodo de estudio*



Fuente: Tomada de:(Pandey et al., 2021).

En el método anteriormente mencionado se usa una barrera contra la humedad que aísla el suelo de la subrasante de los orígenes de posibles filtraciones de aguas, controlando la recurrencia de grietas en el pavimento debido a la expansión a la que puede verse expuesta la subrasante. La efectividad de este método de estabilización se comparó con literatura previa que buscaba

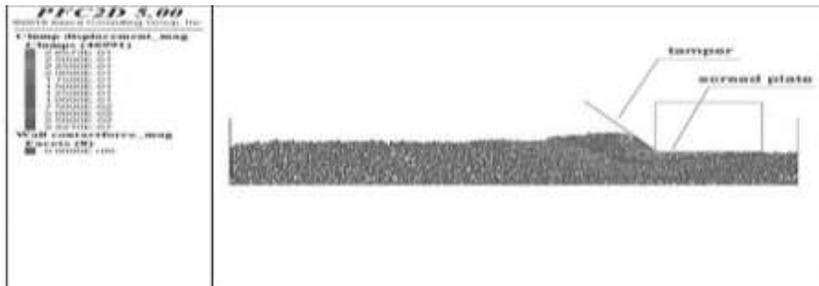
reducir la deformación mostrando que con este método se redujo la deformación en un 80% en comparación con zonas no tratadas con barreras contra la humedad.

Durante la etapa constructiva del pavimento, la compactación es uno de los puntos que no se puede descuidar, puesto que de esto dependerá la calidad y durabilidad del servicio. Ignorar un control de calidad en este, puede conducir a una compactación pobre por elementos o estructuras que no permitan que se desarrolle idóneamente y después podrían resultar en fallas. Según (Wang et al., 2022), hay un sistema para estudiar la compactación del pavimento en las autopistas con un modelo de elementos discretos bidimensionales, en el que por medio de inteligencia artificial (IA) se analiza en el programa DEM2D una recolección de información que expande la base de datos de la compactación del pavimento y la afectación que puede tener el agua en ella con diferentes gradaciones para sus agregados, en la figura 8 se muestra el procesamiento y resultados de la simulación numérica de compactación de pavimentos DEM2D. El artículo plantea formas innovadoras para estudiar el comportamiento mecánico de los materiales granulares y por medio de la base de datos que se crea poder seleccionar el agregado para el pavimento que cumpla con los parámetros de diseño de una manera más óptima.

En los Emiratos Árabes Unidos (EAU), investigadores de Ras AL Khaimah (RAK) evaluaron la reutilización de materiales plásticos que normalmente son arrojados a los vertederos implementándolos en los pavimentos de tipo RAK, ya que, este tiende a fallar debido al tráfico pesado, con los materiales reciclados buscan implementar con su investigación los efectos de agregar fibras plásticas en dos grados de ligante. Los resultados mostraron que la resistencia a la fractura de pavimento en temperaturas bajas con altos grados de humedad y la resistencia a la formación de grietas aumentaron con la adición de estas fibras plásticas de desecho. se encontró que el contenido óptimo de fibra plástica de desecho era del 0.5% del peso

de la mezcla asfáltica con esta medida se logró un mejoramiento (resistencia a la formación de surcos y grietas) de los pavimentos asfálticos y a su vez un efecto positivo en el medio ambiente con la reutilización de desechos plásticos (Abu Abdo & Jung, 2020).

Figura 8 Simulación de compactación de pavimentos en DEM2D.



Fuente: Tomada de: (Wang et al., 2022).

De acuerdo a la investigación realizada se encontraron varios estudios del comportamiento del asfalto para pavimentos con agregados que mejoran su desempeño como lo vemos en el estudio de los Efectos de la fibra Forta-fi sobre la resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas convencionales. En Vietnam el surco y la fatiga suelen ser problemas muy comunes en el pavimento, una vez se producen la superficie del pavimento pierde su uniformidad y suavidad lo que hace que las vías se tornen más inseguras esto llama la atención de investigadores que examinan como una solución el uso de aglomerante en la mezcla mejorando la resistencia a la formación de surcos en el pavimento asfáltico a corto plazo (Do et al., 2020) afirma con su estudio que “La fibra Forta-fi aumenta la resistencia IDT (aproximadamente el 36,7%) y la rigidez de las mezclas asfálticas (aproximadamente el 40%)” (p. 5).

En otra evaluación del desempeño de los daños por surcos y humedad que contienen mezclas de asfalto de mezcla tibia con pavimento de asfalto reciclado en diferentes proporciones sobre las propiedades volumétricas de la mezcla una elevación en su resistencia al surco y humedad, en este estudio de investigación se aborda la susceptibilidad de la formación de surcos y el daño por

humedad como lo expresa (Rafiq et al., 2020) la resistencia con esta mezcla aumenta hasta un 18.18% para el 20% de (RAP) .

Algo que también debate (Zhang, 2016) en la conferencia que presento en China donde su artículo “La aplicación de asfaltos modificados con TPS en mezclas de asfalto de caucho granulado en migajas” demuestra con datos exactos que el asfalto de caucho granulado es un tipo de pavimento que ha demostrado un gran rendimiento antihielo y una mayor elasticidad; uno de los métodos utilizados para la medición en su artículo fue la prueba de resistencia a la tracción directa y la prueba de abrasión cántabro bajo inmersión en agua, estos métodos presentan una implementación sencilla y ofrece resultados viables para este agregado. La investigación experimental sobre la influencia de la fibra de celulosa en diferentes tipos de mezcla asfáltica realizando la prueba de Marshall en la que se añadió fibra de celulosa a la mezcla asfáltica a una muestra asfáltica AC-13 I se estudió la influencia que tuvo esta fibra y según (Gao & Huang, 2011) arrojó como resultado que se obtendría una capacidad reforzada y se realizó una modelación de la relación entre los parámetros del agua y la prueba de test cántabro.

El uso de polímeros que mejoran la resistencia en el hormigo asfáltico consiste en la modificación del asfalto con un aditivo que mejora sus propiedades con el fin de minimizar las fallas por ahuellamiento según (Brovelli et al., 2015), el uso de un asfalto más duro ayuda a evitar la formación de surcos sin agravar el agrietamiento por fatiga. Los polímeros usados para la modificación del asfalto se pueden catalogar en dos familias, los polímeros que forman una red tridimensional rígida que resisten la deformación permanente se denominan plastómetros y los que inducen una mayor elasticidad y recuperación se denominan elastómeros. Este estudio presenta una evaluación de la resistencia a la deformación de surcos de estos dos tipos de mezclas asfálticas que contienen polímero poliolefínico amorfo (LDPE) y polímero particular

que se constituye por la combinación de polietileno de baja densidad y etil-vinil-acetato(EVA). El análisis obtenido mediante el cálculo de deformación resiliente con el software BISAR 3.0 y la aplicación del modelo NCHRP arrojó una reducción significativa en la profundidad de los surcos adicionando estos dos polímeros, mejorando la resistencia, el surco a medida que aumentaba el contenido de aditivo los surcos producidos por fatiga iban disminuyendo.

En el estudio de (Yaowarat et al., 2021) utilizan látex de caucho natural (NRL) como un aditivo “verde” para mejorar las propiedades de resistencia a la flexión de los pavimentos de hormigón.

En el estudio usaron varias relaciones de agua-cemento (w-c), contenido de caucho seco-cemento (r-c) y tiempos de curado. Para el análisis de datos usaron microscopia electrónica (SEM) y rayos X de dispersión de energía con los que examinaron el desarrollo de resistencia mecánica del hormigón. Los resultados arrojaron que la resistencia a la compresión disminuyó al aumentar la relación de caucho seco-cemento en todas las relaciones y tiempos de curado, mientras que las resistencias a la flexión más altas se encontraron r-c=0.58%, 1.16% y 1.73% para w-c=0.3, 0.4 y 0.5, al final se plantea el gráfico de diseño de mezcla para efectivo basado en hormigón NRL Anexo 2, Que facilita la determinación del ingrediente de mezcla efectivo basado en la operación, costo de material que cumplan los criterios económicos y de ingeniería.

Para la baja durabilidad de los pavimentos muchas veces es debida a la temperatura que afecta directamente la estabilidad de este, en el artículo de (Lu et al., 2022) propone un asfalto modificado con polímeros como el poliuretano (PU) evaluando y analizando con pruebas a micro y macro. Los resultados de este asfalto modificado muestran que los polímeros estabilizan a altas y bajas temperaturas, las propiedades microscópicas y mecánicas macroscópicas mostraron que la adición del prepolimero PU ofreció picos de absorción a 3481 cm<sup>-1</sup> lo que sugiere que se forman nuevos grupos por reacción química proporcionando la uniformidad consistente.

En general, la literatura indica que la inclusión de los geosintéticos en las bases de los pavimentos mejora el rendimiento al reducir la formación de surco o la presión vertical como lo evidencia (Robinson & Howard, 2021) que da a conocer en su artículo que se requiere una evaluación de activos existentes para el pavimento y una metodología de diseño, para lograr este objetivo se realizó una serie de pasos. En primer lugar, se debe realizar una revisión de espesor del pavimento de servicio y la resistencia de este, en segundo lugar, una revisión de las metodologías de diseño actuales de los geosintéticos para caracterizar adecuadamente los procesos de implementación en el pavimento y, por último, determinar la evolución de las condiciones esperando una mejora en el desempeño y si es financieramente viable. Los resultados indicaron que los geosintéticos proporcionan una mejora significativa en el desempeño de los pavimentos, ya que, la inclusión de estos en los pavimentos ofrecería una prolongación de la vida útil, el diseño de este, otro aspecto relevante es que se ofrecería una reducción en el espesor de los agregados de las capas atribuida a la inclusión del geosintéticos al reforzar la base.

## 5. Planteamiento del problema

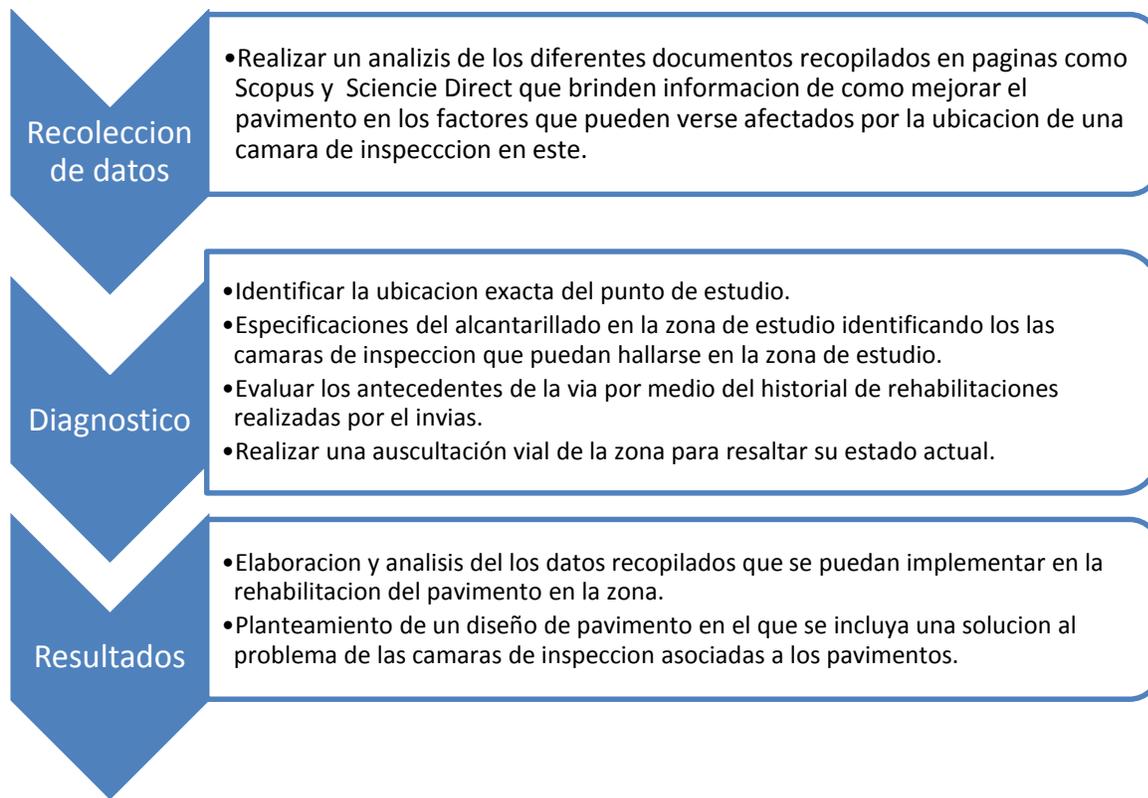
En Bogotá es recurrente ver afectaciones en la malla vial en partes donde se encuentran las cámaras de inspección, conocidas como alcantarillas según un boletín emitido por el INVIAS el 15% de la malla vial se encuentra en mal estado, de este 15% los medios de comunicación local informan que . Más de “350 kilómetros de red de alcantarillado se califican como críticos por el estado de deterioro”, (Tiempo, 2020) lo cual se suma a la problemática de la vía ya que este sistema termina contribuyendo las afectaciones en la estructura vial por filtración de agua.

El propósito inicial de este proyecto es presentar las posibles alternativas de mejoramiento de los niveles de filtración que se genera en las estructuras de pavimento cercanas a estos elementos de captación de aguas lluvias en las vías (alcantarillado o boxculvert) en la carrera 19c con calle 48 c sur. La importancia se fundamenta en la solución de una afectación vial que acoge los visitantes de la zona, este al ser un sitio de recreación hace que sea una zona de gran aforo vehicular, una vía en buenas condiciones de transpirabilidad compone un factor de seguridad y desembotellamiento, Durante los últimos años el instituto de Desarrollo Urbano (IDU, 2005) explico que el costo por reparar un hueco depende del tamaño y profundidad, que se promedia en 1 millón (COP) no siempre resulta ser una solución permanente y a la larga aumenta los costos para mantener la vía, nada de esto pasaría si se pudiera implementar una rehabilitación que mejorara las propiedades del pavimento. Por esto surge la necesidad de la recolección de información por medio de esta monografía para poder seleccionar el método que mejore este tramo de vía.

## **6. Metodología**

Para cumplir con los objetivos del proyecto y su correcto desarrollo es fundamental realizar un análisis de manera detallada de todos los aspectos que envuelven la zona, ubicación, antecedentes de la vía, rehabilitaciones anteriores, información referente a las cámaras de inspección y una visita a la zona para examinar los daños mediante una evolución visual con el fin de cuantificar y poder proponer según los resultados las alternativas tomadas del estado del arte que se puedan implementar en el pavimento.

Figura 9 *Etapas de la metodología.*



Fuente: Elaboración propia

## 7. Resultados y Discusión

### 7.1. Identificación del caso de estudio

En este punto se procede a Georreferenciar la zona para tener una exacta ubicación de la zona de estudio por medio de la página del IDU y plasmadas en la Figura 10, obteniendo que está ubicada en la localidad de Tunjuelito-barrio San Carlos-Latitud 4 34'14.659" Longitud -74 7'44.479".

Figura 10 *Georreferencia de la zona de estudio*



Fuente: Tomada (García, 2009).

Código de la vía (CIV)

6001294

Longitud afectación

14 mts

Figura 11 *Ubicación de alcantarillado en la zona de estudio*



Fuente: tomada de (Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá, 2020a)

Tabla 6 *Especificaciones de las cámaras de recolección de la zona de estudio*

Nombre del tramo	A-FU-S-INTSUR-309	
Tipo UGA	Pluvial	Sanitario
Coefficiente de escorrentía	0.62	0.62
ESTADO DE LA RED	EN SERVICIO	
Materiales	Asbesto cemento	

Fuente: Adaptado de (Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá, 2020b)

## 7.2. Antecedentes de la Zona de estudio

Mediante la presentación del historial fotográfico expuesto en la tabla 7. Se muestra una serie de problemas como : incidencias en la capa asfáltica, fallas reiterativas y sin una solución contundente, presuntamente se podrían relacionar a las cámaras de inspección que están en funcionamiento en la zona.

Tabla 7 *Historial se Fallas presentadas en la zona en los últimos 10 años*

	<p>Octubre 2012</p> <p>Se evidencia un conjunto de patologías cercanas a las dos cámaras de inspección como grietas longitudinales y transversales, perdida de la capa de rodadura y daños superficiales.</p>
---	---

Fuente: tomadas de (Google, 2022).



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Octubre 2013

En el 2013 se observa las mismas patologías en esta zona y al no haber datos concretos en los organismos encargados del mantenimiento vial se intuye que no se le realizó ningún tratamiento.



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Febrero 2014

Para el 2014 Se evidencia un estado crítico en la afectación de la capa asfáltica quedando a la vista la pérdida total de esta en tramos de la vía dejando al descubierto ya la capa inferior (base).



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Febrero 2015

El daño para este año se podría catalogar como medio según (INVIAS,2006), en su clasificación de daños, si bien presenta pérdida de material asfáltico por pulimiento de agregado (Pu), es menor el daño a años anteriores.

---



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Octubre 2017

Para este año las condiciones de la vía empeoran nuevamente a pesar de parcheos realizados anteriormente mostrando la misma tendencia, estar secanos a la cámara de inspección



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Diciembre 2018

En este año se presenta parcheo(PCH), deformaciones, pérdidas de capas, baches y fisuras longitudinales



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Marzo 2020

Bache de gran dimensión a una distancia de 1m de la cámara de inspección.



Fuente: tomadas de (Google, 2022).

Agosto 2021

Para el 2021 el estado de la capa asfáltica se evidencia nuevamente en un estado crítico manteniendo el mismo historial de ubicación de estas fallas, presentarse

---

cerca de la cámara de  
inspección

---

**Fuente :** Elaboración propia.

El estado de la capa asfáltica como se puede ver en las fotografías anteriores, evidencian que, por más de 10 Años a pesar de intervenciones ya realizadas por organizaciones como el instituto de Desarrollo Urbano IDU, INVIA y el UVM como se muestra en la tabla 8, no se ha generado una solución clara a las afectaciones de dicha zona en concreto por lo cual partiendo de la idea de que, el pavimento se diseña según (Kutz, 2011) “Un pavimento de calidad debe tener un periodo de servicio de al menos 8 años” algo que no se cumple en la zona de estudio por no tener en cuenta estas cámaras que directamente están afectando el periodo de vida útil del pavimento.

Tabla 8 *Intervenciones Realizadas por el INVIAS*

AÑO	LOCALIDAD	CIV	EJE	INICIAL	FINAL	TIPO DE INTERVENCIÓN
2016	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Parcheo
2017	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Sin intervención
2018	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Sello de Fisuras
2019	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Sello de Fisuras
2020	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Cambio de Carpeta
2021	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Cambio de Carpeta
2022	Tunjuelito	6001294	KR19C	CL54SUR	CL48CSUR	Parcheo

Fuente: Facilitado por (UMV, 2022).

### 7.3. Auscultación de la vía ubicada en la carrera 19c con calle 48 c sur

Nos desplazamos hacia el lugar de estudio para inspeccionar el estado actual de la vía, esta evaluación visual se definiría como la observación en donde se toman fotografías de su estado partiendo de que, en el mes de febrero según datos suministrados por (UMV, 2022) se le realizó un parcheo y sello de fisuras, al día en que se toman (10-septiembre-2022) donde con tan solo seis meses de su último mantenimiento ya presenta fallas como quedan demostradas desde la figura 13 hasta la figura 18 y explicadas en la tabla 9.

Tabla 9 *Fallas Presentadas en la zona.*

Figura	Tipo de falla	Causa
Figura 13	Piel de cocodrilo	Cargas repetidas de tránsito, espesor de estructura inestable, deformación de la subrasante
Figura 14	Grietas longitudinales y transversales	Asentamiento de base o subrasante, falta de apoyo de la losa.
Figura 15	Grietas en pozos y sumideros	Variación de la distribución de esfuerzos por la presencia de pozos, volviendo a la zona vulnerable a fallas
Figura 16	Sello de fisuras	Método de solución a las grietas longitudinales y transversales
Figura 17	Piel de cocodrilo	Cargas repetidas de tránsito, espesor de estructura inestable, deformación de la subrasante
Figura 18	Grietas en pozos y sumideros	Asentamiento de base o subrasante, falta de apoyo de la losa.

Fuente: Datos adaptados de (INVIAS, 2006b) “*ficha técnica de deterioros*”.

Figura 12 *Piel de cocodrilo, Pulimiento de agregado “Pavimento flexible”*



Fuente: Autoría propia.

Figura 13 *Grietas longitudinales y transversales “pavimento rígido”*



Fuente: Autoría propia.

Figura 14 *Sello de fisuras, Grietas en pozos y sumideros "pavimento regido"*



Fuente: Autoría propia.

Figura 15 *Sello de fisuras "pavimento flexible"*



Fuente: Autoría propia.

Figura 16 *Piel de Cocodrilo, sello de fisuras "pavimento flexible"*



Fuente: Autoría propia.

Figura 17 *Grietas en pozos y sumideros, piel de cocodrilo “pavimento flexible”.*

Fuente: Autoría propia.



Los resultados obtenidos de la visita en la zona plasmados en la tabla 10 nos indican el tipo de daño en la vía, su severidad clasificada en baja, media y alta según el manual de inspección visual del INVIAS, y por último el área de afectación.

Tabla 10 *Área de daño total.*

Código vía (CIV)	Tipo de daño	Severidad	Longitud	Ancho	Área
6001294	Piel de cocodrilo (PC)	Alta	3.40m	2.50m	8.5m <sup>2</sup>
6001294	Grietas en pozos y sumideros	Media	1.80m	1.80m	3.24m <sup>2</sup>
6001294	Sello de fisuras	Baja	4.1m	3.11m	12.751m <sup>2</sup>

Fuente: Elaborado a partir del numeral 4.1.2 (INVIAS, 2006a).

#### **7.4. Diseño de pavimento para implementación en la zona de estudio**

Es importante aclarar que el método de diseño que se seleccionó fue la incorporación de los geosintéticos en maya Biaxiales. Esta se adicionará en la base del pavimento para estabilizar las zonas en las que se encuentre las cámaras de inspección y a su vez cubrir estas con la misma para ofrecer además de resistencia una capa que permita impermeabilizará estas cámaras.

#### 7.4.1. Variables de diseño

- Transito promedio anual

Según el manual de diseño geométrico del INVIAS. Para la unidad de tiempo de los volúmenes de tránsito se deben usar el volumen de tránsito anual o el volumen de tránsito promedio.

Tabla 11 *Transito promedio diario semanal*

Día	Automóvil	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
Lunes	6950	470	40	150	6	2	0
Martes	5850	404	42	128	10	0	1
Miércoles	5150	420	46	114	6	1	0
Jueves	4980	470	47	58	7	0	0
Viernes	5700	490	61	98	5	0	0
Sábado	6980	420	39	48	1	0	0
Domingo	7200	479	51	37	4	0	0
TPDS	6115.71429	450.428571	46.5714286	90.4285714	5.57142857	0.42857143	0.14285714

Fuentes: Autoría propia.

- Estimación de tasas de crecimiento anual de transito

Se puede inferir una tasa de crecimiento anual del 10% tomando valores de diseños anteriores garantizando una mayor certeza para las condiciones iniciales de la misma.

Tabla 12 *Transito promedio diario mayorado 10%*

Día	Automóvil	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
Lunes	6950	470	40	150	6	2	0
Martes	5850	404	42	128	10	0	1
Miércoles	5150	420	46	114	6	1	0

Jueves	4980	470	47	58	7	0	0
Viernes	5700	490	61	98	5	0	0
Sábado	6980	420	39	48	1	0	0
Domingo	7200	479	51	37	4	0	0
TPDS	6115.71429	450.428571	46.5714286	90.4285714	5.57142857	0.42857143	0.14285714
Crecimiento del 10%	6727.28571	495.471429	51.2285714	99.4714286	6.12857143	0.47142857	0.15714286

Fuente: Autoría Propia.

- Factor de deterioro por tipo de vehículo.

Para calcular el factor de daño que ocasionaría cada tipo de vehículo se implementara los ya encontrados por la universidad del cauca, este es el factor camión que solo tiene en cuenta la incidencia de daño por camión según su distribución.

$$FCC = \frac{\sum \%C * Fe}{\sum \%C}$$

$$FC = \frac{91.15 * 1.14 + 6 * 0.76 + 2.85 * 3.44}{100} = 1.18$$

- Numero de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño

$$N = TPDs * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} * 365 * (1 + r)^n - \frac{1}{\ln(1 + r)} * FC$$

$$N = 7379 * \frac{92\%}{100} * \frac{6\%}{100} * 365 * (1 + 4\%)^{10} - \frac{1}{\ln(1 + 4\%)} * 1.18$$

$$N = 1.543.494$$

Tabla 13 Numero de ejes equivalentes para el periodo de diseño

Periodo de Dieño	N	Nivel del transito
10 años	1,543.494	T2

Fuente: Elaboración propia.

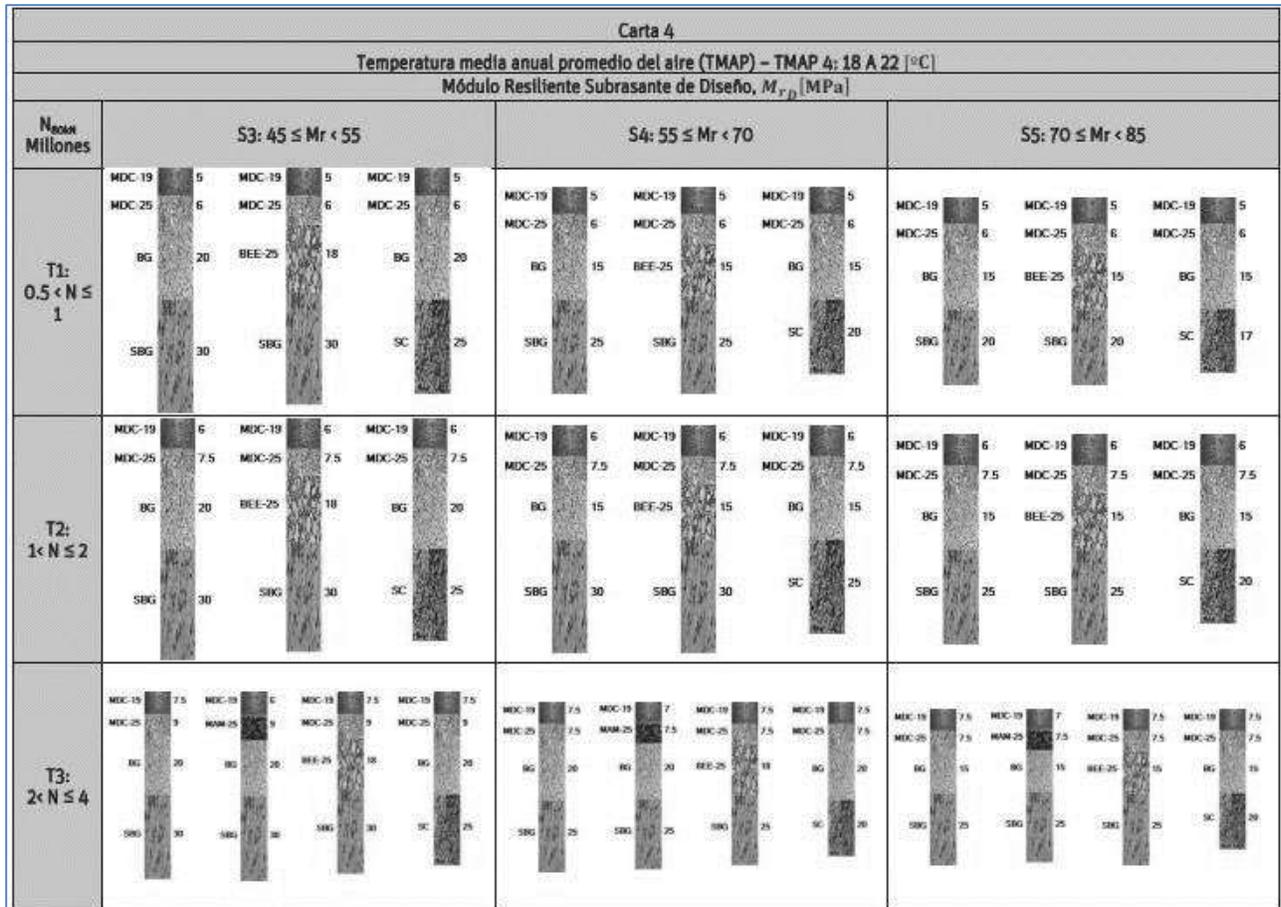
Según los resultados obtenidos podemos clasificar la via en nivel de transito tipo T2.

- Factores geotecnicos de la zona

Según los datos suministrados por la unidad de mantenimiento vial (UMV, 2022) encontramos informacion detallada del CBR y modulo resiliente obteniendo un CBR del 6.9% Y un modulo resiliente de 10350 psi.

- Según los datos anteriormente nombrados se obtubieron tres posibles diseños para el pavimento que se acomodan a los criterios necesarios para poder implemeta la geomaya en este.
- Temperatura media anual de la zona =15 °C
- 

Figura 18 *Propuesta de diseño para la zona*



Fuente: Metodo ASSHTO (Officials, 2004).

- Calidad de materiales para el pavimento

Por recomendación de la guía AASHTO, los modulos de las capas de subbase y base granular se estipulan en la tabla 15

Tabla 14 Guía ASSHTO

CAPA	CBR (%)	Mr. (Psi)
Subrasante	6.9	6000
Subbase granular	30	15000
Base	80	28000
Capa de rodadura		390000

Fuente: AASHTO.

- Espesores de la estructura de pavimento

Tabla 15 *Capas con y sin refuerzo de Geomalla*

Alternativas		
Capa	Método AASHTO	Geomalla Biaxial
	Sin refuerzo	
Subbase	68 cm	55 cm
Base	27.94 cm	15.24 cm
Capas de rodadura	11 cm	11 cm
Total	106.94 cm	81.24 cm

Fuente : Autoría propia.

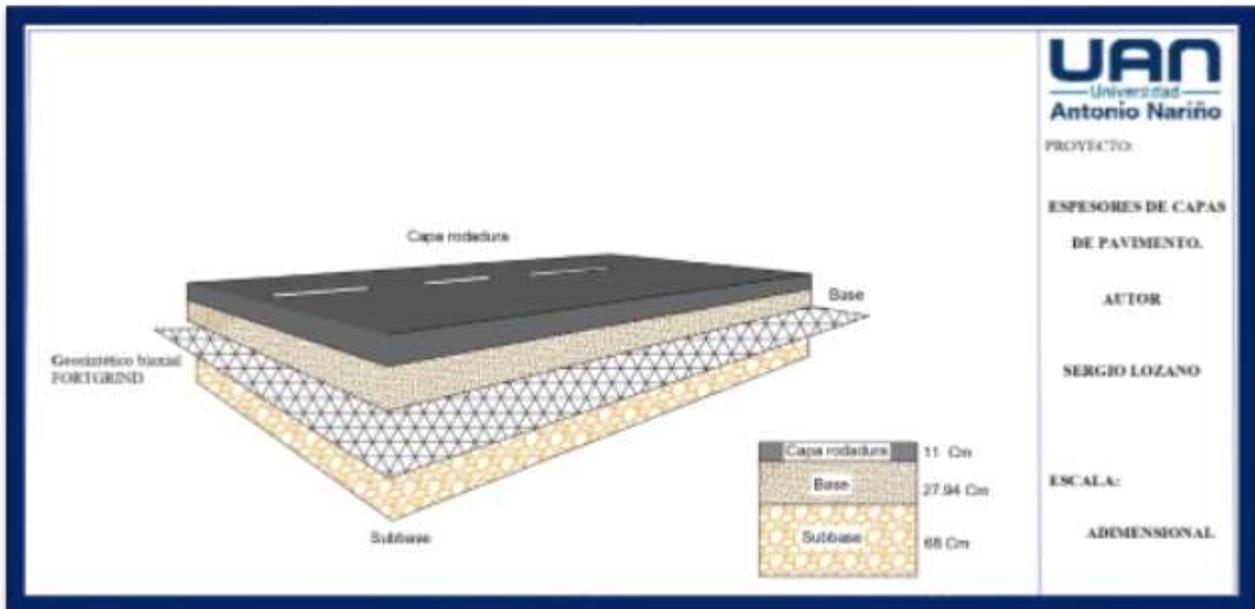
- Geosintético usado

En este apartado se escogió el geosintético biaxial FORTGRIND debido a los beneficios que esta geomalla ofrece.

- Aumento en la capacidad de distribución de esfuerzos de la estructura
- Incremento de la capacidad de soportar cargas dinámicas
- Controla la aparición de deformaciones permanentes
- Durabilidad ante ambientes agresivos que puedan darse en los suelos
- Bajo daño de instalación
- En general se obtiene un aumento de la vida útil de la estructura y reducción de actividades de mantenimiento mejorando la relación costo/beneficio.

Esta geomalla esta esta echa en poliéster de alta calidad con un peso moléculas superior a 2500 g/mol, resistente al desgaste, biológicamente inerte y cuenta con altos estándares de calidad ya que se evaluó bajo la norma de ASTM D 4355.

Figura 19 *Diseño de capas la estructura de pavimento con geosintéticos*



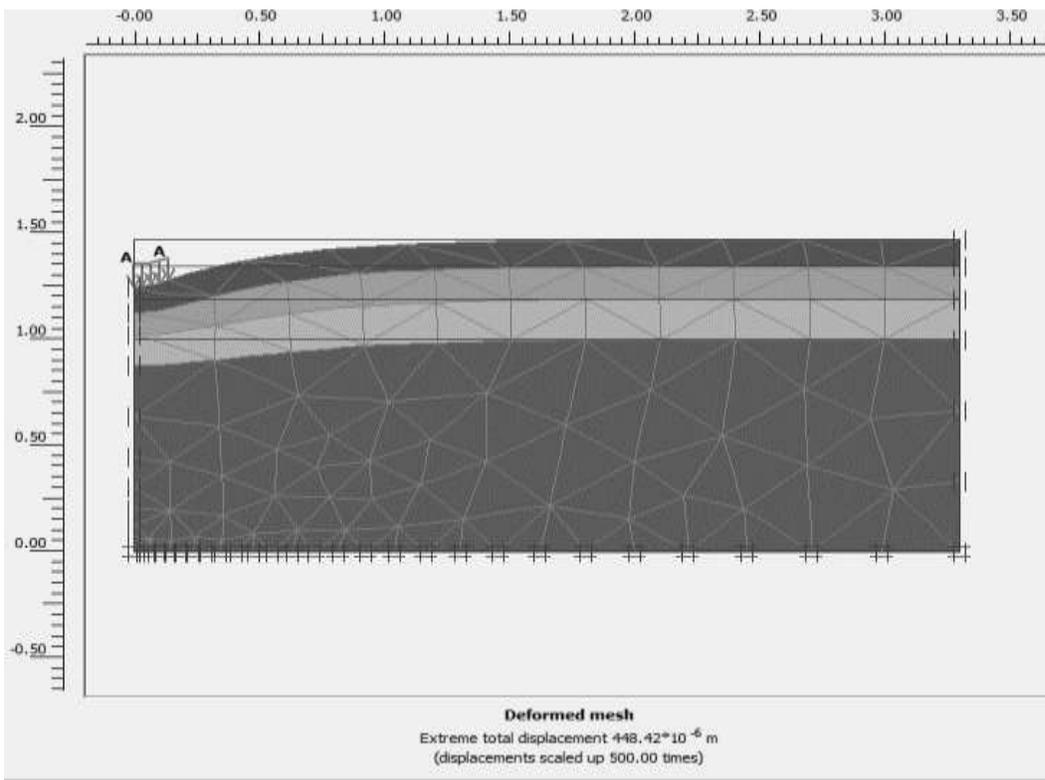
Fuente:Elaboracion propia.

Comparacion de deformaciones presentadas con y sin geosinteticos

Al realizar un analisis de las deformaciones de la estructura se aprecia que para valores muy similares a los que se estan trabajando en este proyecto y sin la implementacion de geosinteticos se produce un desplazamiento de  $458.42 \times 10^{-6}$  m lo que demuestra un pavimento ideal en diseño.

Ubicando el geosintetico en esta pocision de asegura una disminucin de deformacion de 0.445% en relacion con el pavimento que no cuenta con este facilitando el poder reducir los espesores de las capas como anterior mente se mostro en la tabla 15.

Figura 20 Estructura con Geosintético en el centro de la subbase

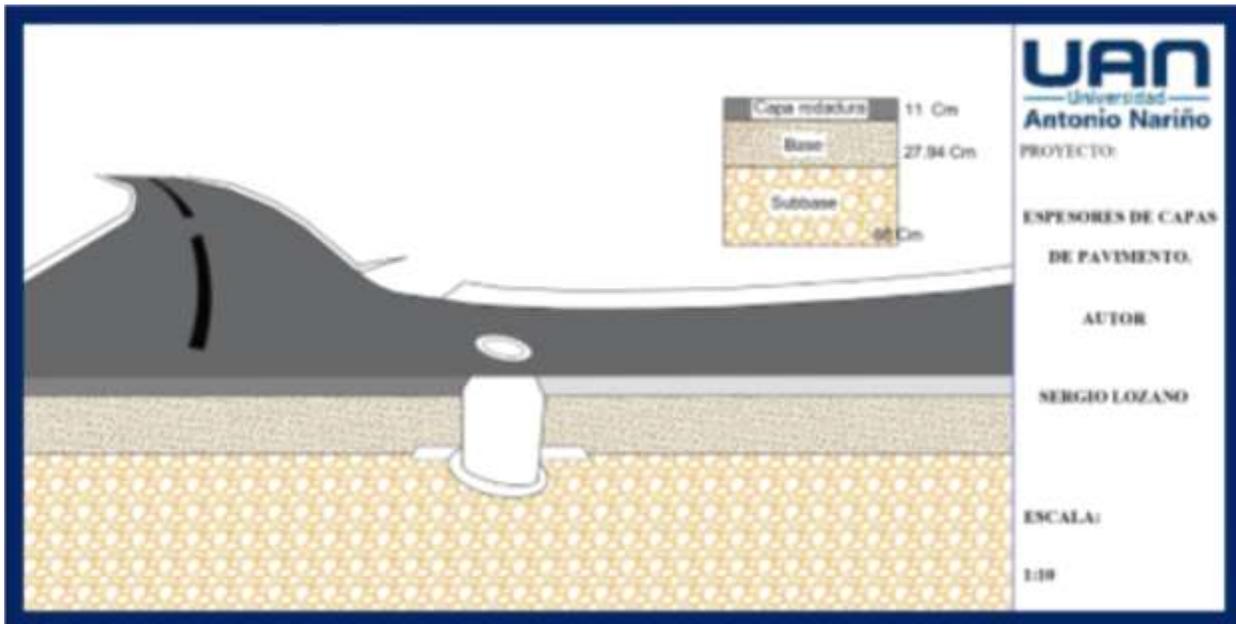


Fuente:elaboracion propia.

- Geomalla implantada en el contorno de la cámara de inspección

Al extender la geomalla en contorno la cámara de inspección se podría, en caso de existir una fuga de esta no afecte la estructura del pavimento, está al confinar el material y no permitir que se produzca un lavado de material subrasante y posterior fallo a razón de filtraciones y inestabilización de la subbase y base en la figura 22 se muestra un plano de como quedara el diseño.

Figura 21 *Diseño de pavimento con geotextiles en la zona.*



Fuente: Elaboracion propia.

## 8. Conclusiones

- Según datos recopilados, los geosintéticos pueden ser usados en diversos métodos para crear una barrera en la subrasante que restringe las posibles filtraciones de agua, deformaciones entre otros problemas que puedan ocasionar las cámaras de inspección a la vía, esta ofrece una efectividad del 12% si se implementa adecuadamente, lo cual reduce la deformación en relación con zonas que no emplean este método.
- En el desarrollo de los resultados se elaboró el diseño del pavimento para el lugar de estudio comprendido en el tramo de la carrera 19c y calle 48c sur, barrio Tunal en donde con la adición del geosintético biaxial FORTGRIND para la rehabilitación, se obtuvo una capa de rodadura con espesor de 11 cm, una base de 28 cm, y una subbase de 68 cm lo que al comparar con diseños pasados, que se implementaron en la zona, se evidencio una disminución de espesores, mejorando su diseño y durabilidad, a largo plazo la implementación de la malla biaxial reduciría los costos de mantenimiento.
- El uso de los geosintéticos en las bases y subbases reducen la aparición de surcos, grietas entre otros daños producidos por inestabilizaciones a causa de las cámaras de inspección.
- Mediante el refuerzo de la subrasante y el contorno de la cámara de inspección con la geomalla Biaxial se puede obtener una mejora significativa de la capacidad portante del suelo y de la resistencia de todas sus capas obteniendo una reducción del 5% en relación a los que no cuentan con esta incorporación.
- La falta de estudios referentes al tema limita el desarrollo de este proyecto y evidencia la necesidad de ahondar en el tema ya que es recurrente ver afectaciones en la malla vial en contorno a las cámaras de inspección

## 9. Anexos

### ANEXO 1 Carta de solicitud de información al UVM



STCST

20223871636611

Información Pública

Al responder cite este número

Dando respuesta a su solicitud, se informa que el 02 de octubre de 2021 se ejecutó el segmento vial ubicado en la Carrera 19 c # 48 c sur, atendiendo el plan de choque de la Administración Distrital, mediante actividades de atención de emergencias contempladas en el ANEXO 1 - ANEXO TÉCNICO, numeral 3.1 las cuales se describen a continuación:

*"...La Atención de Emergencias es la actividad tendiente a mitigar de manera puntual, problemas que afecten la seguridad y la movilidad en la infraestructura de la ciudad. Dentro de esta actividad podrán corregirse fallas localizadas mediante la aplicación de actividades de obra asociadas a conservación por reacción, definidas en el Apéndice A (documento del proceso precontractual) como especificaciones técnicas particulares para programas de conservación por reacción. Así mismo, podrán realizar actividades de mitigación inmediata ante eventos externos tales como inundaciones y derrumbes; o realizar actividades para atender otro tipo de factores que generen problemas de movilidad, tales como: implementación de señalización, instalación de defensas metálicas, reposición de una sección de baranda en un puente, instalación de bolardos, instalación de rejillas de sumideros, tapas de pozos, instalación y/o retiro de otro tipo de elementos de infraestructura, que afecten la seguridad y movilidad vehicular y/o peatonal, entre otros.*

*La Atención de Emergencias se podrá realizar sobre cualquiera de los elementos de la malla vial que soporta el Sistema Integrado de Transporte Público - SITP dentro de la zona objeto del contrato, sin importar si se encuentra priorizado inicialmente o no..."*

A continuación, se presenta el registro fotográfico de la calzada:

Este documento está suscrito con firma mecánica autorizada mediante Resolución No. 400 de marzo 17 de 2021

2

Calle 22 No. 6 - 27  
Código Postal 110311  
Tel: 3399960  
www.ulu.gov.co  
Info: Línea 152  
FD-DO-07\_V9





STCST  
20223871636611

Información Pública

Al responder cite este número



Estado inicial CIV 6001294



Estado final CIV 6001294

Es importante mencionar que el contrato 1699-2020, terminó su ejecución el día 09 de junio de 2022, por lo cual no es posible realizar actividades de ejecución de ningún tipo.

Esperamos que estas aclaraciones hayan sido de su total satisfacción y agradezco su interés reiterando una vez más la voluntad de servicio y atención a todo requerimiento ciudadano, fundamento que orienta la gestión del IDU; de igual forma estaremos pendientes en caso de requerir cualquier complemento a nuestra respuesta.

Cordialmente,

**Oscar Rodolfo Acevedo Castro**

Subdirector Técnico de Conservación del Subsistema de Transporte

Firma mecánica generada en 05-10-2022 06:58 AM

Elaboró: Lady Catherine Restrepo Avila-Subdirección Técnica De Conservación Del Subsistema De Transporte

*Este documento está suscrito con firma mecánica autorizada mediante Resolución No. 400 de marzo 11 de 2021*

3

Calle 22 No. 6 - 27  
Código Postal 110311  
Tel: 5386660  
www.kia.gov.co  
Info: Línea 105  
FO.DD-07\_V9



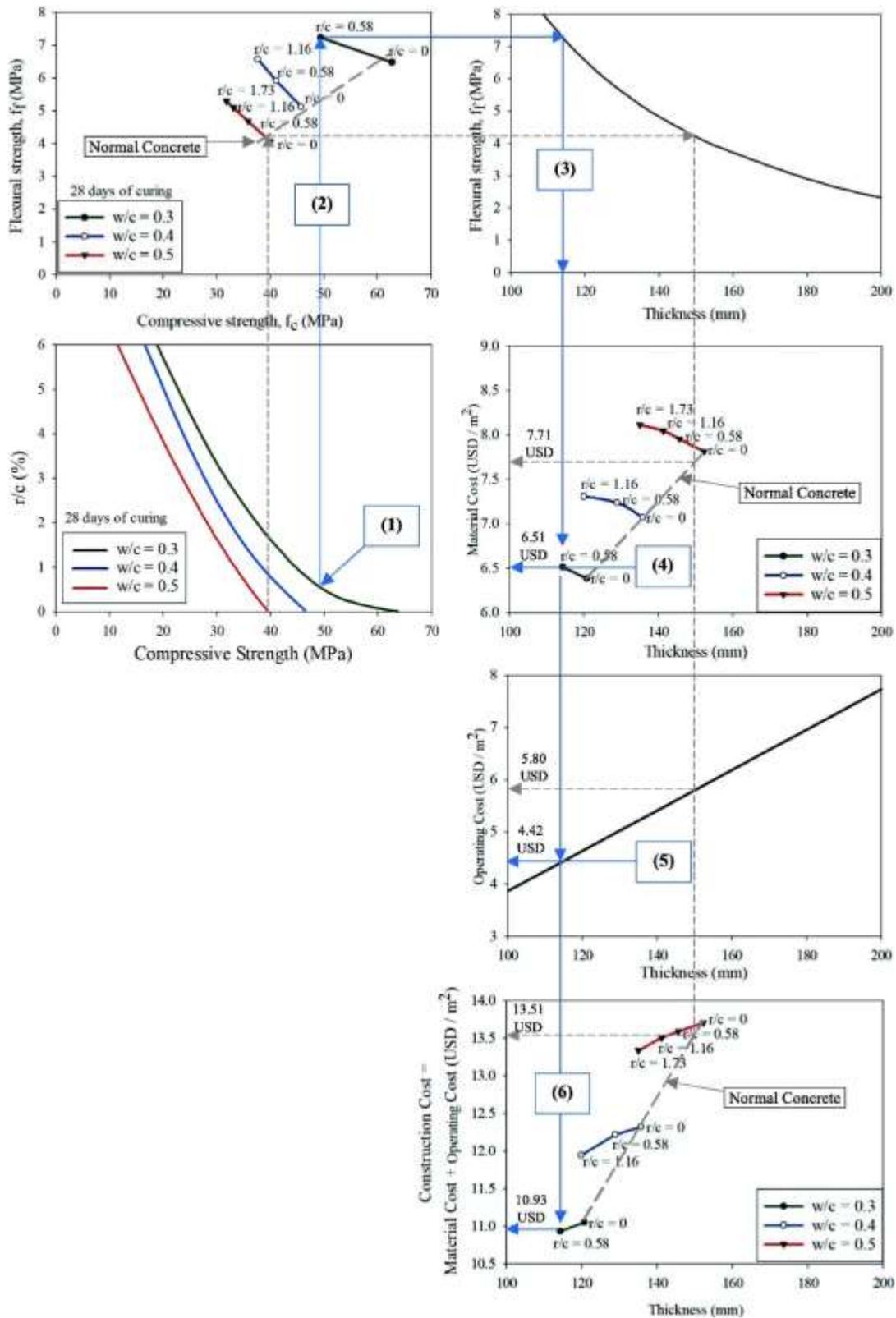
ISO 22301  
I.C. Contribuyente  
971147



Instituto de  
Desarrollo  
Urbano



ANEXO 2 Tabla de diseño de mezcla para hormigón NRL.



## 10. Referencias Bibliográficas

- Abu Abdo, A. M., & Jung, S. J. (2020). Investigation of reinforcing flexible pavements with waste plastic fibers in Ras Al Khaimah, UAE. *Road Materials and Pavement Design*, 21(6), 1753–1762. <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1566086>
- Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá. (2020a). *Sistema de Información Geográfico EAB*. DITG- EAB-ESP. <https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000>
- Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá. (2020b). *Sistema de Información Geográfico EAB*. DITG- EAB-ESP. <https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000>
- ALICARESP. (2019). *CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTO RÍGIDO - INGENIERÍA CIVIL*. <http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/>
- Andres David Mora Cano, & Camilo Alberto Arguelles Saenz. (2015). *DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA LA URBANIZACION CABALLERO Y GONGORA, MUNICIPIO DE HONDA-TOLIMA ING. ANDRES DAVID MORA CANO ING. CAMILO ALBERTO ARGÜELLES SAENZ UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA ESPECIALIZACION EN INGENIERIA D.*
- Brockenbrough, R. L. (2009). *5. culverts, drainage, and replacements for bridges*. 855.

Brovelli, C., Crispino, M., Pais, J., & Pereira, P. (2015). Using polymers to improve the rutting resistance of asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 77, 117–123. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.12.060>

CHAPARRO PÉREZ, Jhon Jairo, HERRERA NEIRA, M. (2009). *Diseño y construcción de un sistema hermético de inspección para acueducto, alcantarillado y pozos profundos, para proactiva aguas de Tunja S.A. E.S.P.*

Colombia, C. (2022). *Sub Base Granular | CEMEX Colombia.*

<https://www.cemexcolombia.com/productos/agregados/sub-base-granular>

CONSTRUNEIC. (2022). ▷ *Que es un PAVIMENTO FLEXIBLE ? ? Tipos y características.* CONSTRUNEIC. <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-flexible/>

Daniela Andrade et al. (2020). Revisión de las metodologías de evaluación y tipos de rehabilitación de las patologías presentes en pavimentos flexibles. En *Facultad de Ingenierías, Universidad Cooperativa de Colombia Ingeniero.*

Daoulas, J., Elfino, M., Nair, H., & Nelson, S. (2011). Forensic investigation and remediation of pavement performance affected by groundwater seepage. *Transportation Research Record*, 2212, 65–73. <https://doi.org/10.3141/2212-07>

Del Castillo, R. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y ...* - Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo del Castillo - Google Libros. La ingeniería de suelos en las Vías terrestres, carreteras, ferrocarriles y aeropistas. <https://books.google.com.co/books?id=d042vJAKVK8C&pg=PA122&dq=tipos+de+p>

avimentos+flexibles&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjiurGnipP6AhVIRzABHT6dAds  
Q6AF6BAGLEAI#v=onepage&q=tipos de pavimentos flexibles&f=false

Design, P. (2012). *Pavement and pipeline design 11*.

Do, T.-T., Nguyen, D.-L., Tran, V.-T., & Tai Nguyen, H. T. (2020). Effects of Forta-fi Fiber on the Resistance to Fatigue of Conventional Asphalt Mixtures. *2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, 312–316. <https://doi.org/10.1109/GTSD50082.2020.9303123>

EPM. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM*.

EPM. (2017). *INFRAESTRUCTURA DE REDES DE ALCANTARILLADO NC-AS-IL02-12 CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA NORMA DE CONSTRUCCIÓN DE CAMARAS DE CAÍDA*.

Gao, D., & Huang, C. (2011). The experimental research on the influence of cellulose fiber to different types of asphalt mixture. *2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, ICETCE 2011 - Proceedings*, 2741–2744. <https://doi.org/10.1109/ICETCE.2011.5775767>

García, E. (2009). *sistema de Informacion Geografica: ArcGis*. 68–70.

IDU. (2005). Instituto de Desarrollo Urbano. *Boletín de Prensa, 040*, 1–15.

INVIAS. (2006a). *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras convenio interadministrativo 0587-03 manual para la inspección visual de puentes y pontones república de Colombia ministerio de transporte instituto nacional de vías*. 1–30.

INVIAS. (2006b). *FICHAS DE DETERIORO*.

Kutz, M. (2011). PAVEMENT ENGINEERING I: FLEXIBLE PAVEMENTS. En R. W. Eck (Ed.), *Handbook of Transportation Engineering, Volume II: Applications and Technologies*. McGraw-Hill Education.

Lina, M. (2012). *DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO*.

Lu, P., Ma, Y., Ye, K., & Huang, S. (2022). Analysis of high-temperature performance of polymer-modified asphalts through molecular dynamics simulations and experiments. *Construction and Building Materials*, 350, 128903.  
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128903>

M. Berkovitz R. Ahmed, P. D. J. C. R. W. (2019). Pavement Design and Rehabilitation Guideline. *City of Toronto, Second Edition*, 79.

Ministerio de Transporte de Colombia. (2006a). *Estudio e investigacion del estado actual de las obras*.

Ministerio de Transporte de Colombia. (2006b). Estudio e investigacion del estado actual de las obras. *CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 0587- 03*, 65.

Officials, A. A. of state highway and T. (2004). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington, DC. En *American Association of state highway and Transportation Officials*. The Association.

Pandey, P., Hossain, M. D. S., & Ahmed, A. (2021). Performance evaluation of modified moisture barrier in mitigating expansive soil associated pavement distresses. *Transportation Geotechnics*, 31, 100667.

<https://doi.org/10.1016/J.TRGEO.2021.100667>

Rafiq, W., Humair, M., Napiah, M. Bin, Sutanto, M. H., Musarat, M. A., & Memon, A. M.

(2020). Performance Evaluation of Rutting and Moisture Damage containing Warm Mix Asphalt Mixtures with Recycled Asphalt pavement. *2020 2nd International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9319960>

Ramirez, C. G. (2018). *Beneficios de los proyectos viales en la comunidad*. Ramirez,

Carlos Gustavo. <https://www.larepublica.co/infraestructura/beneficios-de-los-proyectos-viales-en-las-comunidades-2043058>

Rico Rodríguez, Alfonso, autor. (2011). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres* (p. 159 páginas).

Robinson, W. J., & Howard, I. L. (2021). Implications of incorporating geosynthetics in airfield pavements. *Transportation Geotechnics*, 28, 100533.

<https://doi.org/10.1016/J.TRGEO.2021.100533>

Rondon Quintana, H. A., Fernandez Gomez, W. D., & Fuentes P., L. G. (2012).

*Evaluación de Pavimentos Flexibles Generalidades*.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). Pavimentos: Materiales, construcción y diseño - Fredy Reyes Lizcano, Hugo Rondón Quintana - Google Libros. En *Pavimentos - 2da edición: Materiales, construcción y diseño*.

Scopus. (2022). [https://www-scopus-](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/search/form.uri?display=basic&zone=header&origin=record)

[com.ezproxy.uan.edu.co/search/form.uri?display=basic&zone=header&origin=record](https://www-scopus-com.ezproxy.uan.edu.co/search/form.uri?display=basic&zone=header&origin=record)

page#basic

Tiempo, E. (2020). *Siguen los hundimientos viales por daños en el acueducto |Bogota | Caracol Radio.*

[https://caracol.com.co/emisora/2017/12/06/cucuta/1512564351\\_436989.html](https://caracol.com.co/emisora/2017/12/06/cucuta/1512564351_436989.html)

UC, P. U. C. de C. (1999). *La Revista Ingenieria de Construccion.*

UMV. (2022). *Unidad De Mantenimiento Vial - Umv - Quiénes somos.*

UTN, I. C. G., & Leone, I. D. (2017). *Tema: Estructura / Cátedra Ingeniería Civil I / Departamento de Ingeniería Civil. 1–24.*

Wang, C., Zhou, X., Liu, P., Lu, G., Wang, H., & Oeser, M. (2022). Study on pre-compaction of pavement graded gravels via imaging technologies, artificial intelligent and numerical simulations. *Construction and Building Materials, 345*, 128380. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128380>

Yaowarat, T., Suddeepong, A., Hoy, M., Horpibulsuk, S., Takaikaew, T., Vichitcholchai, N., Arulrajah, A., & Chinkulkijniwat, A. (2021). Improvement of flexural strength of concrete pavements using natural rubber latex. *Construction and Building Materials, 282*, 122704. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122704>

Zhang, C. (2016). *La aplicación de asfaltos modificados con TPS en mezclas asfálticas de caucho granulado en migajas | Publicación de la conferencia IEEE | IEEE Xplore.* <https://ezproxy.uan.edu.co:2139/document/5987778/metrics#metrics>

Acueducto. (2022). *POZOS Y CAMARAS DE CONEXION E INSPECCIÓN PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL. CRITERIOS DE DISEÑO.*

Bogota: Subcomite de Diseño - Alcantarillado. Obtenido de

<https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.ns>

Acueducto. (2022). *POZOS Y CAMARAS DE CONEXION E INSPECCIÓN PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL. CRITERIOS DE*

*DISEÑO.* Bogota: Subcomite de Diseño - Alcantarillado. Obtenido de

<https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>

Google. (2022). Obtenido de Google Maps:

[https://www.google.com/maps/place/Ciudad+Tunal,+Tunjuelito,+Bogot%C3%A1/  
@4.5705131,-](https://www.google.com/maps/place/Ciudad+Tunal,+Tunjuelito,+Bogot%C3%A1/@4.5705131,-)

[74.132749,15.78z/data=!4m5!3m4!1s0x8e3f9f3a82a50397:0x230e4eb2ecd9b935!](https://www.google.com/maps/place/Ciudad+Tunal,+Tunjuelito,+Bogot%C3%A1/@4.5705131,-74.132749,15.78z/data=!4m5!3m4!1s0x8e3f9f3a82a50397:0x230e4eb2ecd9b935!)

[8m2!3d4.576485!4d-74.1364747?hl=es](https://www.google.com/maps/place/Ciudad+Tunal,+Tunjuelito,+Bogot%C3%A1/@4.5705131,-74.132749,15.78z/data=!4m5!3m4!1s0x8e3f9f3a82a50397:0x230e4eb2ecd9b935!8m2!3d4.576485!4d-74.1364747?hl=es)

TOVAR, S. (2021). *ANÁLISIS SOBRE LA UTILIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA.*

