

**ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE COLOR EN MUESTRAS DE ASFALTO POR ADICIÓN DE COMPONENTES  
QUÍMICOS**

Rosemberg Duvan Murcia Gerena



Especialización en diseño y construcción de obras de infraestructura y edificaciones, Facultad de

Ingenierías

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2023

**Estudio de la variabilidad de color en muestras de asfalto por adición de componentes químicos**

**Rosemberg Duvan Murcia Gerena**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de especialista en diseño y construcción de obras de infraestructura y edificaciones**

**Director Jose Darío Gavilanes**

**Codirectora Olga Lucia Borda Prada**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Especialización en diseño y construcción de obras de infraestructura y edificaciones, Facultad de**

**Ingenierías**

**Universidad la Gran Colombia**

**Bogotá**

**2023**

### **Dedicatoria**

A Dios por la sabiduría y el respaldo dado en este proceso, a mi madre que es mi fuente de inspiración y motivación, a dos seres que llevo en mi corazón; mi padre y mi Nona María Helena quienes me inculcaron el valor y esfuerzo de cada proyecto.

### **Agradecimientos**

Al Ingeniero Harol Zambrano por su apoyo técnico y su colaboración y a la Ingeniera Nancy Cifuentes por sus asesorías y apoyo continuo.

**Tabla de contenido**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
OBJETIVO GENERAL .....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>17</b>
ANTECEDENTES:.....	17
ASFALTO:.....	18
ASFALTO DE COLOR:.....	19
ASFALTO 60-70:.....	20
ISLA DE CALOR URBANA: .....	21
OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:.....	21
<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO 60-70 COMO MUESTRA PATRÓN .....</b>	<b>23</b>
1.1 ENSAYOS.....	24
1.1.1 DUCTILIDAD (INV E 702-13) .....	24
1.1.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO ANILLO Y BOLA (INV E 712-13) .....	25
1.1.3 PENETRACIÓN (INV E 706-13) .....	26
1.1.4 VISCOSIDAD ROTACIONAL (INV E 717-13) .....	27
1.1.5 DENSIDAD DEL ASFALTO (MÉTODO DE ARQUÍMEDES) .....	29

1.1.6 EFECTO DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA Y ROTATORIA (INV E 720-13) .....	30
<b>CAPÍTULO 2: CAMBIO DE COLOR DEL ASFALTO 60-70 .....</b>	<b>31</b>
2.1 ÓXIDO FÉRRICO.....	31
2.2 HIDRÓXIDO FÉRRICO .....	34
2.3 ÓXIDO DE CROMO III (CR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Y ÓXIDO DE CROMO VI (CRO <sub>3</sub> ).....	36
2.4 SULFATO DE CROMO.....	37
2.5 EMULSIÓN ACRÍLICA .....	38
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO 60-70 .....	39
3.1.1 ENSAYO DUCTILIDAD .....	39
3.1.2 ENSAYO PUNTO DE ABLANDAMIENTO.....	40
3.1.3 ENSAYO PENETRACIÓN.....	41
3.1.4 ENSAYO VISCOSIDAD ROTACIONAL.....	42
3.1.5 ENSAYO DENSIDAD DEL ASFALTO .....	45
3.1.6 ENSAYO EFECTO DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA Y ROTATORIA (RTFO) .....	47
3.2 CAMBIO DE COLOR DEL ASFALTO 60-70 .....	50
3.2.1 DUCTILIDAD ASFALTO ADICIONADO CON ÓXIDO FÉRRICO AL 6 % Y 8 % .....	50
3.2.2 PUNTO DE ABLANDAMIENTO ASFALTO ADICIONADO CON ÓXIDO FÉRRICO AL 6 % Y 8 % .....	51
3.2.3 PENETRACIÓN ASFALTO ADICIONADO CON ÓXIDO FÉRRICO AL 6 % Y 8 %.....	52
3.2.4 DUCTILIDAD ASFALTO ADICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO AL 30 % .....	53
3.2.5 DUCTILIDAD ASFALTO ADICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO AL 80 % .....	54
3.2.6 PUNTO DE ABLANDAMIENTO ASFALTO ADICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO AL 80 % .....	55
3.2.7 PENETRACIÓN ASFALTO ADICIONADO CON HIDRÓXIDO FÉRRICO AL 80 %.....	56
3.3 VARIABILIDAD PUNTO DE ABLANDAMIENTO, DUCTILIDAD Y PENETRACIÓN ASFALTO SIN ADICIONAR VS ADICIONADO .....	58

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>65</b>

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> Especificaciones del cemento asfáltico .....	20
<b>Figura 2</b> Probetas asfalto 60-70.....	23
<b>Figura 3</b> Ductilidad.....	24
<b>Figura 4</b> Punto de ablandamiento .....	25
<b>Figura 5</b> Penetración.....	27
<b>Figura 6</b> Viscosidad rotacional .....	28
<b>Figura 7</b> Densidad del asfalto.....	29
<b>Figura 8</b> Efecto del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada y rotatoria (RTFO).....	30
<b>Figura 9</b> Preparación óxido férrico al 6 %.....	32
<b>Figura 10</b> Tonalidad obtenida asfalto 60-70 por adición de óxido férrico .....	33
<b>Figura 11</b> Tonalidad obtenida asfalto 60-70 por adición de hidróxido férrico al 30 % .....	34
<b>Figura 12</b> Preparación y tonalidad obtenida del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 %.....	35
<b>Figura 13</b> Preparación y reacción del asfalto adicionado con óxidos de cromo III, VI .....	36
<b>Figura 14</b> Reacción del sulfato de cromo al asfalto 60-70 con dosificación del 6 y 8 %.....	37
<b>Figura 15</b> Reacción resultante asfalto adicionado con emulsión acrílica al 8 %.....	38
<b>Figura 16</b> Ductilidad asfalto 60-70.....	39
<b>Figura 17</b> Punto de ablandamiento asfalto 60-70 .....	40
<b>Figura 18</b> Penetración asfalto 60-70.....	42
<b>Figura 19</b> Viscosidad rotacional asfalto 60-70.....	44
<b>Figura 20</b> Ductilidad del asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico al 6 y 8 %.....	50
<b>Figura 21</b> Punto de ablandamiento del asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico al 6 y 8 % .....	51

<b>Figura 22</b> Penetración del asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico al 6 y 8 %.....	52
<b>Figura 23</b> Ductilidad del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 30 % .....	53
<b>Figura 24</b> Ductilidad del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 % .....	54
<b>Figura 25</b> Punto de ablandamiento del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 % .	55
<b>Figura 26</b> Penetración del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 %.....	56
<b>Figura 27</b> Punto de ablandamiento asfalto sin adicionar vs asfalto adicionado .....	58
<b>Figura 28</b> Ductilidad asfalto sin adicionar vs asfalto adicionado .....	60
<b>Figura 29</b> Penetración asfalto sin adicionar vs asfalto adicionado.....	61

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> Tomas ensayo Penetración .....	41
<b>Tabla 2</b> Tomas ensayo Viscosidad rotacional .....	43
<b>Tabla 3</b> Valores registrados densidad del asfalto por el método de Arquímedes.....	45
<b>Tabla 4</b> RTFO antes de la prueba .....	47
<b>Tabla 5</b> RTFO después de la prueba.....	48
<b>Tabla 6</b> Resultados del ensayo de penetración luego de la prueba de RTFO.....	49

### Glosario

- **Aglutinante:** Según Tarelo “Son sustancias que a través de reacciones químicas o físicas tienen la capacidad de unir fragmentos de uno o más materiales, para construir un producto o subproducto compacto de utilidad en el campo de la construcción”.
- **Bituminoso:** Corresponde a los hidrocarburos que se diluyen o calientan para permitir que se mezclen con otros componentes (Tarelo).
- **Óxidos:** Según Calvo “Son compuestos binarios formados por la combinación de un elemento y oxígeno. Entre una clase de óxido se encuentran los óxidos básicos que son formados por la combinación de un metal y el oxígeno”.

### Resumen

Este trabajo investigativo busca cambiar el color a un asfalto convencional mediante la implementación de componentes químicos que generen reacción física al cambio de tonalidad. Se utilizó como material principal un asfalto 60-70 al cual se le realizó una caracterización por medio de los ensayos : punto de ablandamiento, ductilidad, penetración, viscosidad rotacional, densidad por el método de Arquímedes y efecto del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada y rotatoria. Seguidamente, se prepararon asfaltos adicionados con Óxido férrico con dosificaciones del 6 y 8 %, Hidróxido férrico al 30 y 80 %, Óxidos crómicos al 15 y 50 %, Sulfato de cromo al 6 y 8 % y Emulsión acrílica al 8 %. Finalmente, los asfaltos adicionados que presentaron reacción física al cambio de color de manera representativa, se le ejecutaron los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración para así mismo conocer la variabilidad de estas propiedades al instante de cambiar la tonalidad mediante los componentes químicos empleados. Además, se presentaron los análisis y discusión de los resultados obtenidos, las conclusiones producto del desarrollo de este proyecto y una serie de recomendaciones para tener en cuenta en trabajos futuros.

*Palabras clave: Asfalto 60-70, Componentes químicos, Caracterización, Color*

### **Abstract**

This research work seeks to change the color of a conventional asphalt by implementing chemical components that generate a physical reaction to the color change. The main material used was asphalt 60-70, which was characterized by means of test: softening point, ductility, penetration, rotational viscosity, density by the Archimedes method and the effect of heat and air on the asphalt in thin and rotating sheets. Next, asphalts were prepared with ferric oxide at dosages of 6 and 8 %, ferric hydroxide of 30 and 80 %, chromic oxides of 15 and 50 %, chromium sulfate of 6 and 8 % and acrylic emulsion of 8 %. Finally, the added asphalts that showed a representative physical reaction to the color change were subjected to softening point, ductility, and penetration tests to determinate the variability of these properties at the moment of the color change by means of the chemical components used. In addition, the analysis and discussion of the results obtained, the conclusions drawn from the development of this project and a series of recommendations to be taken into account in future works were presented.

*Keywords: Asphalt 60-70, Chemical constituents, Characterization, Color*

## Introducción

El asfalto es un material de construcción implementado desde la antigüedad particularmente por sus propiedades como impermeabilizante. Es considerado un material de construcción para carreteras de muy buenas características que se obtiene como un subproducto de la destilación del petróleo. Su implementación se encamina desde la antigüedad denominado alquitrán, hasta el día de hoy, incluso es usado desde la industria ingenieril hasta la agricultura (Bastidas, Rondón , 2020). Actualmente, la construcción de carreteras conlleva a que se presente un gran desarrollo socioeconómico en las poblaciones. Uno de los factores que hoy en día se estudia, es su color. A nivel internacional se han efectuado investigaciones aplicando nuevas tecnologías para mejorar las condiciones de color, sin que se vea afectados parámetros como la resistencia y adherencia entre otras. Así mismo, los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) establecen una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental. Por lo cual los ODS en infraestructura buscan promover el uso de materiales que sean ambientalmente sostenibles.

A nivel internacional, los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en infraestructura apuntan a tener materiales que sean ambientalmente sostenibles (Cepal-ONU, 2018). Así mismo, desde visión cero, se pretende desarrollar el uso de tecnologías para minimizar los riesgos de accidentalidad vial en determinadas zonas del país con la aplicación de estas (secretaria de Movilidad, 2017). De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta el desarrollo de la infraestructura en Colombia, actualmente la construcción de vías conlleva a que se presente un gran desarrollo socio económico en el país.

Resultados de estudios demuestran que la implementación del asfalto de color mitiga fenómenos que se presentan en las vías, particularmente la isla de calor urbana (ICU) puesto que investigaciones realizadas a nivel internacional han indicado que las superficies en asfalto pueden llegar a generar un 20 % de absorción de la radiación solar debido al color natural que tiene el asfalto, lo cual crea una problemática en contaminación ambiental por el aumento de la ICU, ya que al tener mayores temperaturas urbanas, la infraestructura funciona como catalizador de reacciones de gases de combustión presentes en la atmósfera, incrementando el calentamiento global y ocurrencia de lluvia ácida (Correa, Flores, Lesino , 2003). Así mismo, el uso de asfalto de color que han realizado en otros países ha permitido según estudios minimizar los accidentes viales, debido a que el color en este hace que tramos de vías no señalizadas sean más visibles por lo tanto son más seguras (Ryosuke, Tomoyuki, Yasuhiro, 2011). Adicionalmente, los asfaltos pigmentados realzan la estética del entorno en coherencia con la arquitectónica, fortaleciendo la identidad de la ciudad. (Autelitano, 2021).

En Colombia, investigaciones de este tipo son incipientes y al implementarlas en nuestro territorio pueden ser de un gran alcance social, permitiendo minimizar los efectos de calor y accidentes viales, generando para los usuarios de las vías unas condiciones seguras. De acuerdo con lo anterior, se propone indagar sobre la adición de componentes que le permitan cambiar la tonalidad al asfalto convencional, esto se realizará a nivel de laboratorio mediante una serie de ensayos experimentales, buscando implementar nuevas tecnologías sostenibles que minimicen la tasa de accidentalidad vial y la acción del cambio climático en Colombia. Para lo cual se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo a partir de la adición de componentes químicos se puede cambiar el color de un asfalto convencional?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar que adición y componentes químicos cambian el color de un asfalto 60-70, verificando el cambio de parámetros mecánicos ya establecidos.

### **Objetivos Específicos**

Determinar la caracterización del asfalto 60-70 como muestra patrón, teniendo en cuenta su composición y siguiendo la normativa técnica por medio de la realización de ensayos experimentales.

Comprobar mediante ensayos de laboratorio el cambio de color del asfalto 60-70, junto con los parámetros mecánicos resultantes.

Explicar los resultados obtenidos en los laboratorios para la obtención de las tonalidades del asfalto y sus parámetros mecánicos.

## Marco referencial

### Antecedentes:

Los investigadores Jiaqing Wang, Qiang Li, Guanwei Song, Sang Luo, Dongdong G, realizaron un proyecto titulado “Investigación sobre la durabilidad integral y las propiedades de interfaz de la superposición de pavimento ultra fino coloreado”, el cual fue presentado en el 2022; este artículo consiste en la preparación de un recubrimiento de pavimento ultra fino coloreado con un aglutinante a base de resina y agregados cerámicos coloreados artificiales, en el cual se evaluó la resistencia a la pérdida de color de la superficie del pavimento ultra fino, donde se ve afectada por el espesor del aglutinante y las propiedades de dispersión del agregado. Adicionalmente, con base al artículo se obtuvo que la superposición ultrafina de color puede desempeñar un papel importante en el enfriamiento de la temperatura de toda la estructura del pavimento, reduciendo efectivamente la temperatura entre 5-6 °C respecto a la estructura del pavimento convencional.

El proyecto denominado “¿El pavimento de color hace que las intersecciones no señalizadas sean más seguras?” Un estudio de caso en Japón de los profesores Ryosuke Ando, Tomoyuki Inagaki, Yasuhiro Mimura, presentado en el año 2011, establece la aplicación de una contramedida (pavimento de color) para mejorar la seguridad vial en las intersecciones en una zona de estudio en Japón. Busca evaluar los efectos del pavimento de color para la seguridad vial en la intersección no señalizada en una zona residencial con base al método de análisis estadístico “Teoría de cuantificación II”, el cual se basa en las perspectivas de usuarios (automóviles, bicicletas y peatones) y para confirmar el cambio en las condiciones del tráfico provocado por el pavimento de color.

El resultado de esta investigación indica que el pavimento de color promueve el cambio en la conciencia de usuarios con automóviles. Pero, no genera cambio en las condiciones del tráfico, como el volumen de tráfico y la velocidad del vehículo. Adicionalmente, la investigación establece que el pavimento coloreado ha hecho que la conciencia de los residentes sea más segura; el efecto de llamar la atención sobre los automóviles ha contribuido a la mejora de la conciencia vial. Finalmente, se realizó un comparativo entre la tasa de accidentalidad donde en 2008 fue de 1.7 (sin la contramedida). Posteriormente, al implementar el pavimento de color, la tasa se redujo a 1.5 de tal manera que se ve la eficacia en emplear esta tecnología con el fin de mejorar la seguridad vial. Cambiar la tonalidad del asfalto tiene un claro efecto en la seguridad de los usuarios de la vía, puesto que se logró mejorar la visibilidad y legibilidad, sin llegar a impactar la textura y fricción de la capa de rodadura de la carretera,

**Asfalto:**

Un asfalto es un material termoplástico derivado del petróleo o de origen natural, compuesto por una mezcla de hidrocarburos de color café oscuro a negro. Adicionalmente, se compone de asfaltenos que le dan el color y dureza y maltenos que dan su valor cohesivo. Según Bastidas, Rondón (2020), “El asfalto es un material de construcción utilizado desde la antigüedad principalmente por sus características como impermeabilizante. Así mismo, civilizaciones antiguas como Mesopotamia en el año 3800 a. C y Egipto, relatan la utilización de asfalto en embalses”.

**Asfalto de color:**

Un asfalto de color se define como una amplia variedad de técnicas que abarcan el revestimiento (pintura, mezcla epoxi y termoplásticos) hasta la superficie coloreada en masa (adición de color en la mezcla asfáltica mediante la implementación de pigmentos o áridos de color que cambian la coloración natural o artificial de elementos pétreos entre otros (Autelitano, 2021).

Según Autelitano (2021), “la finalidad del revestimiento de color es mejorar la seguridad y la moderación de la velocidad, complementando las marcas prescritas y resaltando los espacios preferentes o dedicados (carriles para bicicletas o autobuses. vías peatonales o instalaciones compartidas)” Además, los asfaltos en color realzan la estética del entorno en coherencia con el urbanismo y/o arquitectónica, fortaleciendo la identidad de la ciudad.

Un asfalto de color posee una amplia variedad de técnicas que abarcan el revestimiento hasta la superficie coloreada en masa; tienen la finalidad de mejorar la seguridad y controlar la velocidad de vehículos de tracción asistida como las bicicletas, automotores y automóviles. Adicionalmente, los asfaltos pigmentados realzan la estética del entorno en coherencia con la arquitectónica, fortaleciendo la identidad de la ciudad (Autelitano, 2021).

La implementación de asfaltos de colores busca reducir el efecto de isla de calor y la temperatura en la capa de rodadura del pavimento, dado a que absorbe altos contenidos de energía por su color negro. De igual manera, la implementación de asfaltos de colores ayuda a que las intersecciones sean más seguras, puesto que por su tonalidad el asfalto es más visible y legible ante los usuarios, logrando en estos una mejor percepción y conciencia vial a la hora de transitar (Ryosuke, Tomoyuki, Yasuhiro, 2011).

Por lo cual, desde visión cero se busca reducir la tasa de accidentalidad. Según la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C (2017), “Visión cero es una iniciativa que le da un enfoque ético a la seguridad vial y tiene como objetivo reducir a cero el número de víctimas fatales o heridos graves de siniestros viales”.

**Asfalto 60-70:**

Se obtiene mediante la destilación de la refinación del petróleo, donde la dureza se ha ajustado según las especificaciones técnicas del INVIAS para que su punto de penetración se encuentre entre 60-70 (0.1 mm). La **tabla 5** muestra las especificaciones del asfalto a nivel general, donde se puede visualizar los valores teóricos del asfalto 60-70.

**Figura 1**

*Especificaciones del cemento asfáltico*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN					
		40-50		60-70		80-100	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
<b>Asfalto original</b>							
Penetración (25° C, 100 g, 5 s), 0.1 mm	E-706	40	50	60	70	80	100
Punto de ablandamiento, °C	E-712	52	58	48	54	45	52
Índice de penetración	E-724	-1.2	+0.6	-1.2	+0.6	-1.2	+0.6
Viscosidad absoluta (60° C), P	E-716 o E-717	200 0	-	150 0	-	100 0	-
Ductilidad (25° C, 5 cm/min), cm	E-702	80	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	99	-	99	-	99	-
Contenido de agua, %	E-704	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland, °C	E-709	240	-	230	-	230	-
Contenido de parafinas, %	E-718	-	3	-	3	-	3
<b>Asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada rotatoria, norma de ensayo INV E-720</b>							
Pérdida de masa por calentamiento, %	E-720	-	0.8	-	0.8	-	1.0
Penetración del residuo, en % de la penetración del asfalto original	E-706	55	-	50	-	46	-
Incremento en el punto de ablandamiento, °C	E-712	-	8	-	9	-	9
Índice de envejecimiento: relación de viscosidades (60° C) del asfalto residual y el asfalto original	E-716 o E-717	-	4	-	4	-	4

Esta figura es recuperada de las especificaciones técnicas del INVIAS, correspondiente a la tabla 410-1 Especificaciones del cemento asfáltico, donde se registran las propiedades del asfalto con sus respectivos valores teóricos.

### **Isla de calor urbana:**

La isla de calor urbana hace referencia a la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores, la cual en gran medida es resultado de acciones antrópicas como el cambio del uso del suelo producto de la urbanización, donde se transforma las superficies permeables naturales por impermeables como el asfalto y el concreto inciden directamente en esta problemática ambiental. Además, actividades como el transporte y la industria emiten gases de efecto invernadero contribuyendo al efecto de isla de calor urbana (Villanueva, Ranfla, Quintanilla, 2012).

### **Objetivos de desarrollo sostenible:**

Fundamentados en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la cual establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental. La agenda 2030 contiene 17 objetivos y 169 metas, los cuales se enfocan en alcanzar el desarrollo sostenible para el año 2030. Según la ONU los ODS “son una herramienta de planificación y seguimiento para los países, tanto a nivel nacional como local. Gracias a su visión a largo plazo, constituirán un apoyo para cada país en su senda hacia un desarrollo sostenido, inclusivo y en armonía con el medio ambiente”

### **Aspectos Metodológicos**

El enfoque de este proyecto es cuantitativo, porque se traduce en un análisis tangible de variables cuantificables de los componentes químicos en la realización de los ensayos de laboratorio buscando cambiar la tonalidad del asfalto.

El tipo de investigación inicia con una fase exploratoria desde los antecedentes registrados con las variables a trabajar y se termina con una investigación tipo experimental debido a que se requiere la modificación de las variables de estudio para llegar a los estándares deseados.

Las técnicas que se van a utilizar corresponden a un enfoque cuantitativo realizado mediante ensayos de laboratorio, listas para la caracterización del asfalto y componentes químicos empleados en la investigación, ejecutados con equipos de laboratorio de pavimentos de la Universidad La Gran Colombia.

### Capítulo 1: Caracterización del asfalto 60-70 como muestra patrón

Para la caracterización del material bituminoso empelado en este caso, el asfalto 60-70, se obtuvieron determinadas probetas las cuales contenían el material en estado sólido (**ver figura 2**). Aquellas se introdujeron en un horno a temperaturas que oscilaban de 106-110 °C para lograr una consistencia fluida en el material, con el fin de tener facilidad al momento de ejecutar los ensayos pertinentes.

#### Figura 2

*Probetas asfalto 60-70*



Esta figura es de fuente propia, donde se puede apreciar las probetas del producto bituminoso, con su respectivo rotulado y el horno implementado para la disposición de estas.

Con base a lo anterior, para la caracterización del asfalto 60-70 se realizaron los siguientes ensayos experimentales teniendo en cuenta su composición y normativa técnica.

## 1.1 Ensayos

### 1.1.1 Ductilidad (INV E 702-13)

Consiste en medir la distancia hasta la cual se elonga una probeta de determinadas dimensiones hasta alcanzar la rotura, cuando sus dos extremos son separados a determinada velocidad. La probeta del material asfáltico es sometida a un ensayo de tensión, en un baño de agua, donde la ductilidad será la longitud máxima en centímetros, que se estira la probeta hasta el instante de su rotura.

La **figura 3** muestra el procedimiento experimental empleado para el ensayo de ductilidad siguiendo la respectiva normativa.

**Figura 3**

*Ductilidad*



La presente figura es de fuente propia adaptada de forma de ilustración de la norma INV-E 702-13 del INVIAS, donde se puede apreciar el procedimiento necesario para realizar el ensayo de ductilidad desde el montaje de las probetas hasta la elongación de estas mismas.

### **1.1.2 Punto de ablandamiento anillo y bola (INV E 712-13)**

Consiste en determinar el punto de ablandamiento del material asfáltico en un intervalo de 30 a 75 °C, usando el equipo de anillo y bola sumergido en agua. La temperatura inicial del agua debe ser de 5° C. Adicionalmente, para este ensayo se debe implementar un antiadherente para evitar que el ligante asfáltico una vez sólido se adhiera en las paredes de los anillos del molde. Además, se sugiere emplear hielo para garantizar que la temperatura inicial del ensayo sea la indicada (5°C) según lo estipulado en la respectiva norma del INVIAS. La **figura 4** describe el procedimiento del ensayo de punto de ablandamiento.

#### **Figura 4**

*Punto de ablandamiento*



La presente figura es de fuente propia adaptada de forma de ilustración de la norma INV-E 712-13 del INVIAS, donde se puede apreciar el procedimiento requerido para ejecutar este ensayo.

### 1.1.3 Penetración (INV E 706-13)

Este ensayo determina la consistencia de materiales bituminosos sólidos o semisólidos donde su principal componente es el asfalto. Consisten en derretir un espécimen del producto bituminoso, seguidamente se deja enfriar. Posteriormente, utilizando un penetrómetro se penetra el material asfáltico. A continuación, se puede observar el procedimiento del respectivo ensayo (**ver figura 5**).

**Figura 5***Penetración*

Esta ilustración es de fuente propia adaptada de la norma INV-E 706-13 del INVIAS, donde se puede evidenciar el proceso mediante el cual se desarrolla el ensayo de penetración.

#### 1.1.4 Viscosidad rotacional (INV E 717-13)

Permite determinar la viscosidad del asfalto a temperaturas desde 60 hasta 200 °C, en este caso particular el ensayo se realizó a una temperatura de 140°C. Consiste en verter una pequeña fracción de asfalto en un recipiente a temperatura constante. La torsión necesaria para que el vástago cilíndrico sumergido en el recipiente con asfalto tenga velocidad constante, se utiliza con el fin de calcular la

viscosidad (se determina con base al torque y la velocidad de rotación). Para este caso, el viscosímetro rotacional generó los valores de viscosidad en CentiPoise (CP). La **figura 6** describe el procedimiento experimental del ensayo de viscosidad rotacional.

**Figura 6**

*Viscosidad rotacional*



Esta figura es de fuente propia siguiendo los parámetros de la norma INV-E 717-13 del INVIAS, donde se consigna el procedimiento necesario para realizar el ensayo de viscosidad rotacional.

### 1.1.5 Densidad del asfalto (Método de Arquímedes)

Para determinar la densidad del asfalto 60-70 se empleó el método de Arquímedes el cual es un principio físico donde un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo recibe un empuje igual al peso del volumen del fluido que desaloja. El proceso que se llevó a cabo para el correspondiente ensayo se puede ver en la **figura 7**.

**Figura 7**

*Densidad del asfalto*



La presente figura es de fuente propia en la cual se puede apreciar el procedimiento necesario para realizar el ensayo de densidad del asfalto por el método de Arquímedes.

### 1.1.6 Efecto del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada y rotatoria (INV E 720-13)

Consiste en determinar la acción del calor y del aire sobre una capa fina de asfalto semi sólido en movimiento. La temperatura a la cual es sometida la muestra durante el ensayo corresponde a 163 °C y el flujo de aire es de  $4000 \pm 200$  ml/min. Permite evaluar los cambios que experimentan las propiedades del asfalto (**ver figura 8**). Además, una vez realizado el presente ensayo se aprecia un cambio o pérdida de masa en el producto bituminoso.

**Figura 8**

*Efecto del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada y rotatoria (RTFO)*



Esta figura es de fuente propia adaptada de la norma INV-E 720-13 del INVIAS, donde se puede apreciar el procedimiento necesario para realizar el ensayo del efecto del calor y del aire sobre el asfalto en lamina delgada y rotatoria (RTFO).

## Capítulo 2: Cambio de color del asfalto 60-70

Realizados los respectivos ensayos de caracterización al asfalto empleado, se procede a adicionar ciertos químicos, buscando la variabilidad del cambio de tonalidad. En este caso se utilizaron óxidos metálicos como el óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CrO}_3$ ). Así mismo, se dispuso de una base metálica como el hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) y una sal metálica como el sulfato de cromo ( $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ); de igual manera, se implementó una emulsión acrílica.

La dosificación del químico se manejó con la relación de % masa/masa teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\% \frac{M}{M} = \frac{\text{Masa pigmentante (g)}}{100 \text{ g}} * \text{Masa de la solución (g)}$$

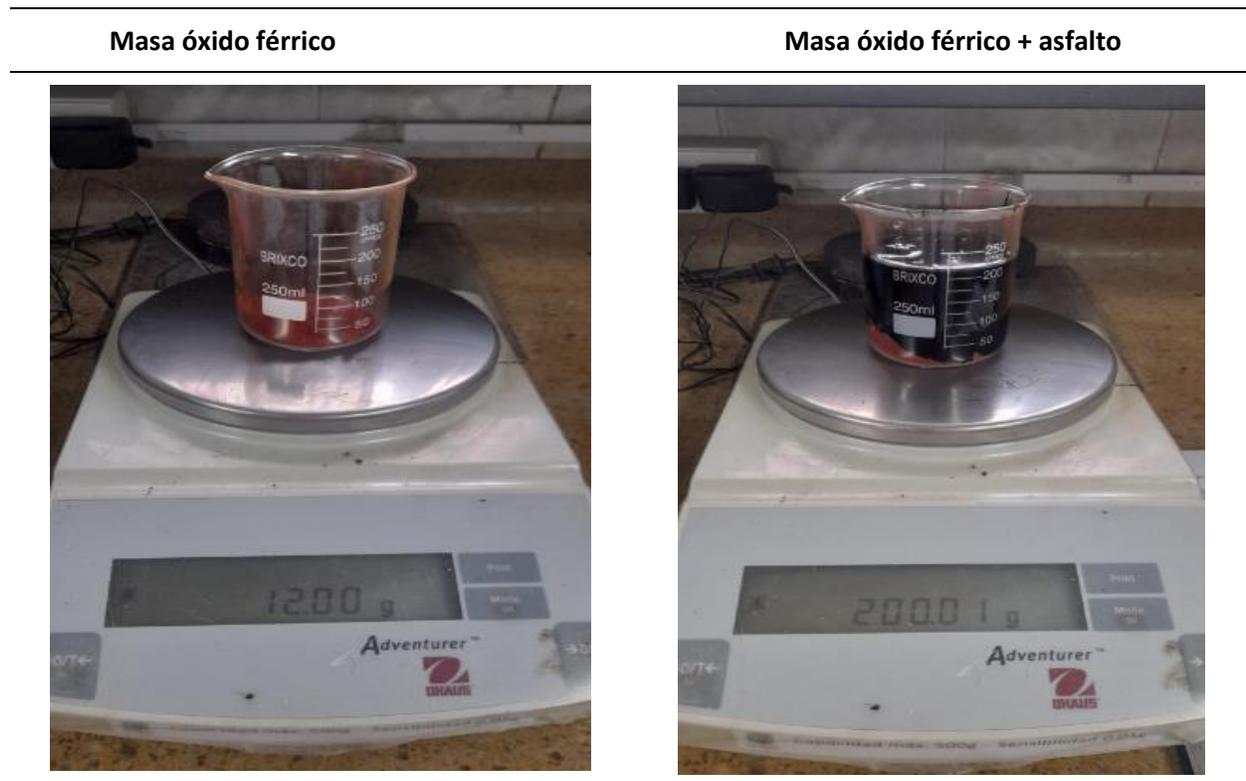
Cabe resaltar que dependiendo de la reacción que genere el químico al mezclarse con el asfalto la dosificación puede variar.

### 2.1 Óxido Férrico

Para el caso del óxido férrico se manejaron dosificaciones desde el 2 hasta el 20 %. El cambio de color se evidenció desde el 6% de la adición de este componente químico al asfalto. Siguiendo la fórmula mencionada anteriormente para la dosificación del químico, se utilizó un beaker donde se preparó una dosificación del 6 % de óxido férrico para una masa de asfalto de 200 g, donde la masa necesaria del químico fue de 12 gramos (**ver figura 9**).

**Figura 9**

*Preparación óxido férrico al 6 %*

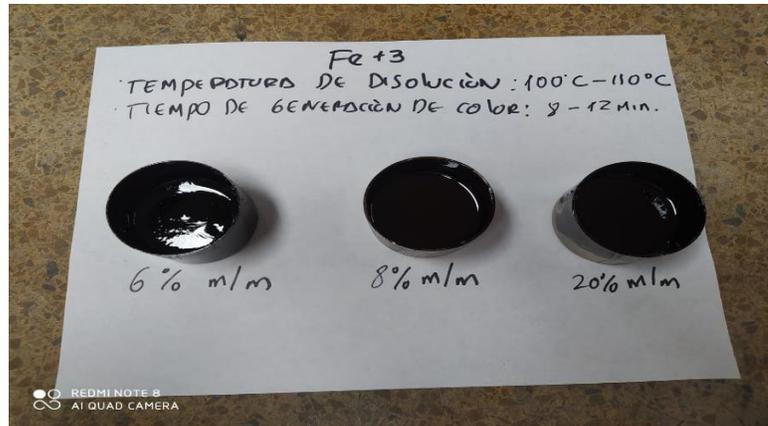


Esta figura es de fuente propia en la cual se puede apreciar la preparación del óxido férrico al 6 % de dosificación.

Luego se somete la mezcla a temperatura entre 100 a 110°C y con la ayuda de un mezclador se agita hasta la generación de color. En este caso particular la tonalidad se dio en un rango de tiempo de 8 a 12 minutos y su color característico es marrón oscuro como se puede evidenciar a continuación:

**Figura 10**

*Tonalidad obtenida asfalto 60-70 por adición de óxido férrico*



La presente figura es de fuente propia donde se evidencia el resultado de color en el asfalto al adicionar óxido férrico.

Siguiendo el procedimiento establecido anteriormente, se ejecutaron los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración para las dosificaciones del 6 y 8% ya que al 20% no se consideró necesario puesto que no se generó un cambio de tonalidad representativa.

## 2.2 Hidróxido Férrico

En el caso del hidróxido férrico se manejaron dosificaciones del 15, 30 y 80 %. Al adicionar 15 % de este químico en el asfalto, se evidenció una tonalidad marrón oscura similar al óxido férrico por lo cual no se realizaron ensayos mecánicos. Posteriormente, se aumentó la dosificación al 30 % donde se generó una tonalidad más representativa (**ver figura 11**). De igual forma se observó un cambio de color característico al subir la dosificación al 80 % (**ver figura 12**).

**Figura 11**

*Tonalidad obtenida asfalto 60-70 por adición de hidróxido férrico al 30 %*



La presente figura es de fuente propia donde se evidencia el resultado de color en el asfalto al adicionar óxido férrico.

**Figura 12**

*Preparación y tonalidad obtenida del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 %*



Esta figura es de fuente propia en la cual se describe la preparación y la generación de color del asfalto al adicionar óxido férrico al 80%.

Con base a lo anterior, se evidenció un color marrón claro para el asfalto adicionado al 30 % y un color marrón medio para el 80 %, luego de 10 minutos de mezclado a una temperatura entre 100-110°C. Para este caso particular, los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración se aplicaron al asfalto adicionado al 80 %. Por otra parte, al asfalto adicionado al 30 % se realizó el ensayo de ductilidad, ya que generalmente se realizaron ensayos posteriores a un solo porcentaje de dosificación por cada químico que se empleó.

### 2.3 Óxido de Cromo III ( $Cr_2O_3$ ) y Óxido de Cromo VI ( $CrO_3$ )

Para el caso de los presentes químicos se manejó una dosificación del 15 y 50 %, pero no se generó cambio de tonalidad, ya que no presentó reacción alguna al adicionarlo al asfalto 60-70. En la siguiente tabla se puede apreciar la adición de los presentes químicos y su reacción al asfalto:

**Figura 13**

*Preparación y reacción del asfalto adicionado con óxidos de cromo III, VI*



Esta figura es de fuente propia en la cual se aprecia la preparación y reacción del asfalto adicionado al 15 y 50 % con óxido de cromo III (componente de color verde) y óxido de cromo VI (componente de color morado escarchado).

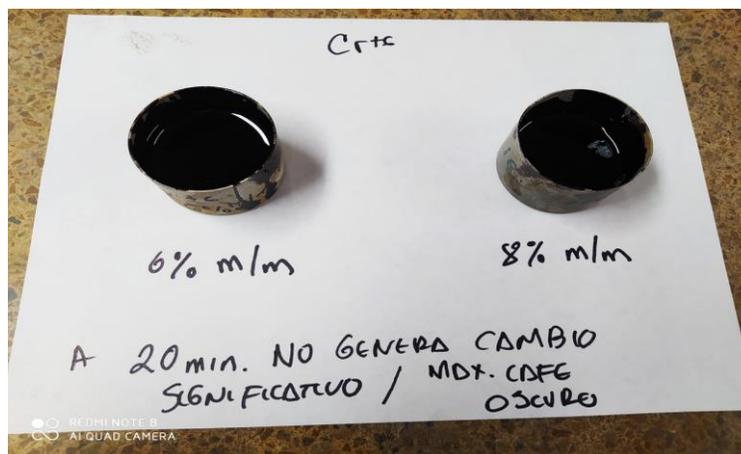
Cabe resaltar que al no obtener un cambio de color no se realizaron los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración.

## 2.4 Sulfato de cromo

Por otra parte, el sulfato de cromo para dosificaciones del 6 y 8 % no generó un cambio de color representativo ya que su tonalidad fue café oscuro, como se puede evidenciar en la figura 8. Por lo cual, no se realizaron ensayos posteriores para evaluar su variabilidad en las propiedades de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración del asfalto 60-70 puesto que su color no fue muy significativo.

**Figura 14**

*Reacción del sulfato de cromo al asfalto 60-70 con dosificación del 6 y 8 %*



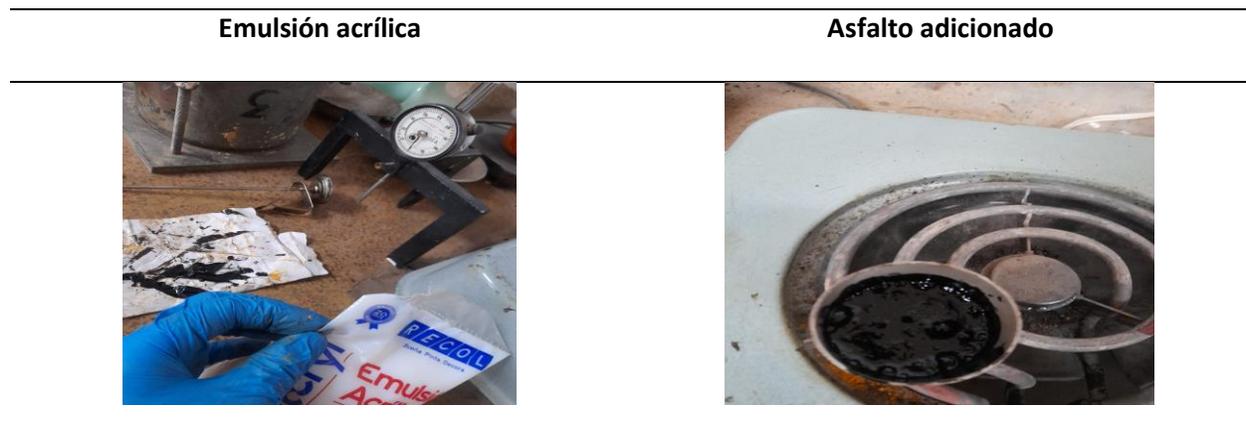
La presente figura es de fuente propia, la cual presenta la reacción que obtuvo el asfalto al adicionar 6 y 8 % de sulfato de cromo.

## 2.5 Emulsión acrílica

Otro componente adicionado al asfalto corresponde a la emulsión acrílica, para este caso particular se trabajó con una dosificación del 8 % pero este producto no tuvo resultados positivos, ya que su reacción al color fue nula, dando como resultado una tonalidad similar al color natural del asfalto (ver figura 15). Por consiguiente, no se desarrolló el ensayo de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración a este asfalto adicionado.

**Figura 15**

*Reacción resultante asfalto adicionado con emulsión acrílica al 8 %*



Esta figura es de fuente propia, donde se puede evidenciar el resultado de adicionar una dosificación del 8 % de emulsión acrílica al producto bituminoso, donde no se genera ningún cambio de color.

### Capítulo 3: Análisis y discusión de resultados

#### 3.1 Caracterización del asfalto 60-70

##### 3.1.1 Ensayo ductilidad

Seguido el procedimiento para el ensayo de ductilidad, se obtuvo una elongación de las probetas de 153 cm, donde para este caso no se generó fractura en el ligante asfáltico. La **figura 16** ilustra parte del proceso de elongación de las probetas del producto bituminoso.

#### Figura 16

*Ductilidad asfalto 60-70*



La presente figura es de fuente propia en la cual se evidencia la elongación de las probetas del asfalto 60-70.

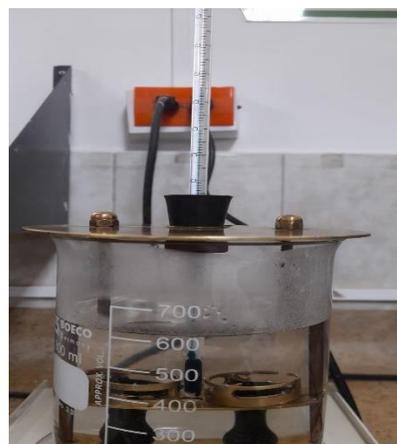
Con base a la elongación obtenida de las probetas, para el asfalto 60-70 según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) la elongación mínima debe ser de 100 cm, de tal manera que se cumple la respectiva normativa. No obstante, el equipo se detuvo cuando llegó a su capacidad máxima de elongación, ya que como se mencionó anteriormente el ligante no sufrió fractura pero según las especificaciones técnicas del INVIAS, se debe tomar la distancia a la cual se elonga la muestra hasta su fractura o en caso de que no la haya hasta su distancia máxima desde las probetas.

### 3.1.2 Ensayo punto de ablandamiento

Para el caso de la prueba de punto de ablandamiento, la temperatura que se obtuvo al momento en que las muestras del ligante asfáltico tocaron la superficie inferior del soporte de montaje es de 43° C. La **figura 17** ilustra el instante en que el asfalto hace contacto con dicha superficie.

**Figura 17**

*Punto de ablandamiento asfalto 60-70*



La figura 17 es de fuente propia, donde se ilustra la incidencia de la temperatura y de las esferas hacia el asfalto, determinando así su punto de ablandamiento.

Según lo establecido en las especificaciones técnicas del INVIAS, la temperatura de punto de ablandamiento para el asfalto 60-70 debe estar entre 48-54 °C. En este caso particular el valor obtenido se encuentra fuera del rango establecido por la respectiva norma, sin embargo el ensayo es válido ya que las esferas tocaron la superficie inferior al mismo tiempo.

### 3.1.3 Ensayo penetración

Para este ensayo se tomaron tres lecturas en diferentes puntos y se determinó su promedio el cual es el valor final que se registró de penetración, en este caso las lecturas obtenidas fueron las siguientes:

**Tabla 1**

Tomas ensayo Penetración

Toma 1 (mm)	Toma 2 (mm)	Toma 3 (mm)	Promedio (mm)
64	60	69	64.333

La tabla anterior es de fuente propia, en la cual se observa las diferentes tomas registradas para el ensayo de penetración con su respectivo promedio como resultado final de este ensayo.

**Figura 18** Penetración asfalto 60-70



La presente figura es de fuente propia, por medio de la cual se puede observar el instante de la penetración de la aguja en el asfalto.

Con base a los resultados obtenidos se evidencia que la penetración para el asfalto 60-70 se encuentra en el rango establecido por la normativa, por lo cual el ensayo se ejecutó correctamente teniendo en cuenta parámetros establecidos como la temperatura del baño de agua, la posición del vástago, el tiempo de penetración entre otros aspectos.

#### **3.1.4 Ensayo viscosidad rotacional**

Seguido el procedimiento experimental de este ensayo, los valores de viscosidad en CentiPoise (CP) obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 2***Tomas ensayo Viscosidad rotacional*

Minuto 5 (CP)	Minuto 6 (CP)	Minuto 7 (CP)	Promedio (CP)
2660	2640	2620	2640

La presente tabla es de fuente propia, donde se puede evidenciar las diferentes lecturas registradas para el ensayo de viscosidad rotacional con su respectivo promedio como resultado final de este ensayo.

Cabe resaltar que el equipo correspondiente a este método experimental dio los resultados de viscosidad en unidad de CP (**ver figura 19**), no obstante para fines prácticas el resultado se especifica en Pascales por segundo (Pa\*s). Con base a lo anterior, el resultado final del ensayo de viscosidad corresponde a 2.6 Pa\*s.

**Figura 19**

*Viscosidad rotacional asfalto 60-70*



La figura 19 es de fuente propia, donde se evidencia la operación del ensayo de viscosidad rotacional.

Según los cálculos y resultados obtenidos, se afirma que el valor de viscosidad fue coherente ya que este no fue mayor a 3 Pa\*s, según lo establece el instituto mexicano de transporte.

### 3.1.5 Ensayo densidad del asfalto

Seguido el procedimiento mencionado para el presente ensayo, se midieron en laboratorio los siguientes valores presentados en la **tabla 3**:

**Tabla 3**

*Valores registrados densidad del asfalto por el método de Arquímedes*

Descripción	Valor
Masa recipiente (g)	101.88
Masa esfera asfalto (g)	8.63
Masa recipiente + agua (g)	251.11
Masa recipiente + agua + esfera asfalto (g)	259.72
Volumen inicial (mm)	150
Volumen final (mm)	160

La tabla anterior es de fuente propia, se evidencia la toma de datos que se midieron en laboratorio previamente para determinar la densidad del asfalto por el método de Arquímedes.

La densidad del asfalto se determina a partir de la masa de este material y de la masa del agua desalojada por el material bituminoso en la probeta. En ese sentido, se debe calcular la masa del asfalto sumergido en el recipiente (Masfsumergido), la diferencia de volumen inicial y final. A continuación se describen los respectivos cálculos:

$$Masfsumergido = (Masa recipiente + agua + esfera asfalto) - (Masa recipiente + agua)$$

$$Masfsumergido = (259.72 g) - (251.11 g)$$

$$Masfsumergido = 8.61 g$$

$$Volumen = Volumen final - Volumen inicial$$

$$Volumen = 160 ml - 150 ml$$

$$Volumen = 10 ml$$

Por consiguiente, el valor de la densidad se obtiene de la siguiente manera:

$$Densidad asfalto = \frac{8.61 g}{10 ml}$$

$$Densidad asfalto = 0.861 g/ml$$

Con base a los valores obtenidos se afirma que hay cierta imprecisión en el resultado, posiblemente por realizar el ensayo por el método de Arquímedes y no por el método del picnómetro (normativa Invias) debido a que no hubo disponibilidad de los equipos correspondientes a este método en el laboratorio; ya que el valor teórico de la densidad del asfalto 60-70 a 25°C corresponde a 1.03 g/ml.

### 3.1.6 Ensayo efecto del calor y del aire sobre el asfalto en lámina delgada y rotatoria (RTFO)

Seguido el procedimiento experimental de la presente prueba se registraron las masas de los recipientes y del asfalto previamente a iniciar el ensayo y posteriormente ejecutado este mismo. La **tabla 4** consigna los valores antes de la prueba y la **tabla 5** después de la prueba, como se evidencia a continuación:

**Tabla 4**

*RTFO antes de la prueba*

Recipiente	Masa Recipiente (g)	Masa Asfalto (g)
1	167.390	35.027
2	166.860	35.025
3	168.619	35.002
4	161.631	35.030
5	165.829	35.005
6	168.666	35.008
7	166.544	35.020
8	167.422	35.005

La tabla anterior es de fuente propia, donde se registran los datos del número de recipiente, la masa del recipiente y la masa del asfalto antes de la prueba de RTFO.

**Tabla 5***RTFO después de la prueba*

Recipiente	Masa Recipiente + Asfalto (g)	Pérdida masa Asfalto (g)
1	202.240	0.177
2	201.737	0.148
3	203.465	0.156
4	196.468	0.193
5	200.641	0.193
6	203.506	0.168
7	201.374	0.19
8	202.255	0.172

La presente tabla es de fuente propia, donde se consignan los valores del número de recipiente, la masa del recipiente + asfalto y la pérdida de masa del asfalto después del ensayo de RTFO.

Posteriormente, se procedió a realizar el ensayo de penetración y punto de ablandamiento para analizar cómo cambian las propiedades del asfalto después de someterlo a calor, aire y rotación, como se pudo observar en las tablas anteriormente mencionadas. El resultado del ensayo de punto de ablandamiento no varió, ya que su valor fue de 44°C. Para el ensayo de penetración se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 6**

*Resultados del ensayo de penetración luego de la prueba de RTFO*

Toma 1 (mm)	Toma 2 (mm)	Toma 3 (mm)	Promedio (mm)
38	35	35	36

La tabla 6 es de fuente propia, donde evidencian los valores obtenidos del ensayo de penetración luego de ejecutar la prueba de RTFO.

Se puede evidenciar el envejecimiento que sufre el asfalto 60-70, particularmente en el ensayo de penetración y la pérdida de masa de cada probeta producto del calor, movimiento y aire.

Con base a la caracterización del asfalto 60-70 se aprecia que el producto bituminoso cumplió con la mayoría de las propiedades, sin embargo, el ensayo de densidad por el método de Arquímedes se encontró por fuera de la densidad teórica del presente asfalto; pero se afirma que el material implementado en la investigación corresponde al asfalto 60-70.

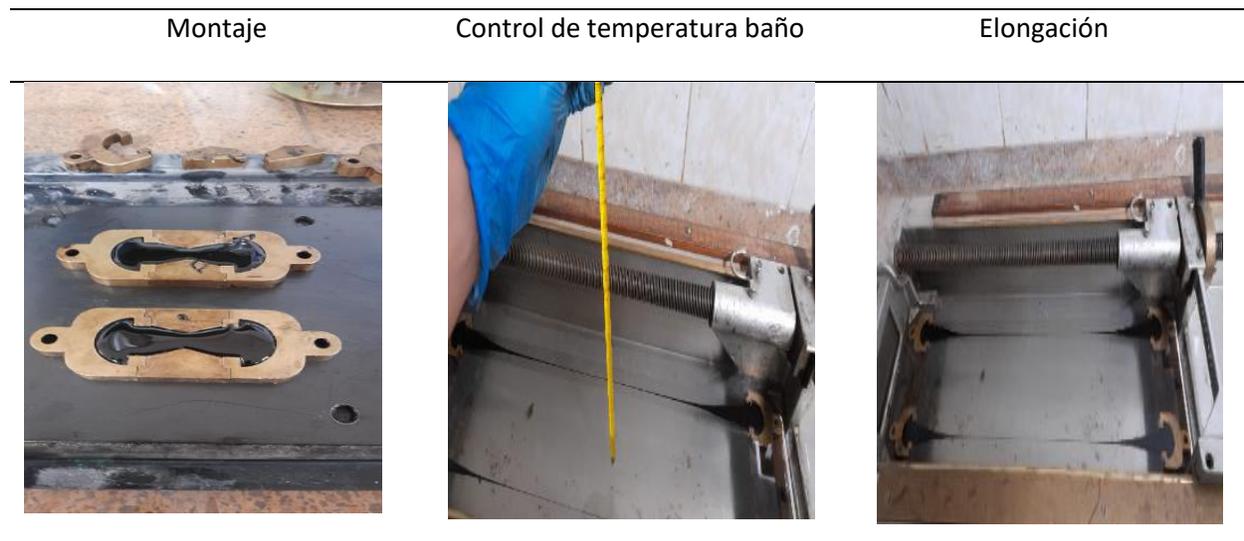
### 3.2 Cambio de color del asfalto 60-70

#### 3.2.1 Ductilidad asfalto adicionado con óxido férrico al 6 % y 8 %

Para el caso del ensayo de ductilidad, la elongación para el asfalto adicionado que se obtuvo al 6 % fue de 124 cm y para el 8 % fue de 115 cm. Con base a los valores registrados, se puede apreciar que al aumentar la dosificación del óxido férrico la ductilidad disminuye. Adicionalmente, este componente químico generó un cambio de color sin afectar la presente propiedad mecánica ya que se encuentra en el rango que establece las especificaciones técnicas del INVIAS.

**Figura 20**

*Ductilidad del asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico al 6 y 8 %*



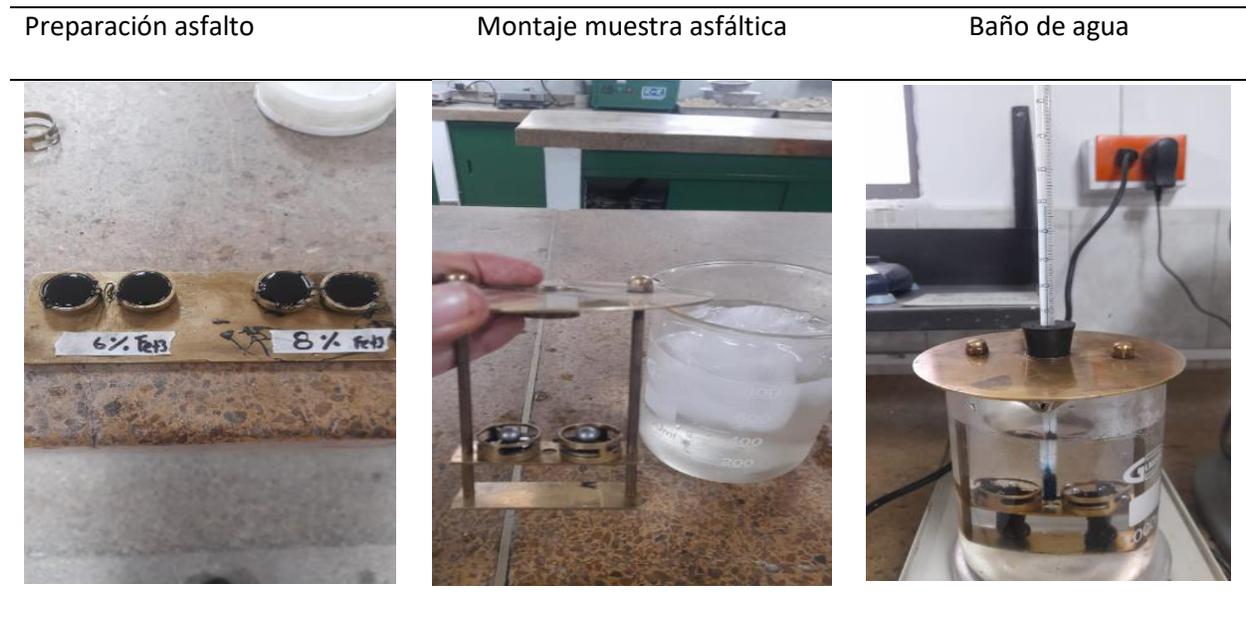
La presente figura es de fuente propia, en la cual se aprecia el montaje, control de temperatura del baño de agua y la elongación del asfalto en la prueba de ductilidad.

### 3.2.2 Punto de ablandamiento asfalto adicionado con óxido férrico al 6 % y 8 %

Así mismo se realizó el ensayo de punto de ablandamiento donde para la adición al 6 % su valor fue de 52°C y al 8 % fue de 48°C. De igual manera, se puede evidenciar que a medida que la dosificación de este químico aumente la propiedad mecánica del asfalto 60-70 tiende a bajar. No obstante, este ensayo cumple según lo consignado en el INVIAS ya que se encuentra en los valores establecidos por este instituto.

**Figura 21**

*Punto de ablandamiento del asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico al 6 y 8 %*



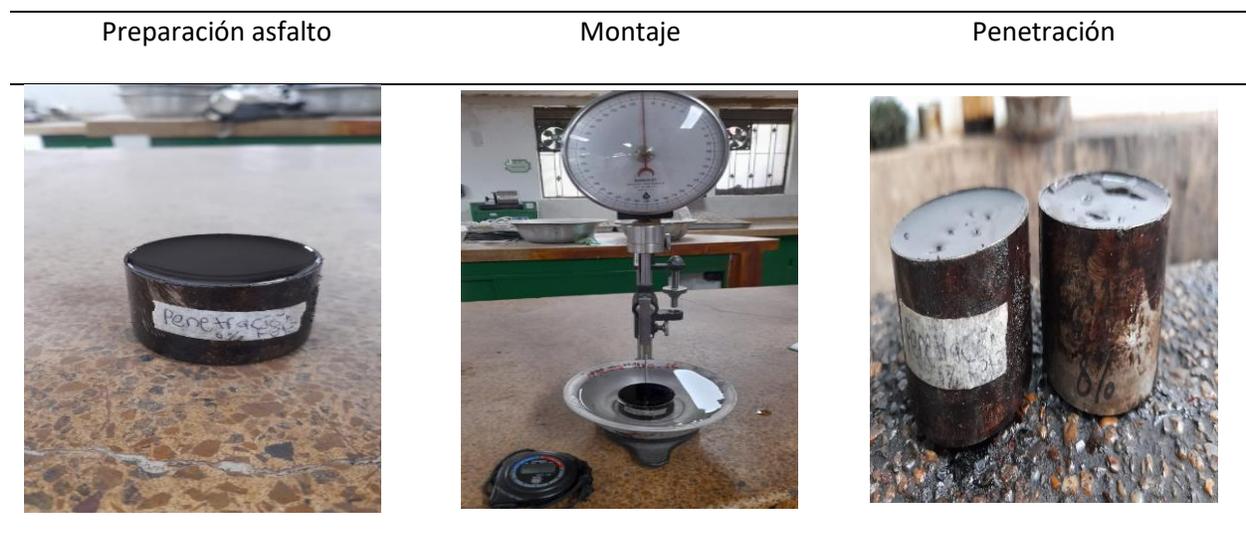
La figura 21 es de fuente propia, donde se puede observar la preparación del asfalto, el montaje de la muestra y el baño de agua para determinar el punto de ablandamiento del ligante asfáltico.

**3.2.3 Penetración asfalto adicionado con óxido férrico al 6 % y 8 %**

Por otra parte, se realizó el ensayo de penetración para el 6% y 8% de adición del óxido férrico, donde para el asfalto adicionado al 6% el valor de penetración fue de 64 cm y para el 8% fue de 63 cm . Con base a lo anterior se evidencia que las características de penetración se mantienen en los rangos consignados por la respectiva normativa.

**Figura 22**

*Penetración del asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico al 6 y 8 %*



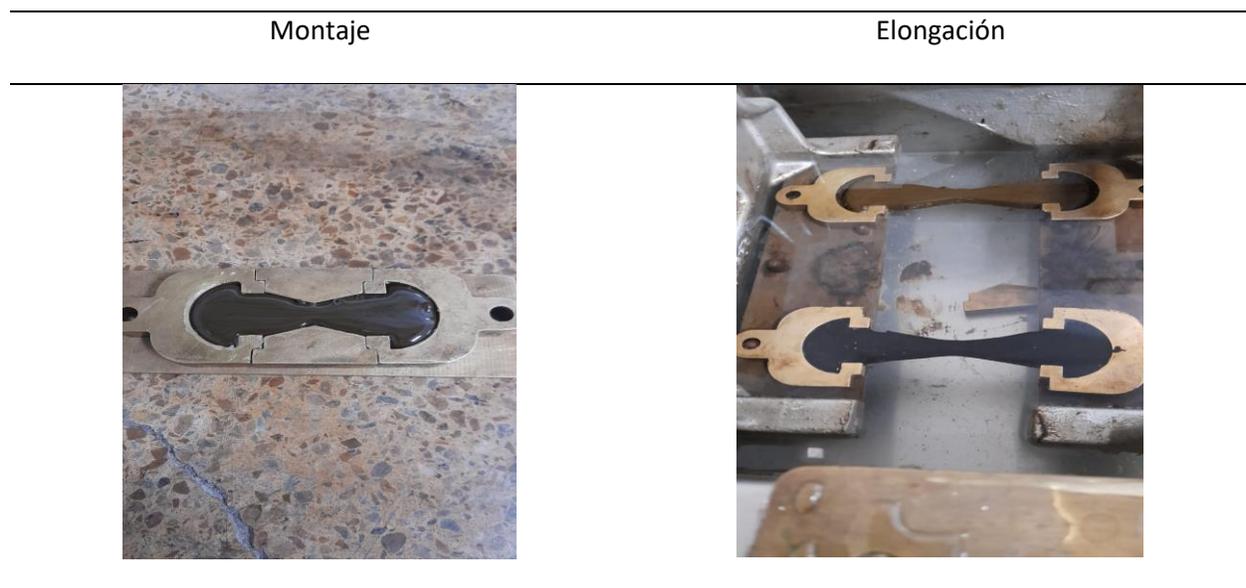
La figura anterior es de fuente propia, donde se aprecia la preparación del asfalto, el montaje de la muestra y el estado de las probetas luego del ensayo de penetración.

### 3.2.4 Ductilidad asfalto adicionado con hidróxido férrico al 30 %

La adición de hidróxido férrico con una dosificación del 30 % en el asfalto, obtuvo una ductilidad de 35 cm, la cual se encuentra por debajo del rango establecido por las especificaciones técnicas del INVIAS. Sin embargo, el color obtenido es significativo, como se mencionó anteriormente. Cabe resaltar, que para este caso particular, no se realizó el ensayo de punto de ablandamiento y penetración, ya que inicialmente se vio como un ensayo de prueba y error pero se utilizó una dosificación adicional del 80 % , a la cual se le desarrollaron dichos ensayos como el de ductilidad.

**Figura 23**

*Ductilidad del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 30 %*



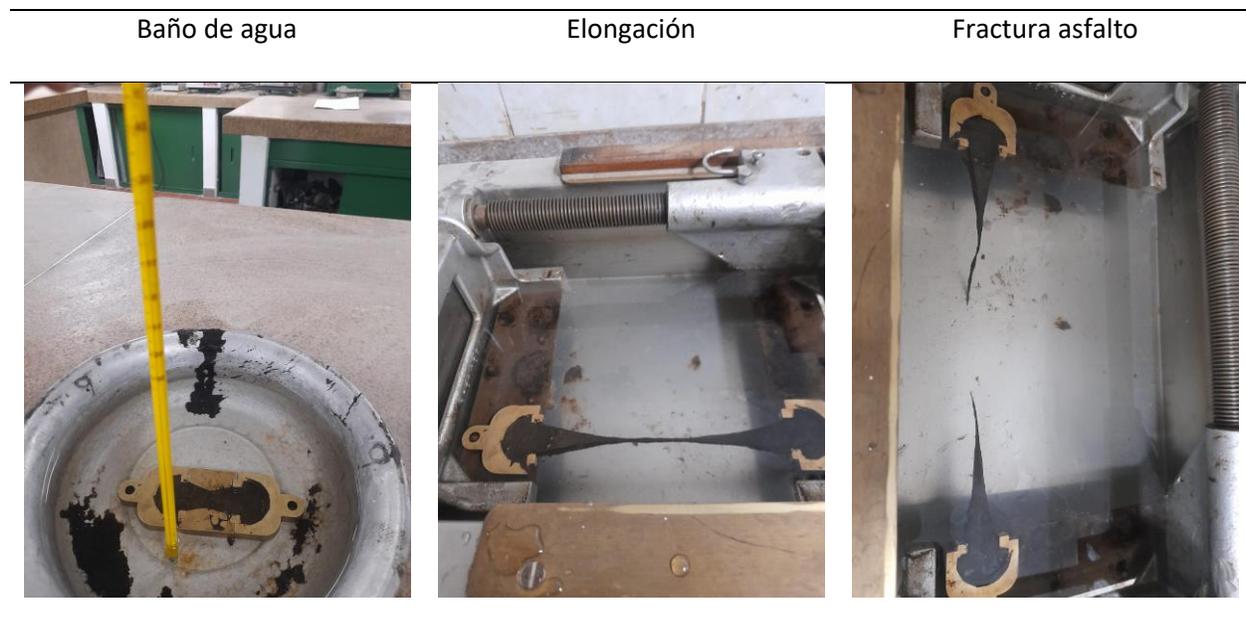
Esta figura es de fuente propia, en la cual se observa el montaje de la probeta y la elongación donde así mismo se aprecian dos probetas, una corresponde al asfalto convencional y la otra al adicionado con hidróxido férrico al 30 %.

### 3.2.5 Ductilidad asfalto adicionado con hidróxido férrico al 80 %

Por otra parte, el ensayo de ductilidad para la adición del 80 % presentó una variación alta respecto al resultado determinado para el asfalto 60-70 sin adición, ya que su valor fue de 26 cm, el cual es un resultado que no se encuentra en el rango establecido por el INVIAS. No obstante, la tonalidad que se generó es más representativa que la resultante del óxido férrico.

**Figura 24**

*Ductilidad del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 %*



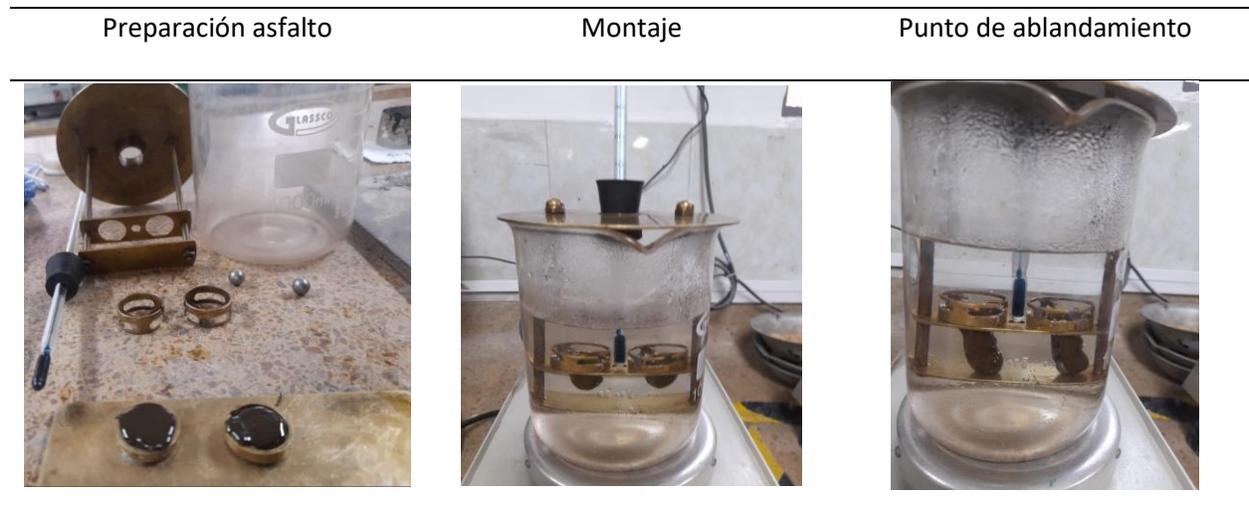
La figura 24 es de fuente propia, en esta misma se evidencia el baño de agua, la elongación y finalmente la fractura del producto bituminoso adicionado con hidróxido al 80 %.

### 3.2.6 Punto de ablandamiento asfalto adicionado con hidróxido férrico al 80 %

Así mismo, se realizó la prueba de punto de ablandamiento donde su valor fue de 54°C. Cabe resaltar que fue la única propiedad que se mantuvo en el rango establecido por las especificaciones técnicas del INVIAS.

#### Figura 25

*Punto de ablandamiento del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 %*



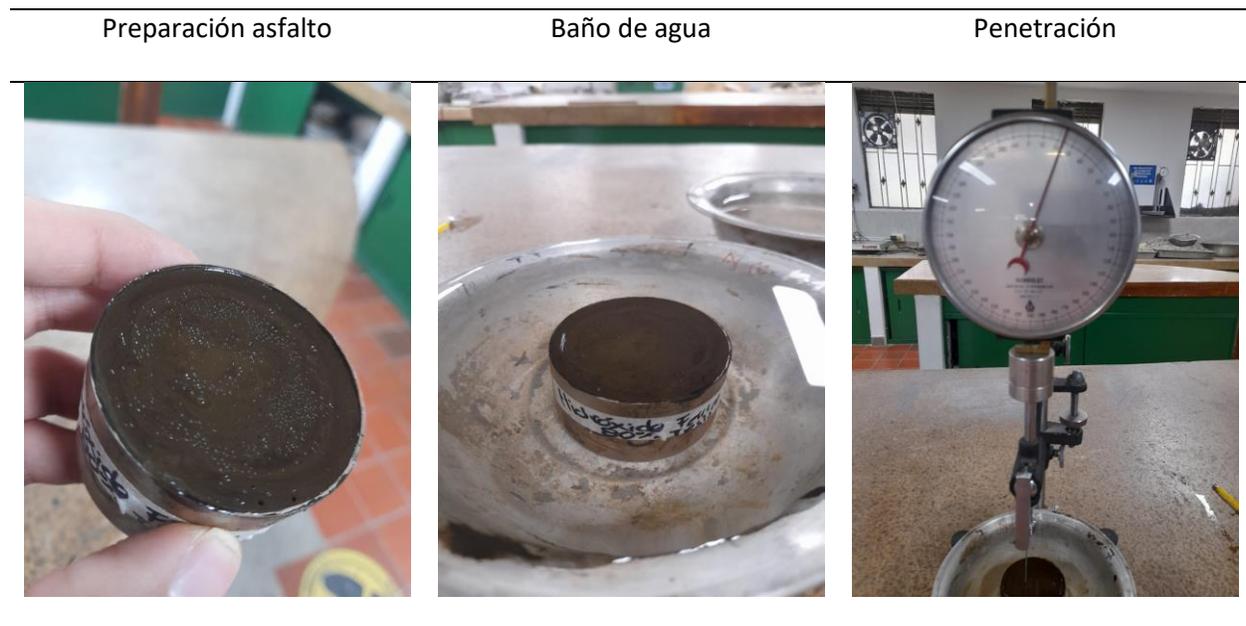
La figura anterior es de fuente propia, donde se ilustra la preparación del asfalto, el montaje y la determinación del punto de ablandamiento para el ligante asfáltico adicionado con hidróxido férrico al 80 %.

### 3.2.7 Penetración asfalto adicionado con hidróxido férrico al 80 %

De igual manera, se ejecutó el ensayo de penetración el cual varió respecto a su valor teórico, puesto que su resultado obtenido corresponde a 24 mm. Con base a lo anterior, se puede apreciar que es un valor el cual se encuentra por fuera del rango establecido por la pertinente norma.

**Figura 26**

*Penetración del asfalto 60-70 adicionado con hidróxido férrico al 80 %*



Esta figura es de fuente propia, donde se muestra la preparación del asfalto, el baño de agua y finalmente la toma de penetración para el asfalto adicionado con hidróxido férrico al 80 %.

Con base a lo anterior, los químicos adicionados al asfalto 60-70 que generaron respuesta al color corresponden al óxido férrico el cual presentó muy buena reacción física ya que se obtuvo una tonalidad marrón, esta adición no presenta efectos mayores en cuanto a los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración. Adicionalmente, el hidróxido férrico fue el otro componente que generó respuesta al color, en este caso fue una tonalidad más representativa respecto al óxido férrico puesto que el resultado de color es marrón claro; sin embargo este componente químico desmejora las propiedades del asfalto como la penetración y la ductilidad

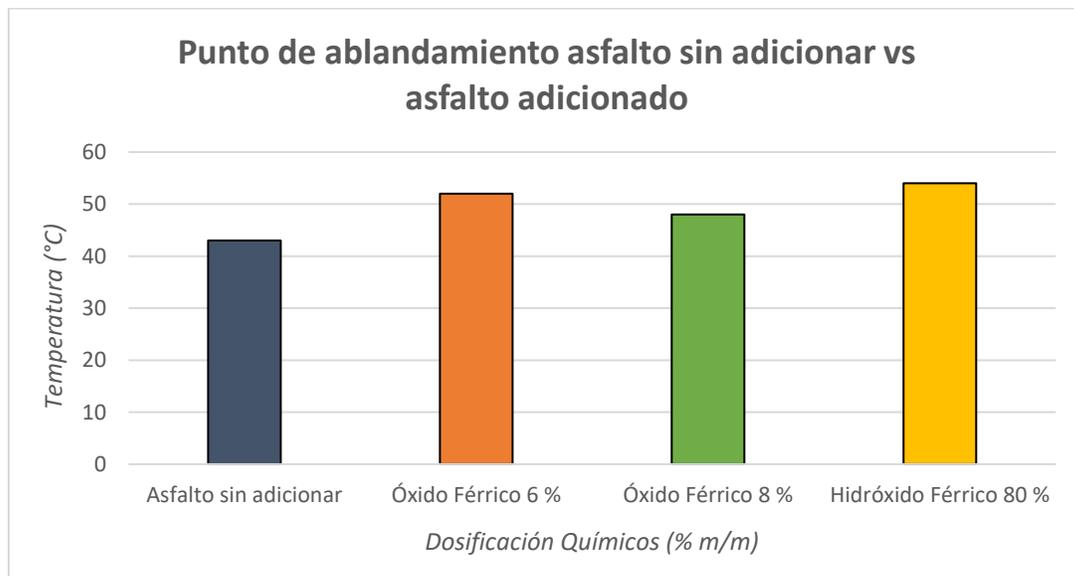
Por otro lado, los óxidos de cromo, el sulfato de cromo y la emulsión acrílica no presentaron reacción alguna al cambio de color, por lo cual no se realizaron los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración para conocer la variabilidad del asfalto en estas propiedades.

### 3.3 Variabilidad punto de ablandamiento, ductilidad y penetración asfalto sin adicionar vs adicionado

Lo que compete a la variabilidad de las propiedades del asfalto analizadas una vez adicionados los químicos empleados que generaron reacción física al cambio de tonalidad, se puede evidenciar por medio de una serie de gráficos (ver figuras 27, 28 y 29). En dichos gráficos se puede apreciar como varia el punto de ablandamiento, la ductilidad y la penetración que fueron los ensayos posteriores que se le realizaron al ligante asfáltico, al momento de adicionar óxido férrico a dosificaciones del 6 y 8 % y también hidróxido férrico al 80 % y en un caso particular al 30 %.

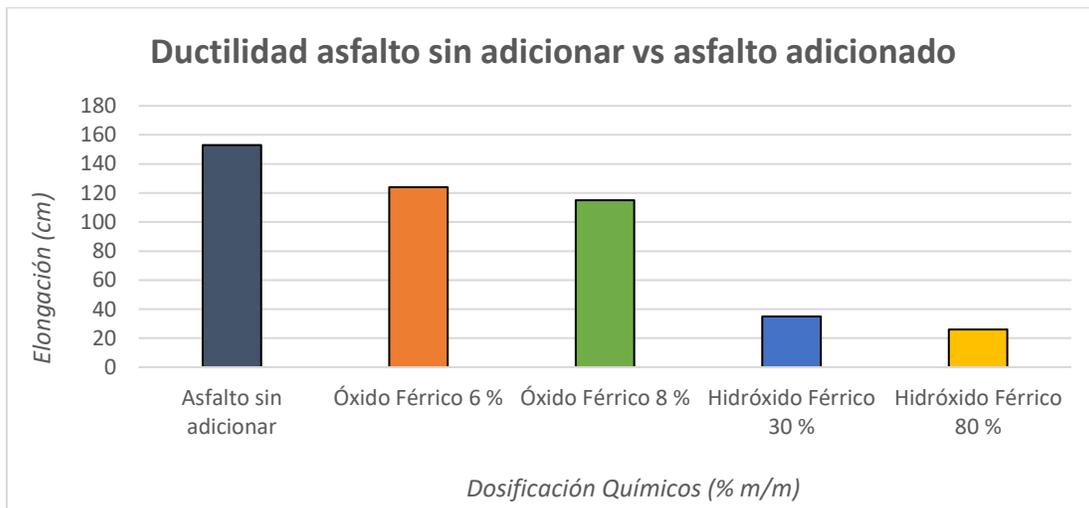
**Figura 27**

*Punto de ablandamiento asfalto sin adicionar vs asfalto adicionado*



La presente figura es de fuente propia, donde se observa la propiedad de punto de ablandamiento para el asfalto sin adición y para los adicionados con los respectivos químicos.

Con base a la gráfica anterior, se puede apreciar que todos los componentes químicos cumplen con el rango establecido por las especificaciones técnicas del INVIAS, donde para este ensayo la temperatura debe estar entre los 48 °C – 54 °C. Adicionalmente, se observa que los químicos empleados mejoran esta propiedad del asfalto , debido a que aumentaron su punto de ablandamiento respecto al producto bituminoso sin adicionar. Para el caso del asfalto adicionado con óxido férrico al 6 % se tuvo un valor de 52°C; este mismo componente químico con una dosificación del 8 % obtuvo un resultado de 48 °C. Así mismo, la adición con hidróxido férrico al 80 % fue de 54°C. Con base a lo anterior, se evidencia que al aumentar la dosificación del óxido férrico el punto de ablandamiento en el asfalto disminuye. Por otra parte, el hidróxido férrico obtuvo el mejor comportamiento ya que su resultado fue el mayor respecto a los diferentes asfaltos adicionados y así mismo al asfalto sin adicionar. Por consiguiente, se afirma que el punto de ablandamiento no se ve afectado al adicionar dichos componentes químicos .

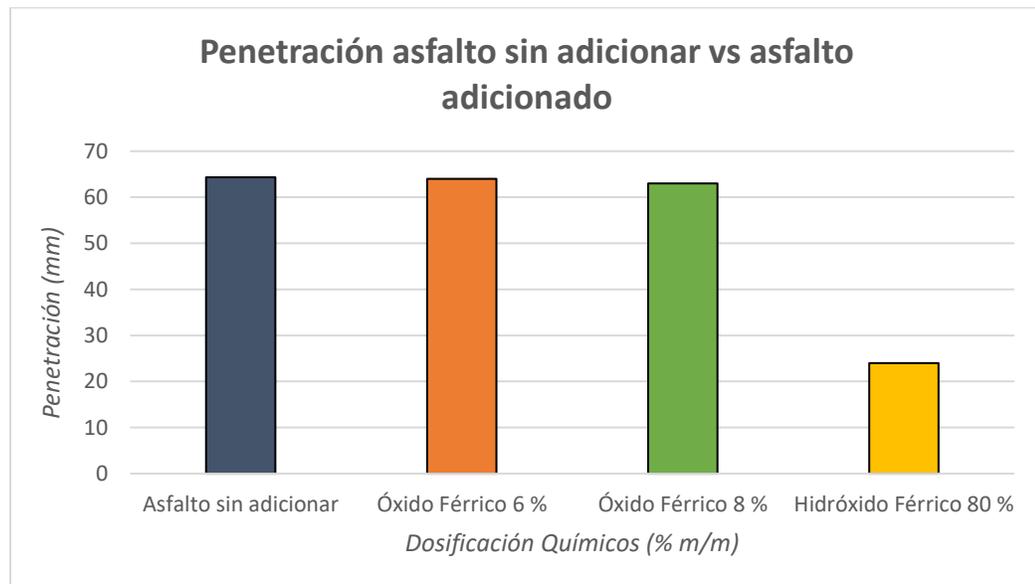
**Figura 28***Ductilidad asfalto sin adicionar vs asfalto adicionado*

Esta figura es de fuente propia, donde se observa la propiedad de ductilidad para el asfalto sin adición y para los adicionados con los respectivos químicos.

Según la gráfica anterior, se puede evidenciar que la ductilidad se ve afectada en los asfaltos adicionados, y se mantiene estable en el producto bituminoso sin adicionar. En este caso, el asfalto sin adicionar fue el que mejor comportamiento tuvo en cuanto a la ductilidad donde su valor determinado es de 153 cm. Seguidamente el ligante adicionado con óxido férrico ala 6 y 8 % respectivamente donde sus elongaciones se mantuvieron en los rangos teóricos. Finalmente, los asfaltos adicionados con hidróxido férrico al 30 % y 80 % presentaron reducciones representativas en la ductilidad tal como se puede observar en la gráfica de barras.

**Figura 29**

*Penetración asfalto sin adicionar vs asfalto adicionado*



La figura 29 es de fuente propia, donde se observa la propiedad de penetración para el asfalto sin adición y para los adicionados con los respectivos químicos.

Con base a lo anterior, los asfaltos adicionados con óxido férrico a dosificaciones del 6 y 8 % obtuvieron resultados concordantes a los valores registrados teóricamente, ya que el asfalto sin adicionar debe estar entre los 60-70 mm, de tal manera que dichos productos cumplen con los requisitos del ensayo de penetración. Por otra parte, el hidróxido férrico al 80 % no presentó una buena reacción a esta propiedad estudiada, ya que su resultado fue de 24 mm el cual es lejano a los valores teóricos.

### Conclusiones

El componente químico que generó una mejor reacción al cambio de tonalidad del asfalto fue el hidróxido férrico, ya que su color fue muy representativo respecto a los demás químicos empleados. No obstante, fue el producto que requirió mayor dosificación (30 y 80 %) a comparación del óxido férrico que generó color a dosificaciones más bajas, específicamente del 6 y 8 %.

El asfalto 60-70 adicionado con óxido férrico tuvo el mejor comportamiento en cuanto a las propiedades analizadas (punto de ablandamiento, penetración y ductilidad), ya que se mantuvieron en los rangos establecidos por las especificaciones técnicas del INVIAS. Por otra parte, el ligante asfáltico adicionado con hidróxido férrico presentó disminución en la ductilidad y la penetración, pero su punto de ablandamiento se mantuvo estable.

Se puede apreciar que al aumentar la dosificación del óxido férrico en el asfalto sus propiedades como punto de ablandamiento, penetración y ductilidad tienden a disminuir, lo cual implica que a mayores dosificaciones dichas propiedades evaluadas pueden llegar a desmejorar.

Productos que contengan cromo no generan una buena reacción con el asfalto al cambio de color, como se pudo evidenciar con el sulfato de cromo y los óxidos crómicos. Así mismo, productos solubles en agua como la emulsión acrílica no desarrollan cambio de tonalidad en el asfalto 60-70.

Las tonalidades obtenidas representan un gran alcance, puesto que se está innovando en un nuevo material de construcción que puede llegar a mitigar impactos ambientales negativos como la Isla de calor Urbana y a mejorar ciertas condiciones en la seguridad vial.

Al momento de llevar a temperatura de solución la muestra, utilizar un mezclador. Se recomienda que el periodo de mezclado esté entre los 10-20 minutos, donde se debe rebullir esta misma para generar cambio de color. Además, es importante que se tenga la disponibilidad de un termómetro con capacidad mayor a los 100°C para hacer medir la temperatura durante este proceso, se recomienda que la temperatura esté entre los 106- 110 °C.

### **Recomendaciones**

Para trabajos futuros se recomienda realizar pruebas con mezclas asfálticas, para analizar la variabilidad en las tonalidades del asfalto ya que los agregados que componen la mezcla pueden interferir en el color resultante.

Se recomienda continuar con la investigación teniendo en cuenta otros productos que puedan llevar a tonalidades mas claras con el fin de obtener un asfalto que contribuya con l demarcación de las carreteras.

Es conveniente realizar este mismo trabajo implementando emulsiones asfálticas.

### Lista de Referencias

Jiaqing W, Qiang, L, Guanwei S, Sang L, Dongdong, G et al. (2022). *Investigation on the comprehensive durability and interface properties of coloured ultra-thin pavement overlay* [Article, Case Studies in Construction Materials]. Science Direct.

Ryosuke, A, Tomoyuki, I, Yasuhiro, M et al. (2011). *Does colored pavement make non-signalized intersections safer? A case study in Japan* [Article, Procedia Social and Behavioral Sciences]. Science Direct.

Autelitano, F. (2021). *Color durability of pigmented slurry surfacing after artificial aging tests simulating weathering and traffic* [Universidad di Parma, Conference Paper]. Science Direct.

Bastidas, J. Rondón, H. (2020). *Caracterización de mezclas de concreto asfáltico*. Universidad Piloto de Colombia.

Instituto Nacional de Vías. (2012). *Materiales y mezclas asfálticas y prospección de pavimentos*.

Obtenido el 20 de septiembre de 2023:

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>

Instituto Nacional de Vías. (2012). *Suministro de cemento asfáltico. Especificaciones generales de construcción de carreteras 2012*. Obtenido el 25 de septiembre de 2023:

<https://gerconcesion.co/invias2013/410%20SUMINISTRO%20DE%20CEMENTO%20ASFALTICO.pdf>

Correa, N. Flores, S. Lesino, G. (2003). *Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance*.

Obtenido el 18 de mayo de 2023 :

[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/81350/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/81350/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villanueva, J. Ranfla, A. Quintanilla, A. (2012). *Isla de calor urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido extremo*. Obtenido el 22 de mayo de 2023 :

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n1/art03.pdf>

Cepal-ONU. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Santiago: ONU*. Obtenido el 14 de marzo de 2023:

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

Rodríguez, C. (2019). *Del total de la red vial terciaria con la que cuenta Colombia, 96 % está en mal estado*. Obtenido el 13 de mayo de 2023:

<https://redempresarial.movilidadbogota.gov.co/sites/default/files/Cartilla%201%20Vision%20Cero.pdf>

Secretaria de movilidad. (2017). *Visión cero*. Obtenido el 28 de marzo de 2023:

<https://www.movilidadbogota.gov.co/web/node/1605>

Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. ED. El Comercio S.A.

Calvo, F. *Formulación de química inorgánica*. Obtenido el 21 de noviembre de 2023:

[https://www.ugr.es/~fgarcia/pdf\\_color/formulacioninor.pdf](https://www.ugr.es/~fgarcia/pdf_color/formulacioninor.pdf)

Tarelo, H. *Aglutinantes y conglomerantes*. Obtenido el 21 de noviembre de 2023:

[https://hctarelo.weebly.com/uploads/4/6/9/7/46979447/aglutinantes\\_y\\_aglomerados.pdf](https://hctarelo.weebly.com/uploads/4/6/9/7/46979447/aglutinantes_y_aglomerados.pdf)