

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES  
FOTOLUMINISCENTES APLICADOS EN LA SEÑALIZACIÓN  
HORIZONTAL**

**JUAN DAVID JIMENEZ NEGRETE  
PAULA CAMILA RUIZ PARRA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2016**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES  
FOTOLUMINISCENTES APLICADOS EN LA SEÑALIZACIÓN  
HORIZONTAL**

**JUAN DAVID JIMENEZ NEGRETE  
PAULA CAMILA RUIZ PARRA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO  
CIVIL**

**ASESOR DISCIPLINAR  
ING. DANIELLA RODRÍGUEZ URREGO  
ASESOR METODOLÓGICO  
LIC. ROY WALDHIERSEN MORALES PÉREZ**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
INGENIERIA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2016**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.ANTECEDENTES.....</b>	<b>12</b>
<b>3.OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>15</b>
<b>4.JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>5.MARCOS REFERENCIALES.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.1 Señalización Horizontal.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.1.1 Marcas Longitudinales.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.1.2 Marcas Transversales.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1.2 Fotoluminiscencia.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.2.1 Fluorescencia.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.2.2 Fosforescencia.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.3 Luminiscencia.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.4 Iluminación.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.5 Radiación Solar.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.6 Coeficiente de resistencia al deslizamiento.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2 MARCO LEGAL.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2.1 ENSAYO DE MARSHALL PARA ELABORACIÓN DE</b>	
<b>BRIQUETAS I.N.V. E – 748 – 13.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2.2 COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO</b>	
<b>USANDO EL PÉNDULO BRITANICO I.N.V. E – 792 – 13.....</b>	<b>24</b>
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
<b>6.1 Enfoque de la investigación.....</b>	<b>25</b>
<b>6.2 Tipo de la investigación.....</b>	<b>25</b>
<b>6.3 FASES DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>26</b>

6.3.1 Fase 1: Determinar el material con la propiedad fotoluminiscente para la señalización horizontal.....	26
6.3.2 Fase 2: Identificación del potencial de iluminacion de los materiales en un pavimento flexible para la señalización horizontal.....	26
6.3.3 Fase 3: Evaluación el desempeño de la señalización horizontal con los materiales fotoluminiscentes.....	27
6.3.4 Fase 4: Análisis del costo en la implementación de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes.....	27
7.1 Determinar el material con la propiedad fotoluminiscente para la señalización horizontal.....	28
7.1.1 Propiedad fotoluminiscente.....	28
7.1.2 Capacidad de iluminacion.....	28
7.1.3 Duración de carga.....	29
7.2 Identificación del potencial de iluminación de los materiales fotoluminiscentes en un pavimento flexible para la señalización horizontal.....	29
7.2.1 Procedimiento.....	32
7.3 Evaluación del desempeño de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes.....	54
7.3.1 Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico I.N.V. E – 792 – 13.....	54
7.4 Análisis del costo en la implementación de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes.....	60
8.CONCLUSIONES.....	64
9.RECOMENDACIONES.....	66
10.BIBLIOGRAFÍA.....	67



## LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Tiempos de carga para polvo fotoluminiscente.....	29
Tabla 2. Tiempos de carga para polvo fotoluminiscente.....	29
Tabla 3. Condiciones para las briquetas mediante el ensayo Marshall.....	30
Tabla 4. Porcentaje de los materiales para la mezcla asfáltica.....	30
Tabla 5. Cantidad de Material fotoluminiscente.....	32
Tabla 6. Cantidad de material de las briquetas.....	34
Tabla 7. Bitácora, Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día.....	34
Tabla 8. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de descarga para la briketa 1 con 35g de material.	36
Tabla 9. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briketa 2 con 35g de material.	38
Tabla 10. Tiempo de duración de cargado para la briketa 3 con 40g de material.....	39
Tabla 11. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briketa 4 con 40g de material.....	41
Tabla 12. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briketa 5 con 45g de material.....	42
Tabla 13. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briketa 6 con 45g de material.	45
Tabla 14. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briketa 7 con 50g de material.	46
Tabla 15. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briketa 8 con 50g de material...	47
Tabla 16. Condiciones de las probetas.....	54
Tabla 17. Resultados del ensayo Marshall.....	54
Tabla 18. Valores de calificación C.R.D.....	58
Tabla 19. Valores de C.R.D a temperatura ambiente para la probeta con mezcla de 100g.....	58
Tabla 20. Valores de C.R.D a temperatura ambiente para la probeta con mezcla de 150g.....	59
Tabla 21. Valores de C.R.D a temperatura de 40 °C para la probeta con mezcla de 100g.....	59

Tabla 22. Valores de C.R.D a temperatura de 40 °C para la probeta con mezcla de 150g.....	59
---	----

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Demarcación de línea de pare.....	18
Figura 2. Demarcación de ceda el paso.....	18
Figura 3. Demarcación de líneas de antibloqueo.....	19
Figura 4. Demarcación de pasos peatonales Cebras.....	20
Figura 5. Demarcación de pasos de peatonales Senderos.....	20
Figura 6. Instrumentos del ensayo Marshall.....	22
Figura 7. Péndulo de Transport and Road.....	24
Figura 8. Material fotoluminiscente.....	28
Figura 9. Briquetas con el polvo fotoluminiscente de 35g y 62,64g.....	31
Figura 10. Briquetas con pintura fotoluminiscente de 35g y 62,64g.....	31
Figura 11. Mezcla de briquetas y material en exposición solar.....	33
Figura 12. Lugar oscuro para descarga.....	35
Figura 13. Lugar oscuro para descarga, totalmente sellado.....	35
Figura 14. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 1-35g.....	37
Figura 15. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 2-35g.....	38
Figura 16. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo cargado para la briqueta 3-40g.....	40
Figura 17. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 4-40g.....	41
Figura 18. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 5-45g.....	43
Figura 19. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 6-45g.....	44
Figura 20. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 7-50g.....	46
Figura 21. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 8-50g.....	47

Figura 22. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 35g.....	48
Figura 23. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 40g .....	49
Figura 24. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 45g .....	50
Figura 25. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 50g .....	51
Figura 26. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo cargado para la comparación de todas las briquetas.....	52
Figura 27. Probeta para ensayo de péndulo británico.....	55
Figura 28. Probetas con aplicación fotoluminiscente.....	56
Figura 29. Probeta en la realización del ensayo de péndulo británico.....	57
Figura 30. Probeta en la realización del ensayo de péndulo británico.....	57
Figura 31. Dimensiones demarcación de ceda el paso.....	61
Figura 32. Dimensiones demarcación de pasos peatonales Cebras.....	62
Figura 33. Dimensiones demarcación de pasos de peatonales Senderos....	62
Figura 34. Dimensiones demarcación de señal de pare.....	63

## LISTAS DE ANEXOS

Anexo A. Informe de laboratorio para coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico I.N.V. E – 792 - 13.....	71
---	----

## INTRODUCCIÓN

Los materiales fotoluminiscentes son utilizados a nivel mundial como generadores de iluminación externa en cuanto a las áreas de seguridad, en general enfocado en la señalización de edificios, aparcamientos, centros comerciales, estacionamientos, entre otros. La fotoluminiscencia ha sido utilizada desde la antigüedad como una forma de señalar en la oscuridad. He aquí donde se busca como intervenir desde el área de la ingeniería civil con materiales alternativos utilizados para seguridad e intervenir a nivel de seguridad vial.

Se actúa a nivel de pavimento con el fin de que la señalización horizontal sea visible en las horas nocturnas para los usuarios, con el fin de que subjetivamente el conductor reduzca velocidades, no sobrepase la cebs y el peatón cruce por donde es indicado. Con esto se podrá disminuir los accidentes y así dará respuesta a la interacción entre el uso de materiales fotoluminiscentes en la señalización horizontal.

Para el inicio de este proyecto se requirió de la elección del material que cumpla con la función de iluminar y que su duración sea por largo tiempo, puesto que algunos materiales son más eficientes que otros. Se realizaron comparaciones para encontrar la opción que se adaptará a las necesidades del proyecto.

Luego de la elección de los materiales se lleva a cabo pruebas de carga y descarga de estos para comprender la propiedad de su funcionamiento y así tener criterios sólidos para continuar este proceso. Después se realizó la aplicación en el asfalto del material teniendo en cuenta las condiciones adecuadas observando el comportamiento de absorción y adherencia, hasta llegar a cumplir con la necesidad que quiere el proyecto.

Como finalidad se indica los costos de implementación para apoyar su viabilidad y se realizan las conclusiones del proyecto, también se plantean las recomendaciones para otros investigadores sobre el tema que deseen realizar una aplicación similar en trabajos futuros.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud para el año 2015, Colombia tuvo un 18.5 % de mortalidad en la vía, por lo tanto, siempre estará presente ese riesgo de accidentalidad e inseguridad vial por ciertas causas que implican el mal manejo de vehículos y motos, el estado de las vías, la señalización, iluminación en las vías, la impericia de algunos conductores y el exceso de velocidad.

Así, la problemática es la falta de visibilidad de señalización horizontal, además la falta de iluminación pública exterior que ocasiona que no se respeten las indicaciones o normas reglamentarias encontradas en el Código de Tránsito de Colombia que deben tenerse en cuenta a la hora de conducir.

Puesto que la señalización es importante dado que desempeña funciones significativas en la regulación del tránsito, se busca que sean visibles y seguras tanto para el conductor como peatones y al no presentar estas condiciones de forma óptima se convierte en un problema, para ello se pretende intervenir con este proyecto.

Los accidentes ocurren las 24 horas del día, pero con mayor incidencia en horarios nocturnos por motivo de la pérdida de visibilidad de la señalización. Adicionalmente, la mínima iluminación pública exterior, que es necesaria porque “tiene el deber de brindar seguridad de los peatones y visibilidad a los conductores mientras se conduce”<sup>1</sup>. Por ese motivo este proyecto se centra en mejorar la visibilidad de la señalización horizontal en las vías durante el horario nocturno tales como las cebras, pasos peatonales, curvas peligrosas, entre otras. Se considera que las señales horizontales visibles cumplirán la función de reductores de velocidad, dando la capacidad de reacción con anterioridad a la aproximación en ciertos puntos críticos de la vía donde usualmente se presentan accidentes, ya que de acuerdo con cifras de la Secretaria de Movilidad para la última década el promedio de accidentes de tránsito es de 34.000 por año, con un gran porcentaje de daños y lesionados<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> MARTÍNEZ. Herman. Alumbrado público exterior. Universidad Nacional de Colombia. 2007. p 2-10

<sup>2</sup> BALANCE DE ACCIDENTALIDAD VIAL PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C... Secretaría distrital de movilidad. Bogotá D.C. Junio de 2015

Una opción para la posible solución y disminución de esta problemática consiste en la generación de una señalización alternativa basada en la utilización de materiales con características fotoluminiscentes, ubicando al país a la vanguardia de este tipo de proyectos que ya se han trabajado en diferentes partes de Europa estos últimos años.

Se quiere aprovechar así esa característica luminiscente del material en este proyecto para implementar una señalización horizontal que sea capaz de iluminar aquellos sectores con estos factores de iluminación críticos mediante materiales de tipo fotoluminiscentes generando un gran beneficio económico y ambiental en ahorro de energía.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo mejorar la visibilidad de la señalización horizontal en sectores de viales durante el horario nocturno?

## 2. ANTECEDENTES

El artículo de RODRIGUEZ<sup>3</sup> centra su interés en el aprovechamiento de la energía renovable en el país por la demanda energética global, para ello, se tiene en cuenta el uso ingenieril en pavimentos implementando algunas alternativas energéticas como piezoeléctricos, hélices horizontales, paneles solares, entre otros. La utilización de estos materiales varía de acuerdo a su función específica, los piezoeléctricos son utilizados de modo que la parte superior de la mezcla asfáltica genere energía por medio de la fricción de los carros. Otro tipo de energía renovable que aprovecha el viento generado por el transcurrir vehicular en las carreteras para obtener energía y autoabastecerse es la energía eólica. Por último, los paneles solares que se usan para almacenar la energía transmitida por la luz solar para abastecer la iluminación de las carreteras, estas opciones se pretenden utilizar en carreteras usando asfaltos modificados puesto que puede para ser implementados en Colombia como una solución a la demanda energética de una forma ecológica.

Por otra parte, en el artículo SALZANO<sup>4</sup> se describe el método para la elaboración de un entablado de cuarzo foto luminiscente con la función de recarga energética durante el día debido a que puede capturar cualquier luz sin perder energía para que en la noche ilumine, siendo esta radiación perceptible por el ojo humano durante varias horas. Para el desarrollo de este piso fue necesario utilizar el material denominado Adaxite, que es una mezcla de cuarzo, mármol y aglomerante hidráulico enriquecida con grano de cristal de fósforo que emite radiación electromagnética que se encuentra en el rango visible y permite desarrollar esta capacidad foto luminiscente dando una duración de 4 a 6 horas de iluminación durante la noche. Algunas características que hace atractiva esta propuesta es que no requiere de mantenimiento, no es inflamable, es libre de cualquier producto químico y se puede adecuar para superficies horizontales o verticales.

---

<sup>3</sup> RODRIGUEZ, Daniella. GARNICA, Viviana. RODRIGUEZ, Cristian. RODRIGUEZ, Leonardo. Energía renovable a partir de un pavimento flexible. Revisión. 25 de Septiembre del 2015.

<sup>4</sup> SALZANO, Clara. Photoluminescent: il primo pavimento che si illumina di notte senza elettricità. Fanpage it [en línea], 5 de marzo de 2015. Disponible en internet: <http://design.fanpage.it/photoluminescent-il-primo-pavimento-che-si-illumina-di-notte-senza-elettricità/>



El estudio de ROOSE GAARDE,<sup>5</sup> basa su argumentación en las pruebas realizadas en un laboratorio futurista con un equipo de diseñadores e ingenieros para diseñar autopistas inteligentes. En este estudio combinaron los conocimientos ingenieriles y de diseño para la realización de una pintura fluorescente mediante la utilización de micro esferas de vidrio retro reflectoras que ofrezca visibilidad bajo cualquier condición de luz, siendo utilizada en autopistas para el aprovechamiento de ser cargada por las luces de los carros además de convertirse en una pieza interactiva en la conducción. Esta pintura permitiría eliminar todos los inconvenientes de señalización, es económica porque solo necesita de una luz ya sea la solar o cualquiera que se proyecte sobre la superficie del pavimento, esto conllevaría a un ahorro en los costos de la infraestructura en materia de alumbrado público, además de ser ecológica al no utilizarse combustibles fósiles.

A su vez CAR LAND<sup>6</sup> se da a conocer un material útil para cualquier tipo de superficie, aunque su uso se ha hecho más interesante en pavimentos porque soporta las intemperies del clima y resiste al agua. Este material fue desarrollado por la empresa Pro-Teq donde le dieron el nombre de Starpath al pavimento luminiscente, el invento fue llevado a cabo en el parque Christ's Pieces, ubicado en Cambridge donde se efectuaron 140 metros de vías donde utilizaron el material iluminando el pavimento. Es llamativo porque llega a iluminar sin una fuente de electricidad externa siendo utilizado como energía renovable al absorber luz durante el día iluminando el pavimento de noche; también se apoya en los principios de la seguridad vial teniendo la posibilidad de remplazar la señalización en las vías para poder reducir los accidentes viales, lo que permitirá ahorrar en costos de iluminación y generar visibilidad a los conductores sin la utilización de la iluminación pública.

---

<sup>5</sup> GAARDE. Roose. Se prueba la pintura fluorescente para mejorar la visibilidad en las carreteras. 23 de abril del 2014. Disponible en internet: <https://www.studioroosegaarde.net/info/>

<sup>6</sup> ESCUELA CAR LAND. Pavimento luminiscente de Pro-Teq . 24 de febrero del 2014. Disponible en internet: <http://autoescuelacarland.com/blog/pavimento-luminiscente-de-pro-teq>

La siguiente patente **Bauelemente mit selbstleuchtenden Effekten**<sup>7</sup>, muestra la concesión de componentes con efecto luminoso que sirven para el diseño de las áreas de tráfico, fachadas, aceras, escaleras los cuales tienen un revestimiento de fósforo que está incrustado en resina sintética lo cuales permanecen de forma adhesiva como cualquier pintura, pero con una durabilidad limitada. Para su realización se aplica una capa inferior de un nano compuesto transparente después fósforo, que se cubre con el nano compuesto entre 0,1 y 40% de la masa, después se aplica a una superficie blanca, brillante o altamente reflectante generando un compuesto luminoso con capacidad fluorescentes combinado con compuestos prefabricados de bloque de hormigón blanco, placa base de hormigón de piedra fundido, vidrio o espejo fragmentado y pegado en paneles de fachada en hormigón. Se pretende con esta patente generar ese efecto de iluminación para el uso visual de las personas en el tráfico, aceras entre otras cosas de manera decorativa.

Para esta segunda patente **Floor plate**<sup>8</sup> lo que buscaron fue realizar paneles de suelo para uso decorativo mediante la luz, que consisten en varias capas presionadas juntas, una capa de soporte de MDF o material HDF también una capa de compuesto de madera plástica, tiene revestimientos de pintura o de plástico adicionales para sellado de la superficie, partículas reflectantes de la luz, esto le da la capacidad transmitir luz consiguiendo efectos de colores. Las propiedades de este material lo hacen no inflamable, antibacterianas o anti fúngicas, la superficie de la placa de suelo es fácil de limpiar y también tienen una cierta resistencia al desgaste pero tiene problemas como la falta de elasticidad y extensibilidad por lo que la visibilidad de la pintura tiende a perderse, Por lo tanto, el objeto del trabajo fue proporcionar una placa de suelo que sea resistente a las manchas y tener una alta resistencia al desgaste con la habilidad de transmitir la luz.

---

<sup>7</sup> BAUELEMENTE MIT SELBSTLEUCHTENDEN EFFEKTEN. Dab auf seine oberfläche eine transparente nanokomposilunterschicht aufgebracht ist worauf ein leuchtstoff aufgebracht ist, der mit einer nanokomposiberschicht abgedeckt ist. Inventor: REINCHARDT WOLFRAM. E04C 1/39. Fecha de solicitud: 20 de febrero, 2004. Alemania, patente de concesión. DE202004002830 U1. 8, julio, 2004.

<sup>8</sup> FUßBODENPLATTE. Hauptanspruch fußbodenplatte, gekennzeichnet durch eine transparente oder transluzente oberflächenschicht aus nanopartikeln. Inventor: WITEX FLOORING PRODUCTS GmbH. Int. CL.: E04F 15/10. Fecha de solicitud: 21 de diciembre, 2007. Alemania, patente de concesión. DE 202007018099 U1. 18, junio, 2009.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento de materiales fotoluminiscentes aplicados a la señalización horizontal que mejore la visibilidad en sectores viales durante horarios nocturnos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el material con la propiedad fotoluminiscente.
- Identificar el potencial de iluminación de los materiales fotoluminiscentes en un pavimento flexible para la señalización horizontal.
- Evaluar el desempeño del conjunto entre el pavimento flexible y el material.
- Establecer los costos de implementación de materiales fotoluminiscentes aplicados en la señalización horizontal para las demarcaciones.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto parte de la necesidad de apoyar la reducción de accidentes en las vías urbanas durante las horas nocturnas para sectores en donde se necesita de una señal de alerta que sea capaz de incidir en el conductor subjetivamente para ocasionar una respuesta rápida que permita reducir la velocidad. Para ello se quiere diseñar un de señalización horizontal iluminable con materiales fotoluminiscentes, aprovechando sus características de absorción por medio de la luz solar o artificial para iluminar en las horas nocturnas.

El propósito es ubicarla en lugares específicos donde la reducción de velocidad sea necesaria, para que al momento de ir conduciendo ésta sea visible. Para ello se trabaja con materiales fotoluminiscentes, buscando que cumplan la función de iluminar por más tiempo por medio de pruebas de tiempo de carga y luz, además que sea compatible con los componentes de la carpeta de rodadura.

Después de haber encontrado la mejor opción de agregado se debe evaluar el desempeño de la carpeta de rodadura con el ensayo de coeficiente de resistencia al deslizamiento mediante el péndulo británico el cual determinara la resistencia que tiene el asfalto a deslizarse por esa razón se somete a este ensayo, con el objetivo de incidir directamente sobre los motociclistas ante la presencia de lluvia.

Tendrán beneficios los usuarios de las vías como son peatones y conductores en tramos pequeños en sectores específicos porque evitará o reducirá los accidentes al alertar de peligro siendo señal de reducir la velocidad mediante la señalización horizontal iluminable en la carpeta de rodadura, que sería una capa delgada sobre el pavimento.

## **5. MARCOS REFERENCIALES**

### **5.2 MARCO CONCEPTUAL**

#### **5.2.1 Señalización Horizontal**

La señalización horizontal son marcas viales que se conforman por líneas, flechas, símbolos que están pintadas sobre el pavimento y estructuras de la vía de circulaciones. Su función es evitar accidentes vehiculares para ello deben ser de carácter llamativo y reflectivas, estando debidamente iluminadas<sup>9</sup>.

Se deben pintar con pintura fría o caliente sobre el concreto asfáltico y son pintadas los 30 días después de construida la carpeta de rodadura, se puede realizar otro tipo de material que cumpla con las condiciones de no ser deslizante para autos y peatones a su paso.

##### **5.2.1.1 Marcas Longitudinales**

Las marcas longitudinales son líneas continuas sobre el asfalto con la funcionalidad de separar los dos sentidos de circular y evitar que los vehículos no deben atravesarlas, ni transitar sobre ellas, constituida por dos líneas continuas al borde de toda la calzada.

##### **5.2.1.2 Marcas Transversales**

- **Demarcación de línea de pare**

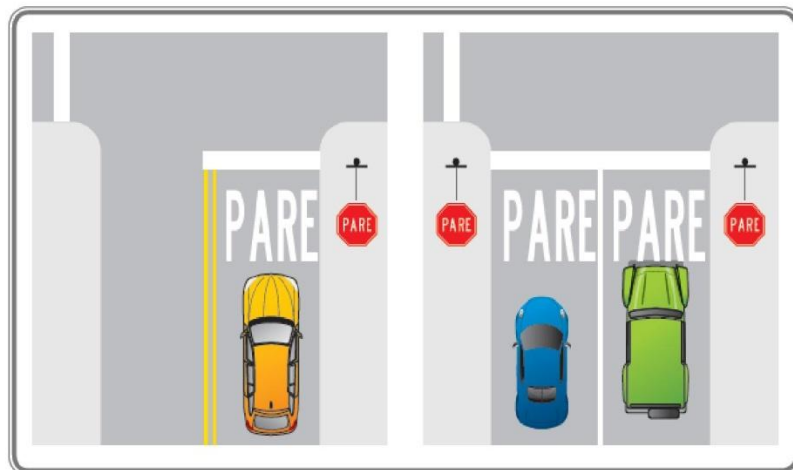
La demarcación de línea de pare deberá usarse en zonas urbanas y rurales para indicar el sitio de parada de vehículos anterior a una señal de tránsito o un semáforo, que reglamenta su detención antes de entrar a una intersección<sup>10</sup>. Esta demarcación debe estar antes de la demarcación dirigida para el paso de los peatones y es una franja continua pintada de blanco en todos los sentidos del tránsito. Figura 1

---

<sup>9</sup> MINISTERIO DE TRASPORTE, Manual de Señalización vial, Bogotá D.C., mayo de 2004. Capítulo 3, p 107-108

<sup>10</sup> ibíd. p 132-133

Figura 1. Demarcación de línea de pare.

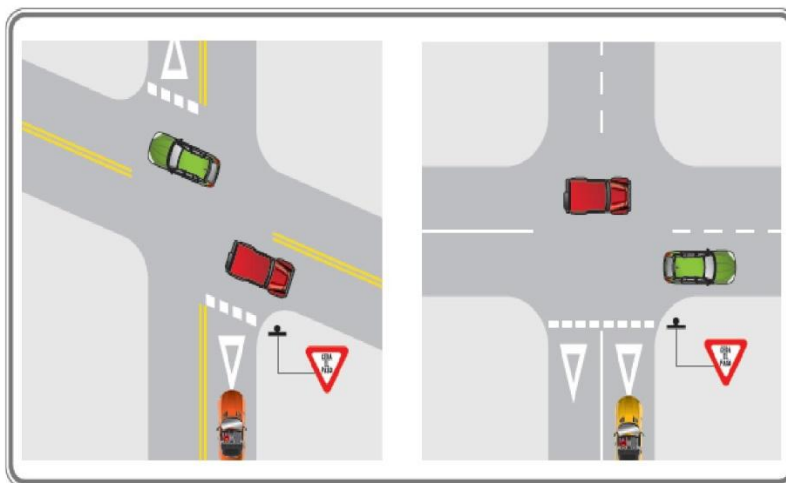


Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.

- **Demarcación de ceda el paso**

Las demarcaciones de ceda el paso debe usarse en vías urbanas o rurales de alta velocidad, para complementar la señal y debe ser de color blanco<sup>11</sup>.  
Figura 2

Figura 2. Demarcación de ceda el paso.



Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.

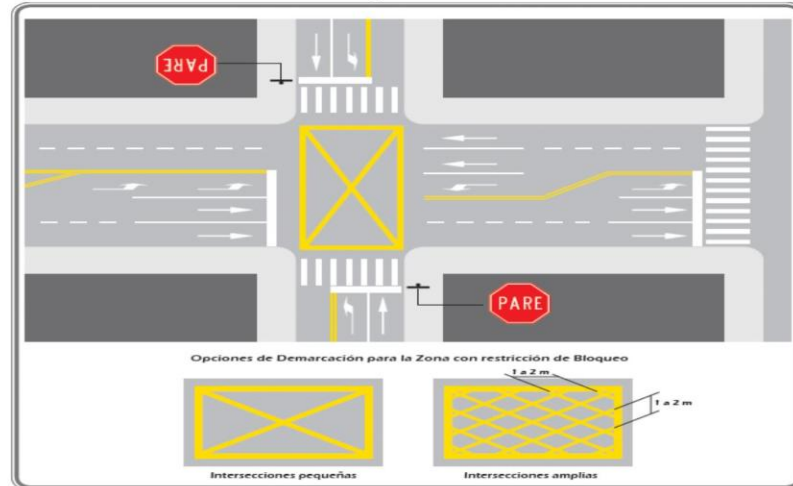
<sup>11</sup> Ibíd.



- **Líneas de antibloqueo**

Las líneas de antibloqueo como su nombre lo dice son para evitar los bloqueos. Tienen por objeto notificar a los conductores la prohibición de obstruir en una intersección, aun cuando el semáforo se lo permita o gocen de prioridad<sup>12</sup>. Figura 3

*Figura 3. Demarcación de líneas de antibloqueo.*



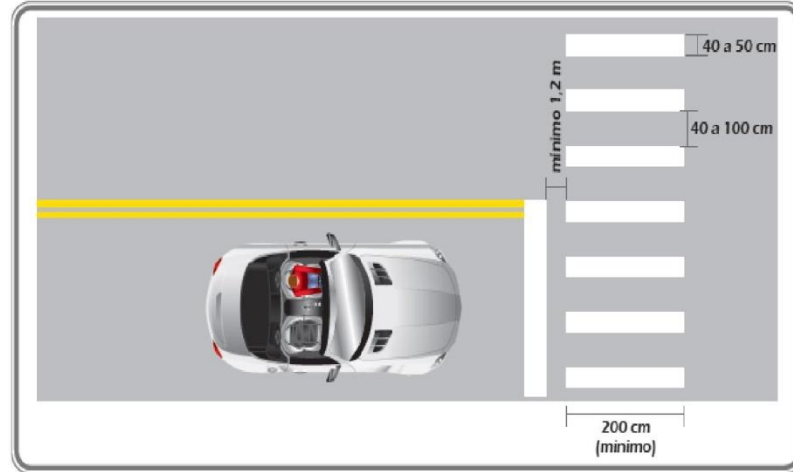
*Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.*

- **Demarcaciones de pasos peatonales**

Las demarcaciones de pasos peatonales son empleadas con el fin de indicar la trayectoria que deben de seguir los peatones por donde atravesar la calzada asfáltica de tránsito, para su uso deben ser de color blanco, son líneas continuas paralelas a la circulación del tránsito y deben de ser usadas en lugares donde se presente alto volumen de peatones con la ayuda de dispositivos como semáforos entre otros. Figura 4

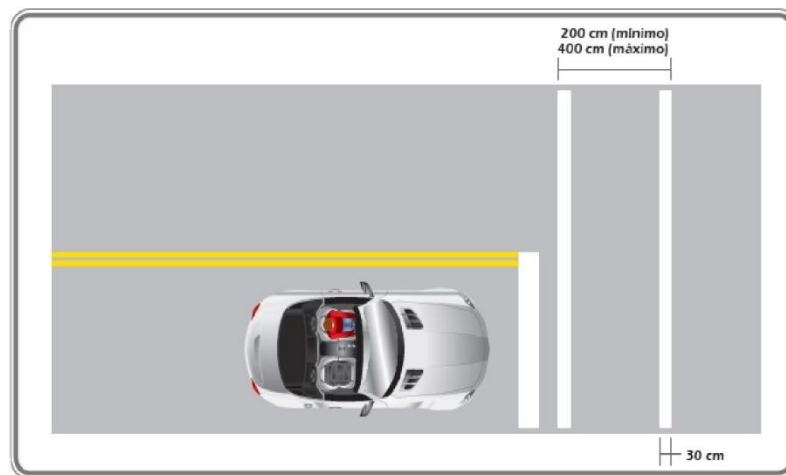
<sup>12</sup> Ibíd.

Figura 4. Demarcación de pasos peatonales Cebra.



Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.

Figura 5. Demarcación de pasos de peatonales Senderos.



Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.

## 5.2.2 Fotoluminiscencia

### 5.2.2.1 Fluorescencia

Es un tipo particular de luminiscencia, que caracteriza a las sustancias que son capaces de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas y luego emitir parte de esa energía en forma de radiación electromagnética de longitud de onda diferente dependiendo de las



*condiciones climáticas* <sup>13</sup>, emitiendo luz durante un tiempo prolongado por que la emisión de energía se hace de forma lenta.

#### **5.2.2.2 Fosforescencia**

La fosforescencia es una propiedad que tienen algunas sustancias para absorber la energía, almacenarla y emitirla como radiación por lo que requiere de luz para que sean funcionales teniendo un retraso entre la absorción y reemisión de la energía. <sup>14</sup>

#### **5.2.3 Luminiscencia**

Es una propiedad de iluminación, resultado de fenómenos electro-ópticos es un proceso de emisión de luz que se presenta de acuerdo con los factores de temperatura ambiente y baja. <sup>15</sup>,

#### **5.2.4 Iluminación**

La iluminación es la luz emitida que se encuentra en los rangos ultra violetas y es visible a los rangos de los ojos humanos, se genera por medio del sol o ya sea por diferentes dispositivos que presentan un tipo de resplandor cumpliendo la función de aclarar interiores o exteriores oscuros.

#### **5.2.5 Radiación Solar**

*La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.* <sup>16</sup> Para obtener la radiación se hace a partir de imágenes satelitales de tipo físico y estadístico mediante la ley de la conservación de energía, esta llega desde el sol de forma directa sin que sufra cambio, también puede ser reflejada en la superficie de la tierra y se difusa mediante la atmósfera como en las nubes.

---

<sup>13</sup> PÉREZ Millán, BECÚ Villalobos, La proteína verde fluorescente ilumina la biociencia. Medicina, Buenos Aires, 2009, p 370-374.

<sup>14</sup> Ibíd.

<sup>15</sup> CONNORS, Kenneth A. Curso de análisis farmacéutico (Ensayo del medicamento). Reverté, 1981. p. 258-370

<sup>16</sup> SUAREZ. Diego. Evaluación de la radiación solar en Bogotá a partir de imágenes del satélite goes. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias. Departamento de geociencias. 2013. 38 p.

### 5.2.6 Coeficiente de resistencia al deslizamiento

El coeficiente de la resistencia al deslizamiento es la propiedad que tiene una superficie de mantener la adherencia a las pisadas de un peatón o el paso de una rueda de un vehículo, depende del material y la suela del calzado como de la superficie del asfalto.

## 5.3 MARCO LEGAL

### 5.3.1 ENSAYO DE MARSHALL PARA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS I.N.V. E – 748 – 13

El ensayo Marshall es un método ideado para dosificar las mezclas asfálticas empleando asfaltos sólidos y materiales granulares. Mediante la prueba, se obtiene la cantidad apropiada de asfalto para poder garantizar la suficiente estabilidad y así mismo las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones<sup>17</sup>.

*Figura 6. Instrumentos del ensayo Marshall*



*Fuente: Propia*

<sup>17</sup> MADRID María, SALAS Sandra, Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero y un blastómero. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad Javeriana de Colombia, Facultad de ciencias. Departamento de Infraestructura vial. 2007. 3 p.

Para la elaboración de las briquetas y gradación del agregado, se preparará con diferentes contenidos de asfalto con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos, se necesitará por lo menos dieciocho 18 probetas y para cada probeta se necesitan aproximadamente 1200 g de ingredientes.

Los agregados se deberán secar hasta masa constante a una temperatura entre 105° C y 110° C (221° F y 230° F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados.

En general se recomiendan las porciones que se indican a continuación:

25.0 mm a 19.0 mm (1" a 3/4")

19.0 mm a 9.50 mm (3/4" a 3/8")

9.50 mm a 4.75 mm (3/8" a No.4)

4.75 mm a 2.36 mm (No.4 a No.8)

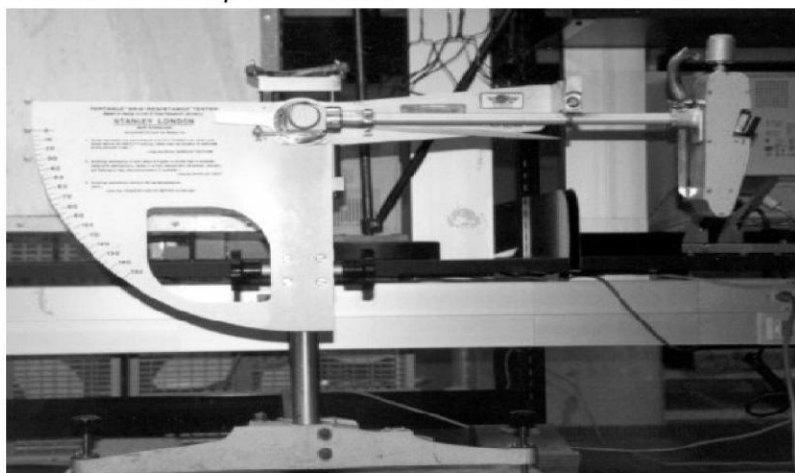
Pasante de 2.36 mm (No.8)

Para la compactación se aplican 50 o 75 golpes según se especifique, de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación y finaliza con la estación de la briqueta después de 24 horas.

### 5.3.2 COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO BRITANICO I.N.V. E – 792 – 13

La Resistencia al Deslizamiento es la propiedad que tiene una superficie para mantener la adherencia de la pisada de un peatón y de la rueda de un vehículo. Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para medir las propiedades superficiales de fricción o la resistencia al deslizamiento utilizando el péndulo de Transport and Road Research Laboratory.

*Figura 7. Péndulo de Transport and Road*



*Fuente: INVIAS Instituto Nacional De Vías de Colombia. I.N.V. E – 792 -13*

Las Muestras de laboratorio planas deben tener una superficie de ensayo de al menos 89 x 152 mm. Y para la prueba de pulimento acelerado con llanta, deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 45 x 90 mm y deben ser curvas en un arco de círculo de 406 mm de diámetro.

## **6. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo el procedimiento de este proyecto y así lograr el desarrollo del mismo se tendrá que tener fuentes de calidad y confiables para fundamentar el proyecto, deben usarse revistas, libros, también publicaciones en bases de datos como Science, Direct, Scielo, El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la NSR-10 al igual que la orientación de docentes con conocimientos sobre el tema entre otras, obteniendo así datos verídicos para el proyecto por ser una actividad que está vinculada con todas las fases del proyecto.

Los alcances de la investigación están en la elaboración de una señalización horizontal fotoluminiscente y mediante de los ensayos empleados se podrán establecer las condiciones necesarias para que este proyecto tenga la mejor funcionalidad para así garantizar el objetivo deseado.

### **6.1 Enfoque de la investigación.**

El enfoque de investigación es de tipo cuantitativo porque se reúne datos e información mediante ensayos de laboratorios que permitirán obtener las características ideales para una señalización horizontal no convencional, usando materiales fotoluminiscentes.

### **6.2 Tipo de la investigación.**

La investigación es de tipo experimental ya que no hay procesos investigativos de una señalización horizontal realizada con materiales fotoluminiscentes en el país, para ello se hará una exploración en búsqueda de información sobre este tipo de material y señalización horizontal que nos permitan tener datos verídicos para este proyecto.

### **6.3 FASES DE INVESTIGACIÓN**

Se dividirá en fases la investigación para el proceso del proyecto, las fases son las siguientes:

#### **6.3.1 Fase 1: Determinar el material con la propiedad fotoluminiscente para la señalización horizontal.**

- Identificar el mejor material para la señalización teniendo en cuenta la propiedad fotoluminiscente en interacción con el asfalto. Para esto, se realizaron consultas en libros y artículos sobre este tipo de materiales, logrando así encontrar datos esenciales como el funcionamiento y capacidad de iluminación que permitieron encontrar el material apropiado para el proyecto, es necesario tener en cuenta las recomendaciones dadas por el instituto Nacional de vías (INVIAS) e investigar en bases de datos y obtener asesoría de profesores.
- Selección del material fotoluminiscente más adecuado para generar la señalización horizontal capaz de cumplir con la función de iluminar en las horas nocturnas. Es fundamental revisar las especificaciones de cada material para así seleccionar el que mejor se adapte al proyecto supliendo las necesidades requeridas. De tal forma, se debe consultar en bases de datos y con profesionales del tema.

#### **6.3.2 Fase 2: Identificación del potencial de iluminación de los materiales en un pavimento flexible para la señalización horizontal.**

- Realización de pruebas de carga y descarga de iluminación para los materiales fotoluminiscentes con el fin de encontrar el tiempo de duración de la iluminación para cada material y así innovar en la señalización horizontal.
- Comparación de las pruebas realizadas a los materiales fotoluminiscentes. De esta forma se seleccionó el mejor desempeño

en duración de iluminación capaz de cumplir con las necesidades del proyecto.

### **6.3.3 Fase 3: Evaluación el desempeño de la señalización horizontal con los materiales fotoluminiscentes.**

- Se deben realizar ensayos para la señalización horizontal con el material fotoluminiscente donde se puedan simular las situaciones a las que se enfrentará al momento de su uso, para ello se requiere saber el desgaste y deslizamiento al cual será sometida durante el uso en una vía, por eso se tiene la guía del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia con el ensayo Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico en la norma I.N.V. E – 792 – 13, para identificar que tan eficiente es el funcionamiento de este sistema y que tan viable puede llegar a ser su implementación.

### **6.3.4 Fase 4: Análisis del costo en la implementación de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes.**

- Se indagaran en revistas, periódicos y sitios web destinados para este tipo de información donde se logre tener información sobre el costo utilizado para la realización e implementación de la señalización horizontal.
- Obtendremos un análisis de costos de implementación sobre las demarcaciones que se utilizan en la señalización horizontal y elaboración para el material.



## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 7.1 Determinar el material con la propiedad fotoluminiscente para la señalización horizontal.

Para llevar a cabo la selección del material se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

#### 7.1.1 Propiedad fotoluminiscente.

La propiedad fotoluminiscente le permitiría a la señalización tener la capacidad de iluminar durante las horas nocturnas, aprovechando la característica de carga y descarga de iluminación que tiene este tipo de materiales por ese motivo se probó polvos y pinturas.

En la figura 8, se muestra el material fotoluminiscente empleado para el ensayo del proyecto.

*Figura 8. Material fotoluminiscente.*



*Fuente: Propia*

#### 7.1.2 Capacidad de carga de luz.

Para la elección del material se tuvo en cuenta la capacidad de carga del material para esto es fundamental el tipo de luz necesaria para ser cargado.



### 7.1.3 Duración de iluminación

Parte fundamental para este proceso es la duración de iluminación del material fotoluminiscente, por ese motivo para la elección del material se realizó una prueba de carga y descarga para el polvo y la pintura. (Tabla 1 y 2)

Tabla 1. Tiempos de carga para el polvo fotoluminiscente.

Polvo Fotoluminiscente	
Tiempo Carga (min)	Tiempo Descarga ( min)
60	140
120	240

Fuente: Propia.

Tabla 2. Tiempos de carga para la pintura fotoluminiscente.

Pintura Fotoluminiscente	
Tiempo Carga (min)	Tiempo Descarga ( min)
60	120
120	200

Fuente: Propia.

Por los resultados en las tablas anteriores se eligió el polvo fotoluminiscente con la capacidad de duración de iluminación el doble del tiempo de cargado y superando los tiempos de la pintura.

## 7.2 Identificación del potencial de iluminación de los materiales fotoluminiscentes en un pavimento flexible para la señalización horizontal.

Para generar la prueba de **potencial de iluminación** primero se realiza briquetas para las cuales se tomó como guía la norma I.N.V.E. 748-13 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para compactación de briquetas, a partir del ensayo Marshall con las condiciones impuestas por esta norma. En las siguientes tablas se muestran las condiciones usadas para la elaboración de las briquetas.

Se tomo una cantidad de agregados iniciales con el fin de obtener la masa seca de los mismos y partir de ahí la dosificación para cada briqueta. (Tabla 3)

*Tabla 3. Condiciones para las briquetas mediante el ensayo Marshall.*

<b>Material</b>	<b>Recipiente (g)</b>	<b>R + M (g)</b>	<b>Masa(g)</b>	<b>Masa seca (g)</b>
Grava	181,42	3,009	2827,58	2786,58
Arena gruesa	118,3	1,865	1746,7	1691,7
Arena fina	198,74	2,125	1926,26	1853,26
Llenante	174,5	1282,04	1456,54	1384,18

*Fuente: Propia.*

Como el proyecto es el análisis del comportamiento de materiales fotoluminiscentes aplicados en la señalización horizontal se tomo la norma Instituto Nacional De Vías de Colombia. I.N.V. E – 792 -13 con porcentajes de agregados específicos para la elaboración de las briquetas, para la preparación de la mezcla se debe llegar a 1200g entre el agregado y la mezcla, por esta razón cada briqueta contara una cantidad de agregados mostrados. (Tabla 4)

*Tabla 4. Porcentaje para la mezcla asfáltica*

<b>Material</b>	<b>Porcentajes %</b>	<b>Masa (g)</b>
Grava	47,5	541.2
Arena gruesa	24,5	279.6
Arena fina	19	216
Llenante	9	103
Cemento asfáltico	5	60

*Fuente: INVIAS Instituto Nacional De Vías de Colombia. I.N.V. E – 748 -13*

Teniendo las briquetas se continuó con la realización de la aplicación del material fotoluminiscente en las briquetas, para ello se utilizaron diferentes cantidades de material (Tabla 5), usando polvo fotoluminiscente indicado en la figura 9 y pintura fotoluminiscente mostrada en la figura 10, para observar la filtración del material por los vacíos en la briqueta.

*Tabla 5. Cantidad de Material fotoluminiscente.*

<b>Material</b>	<b>Briqueta</b>	<b>Cantidad (g)</b>
Polvo	1	35
fotoluminiscente	2	62,64
Pintura	3	35
fotoluminiscente	4	62,64

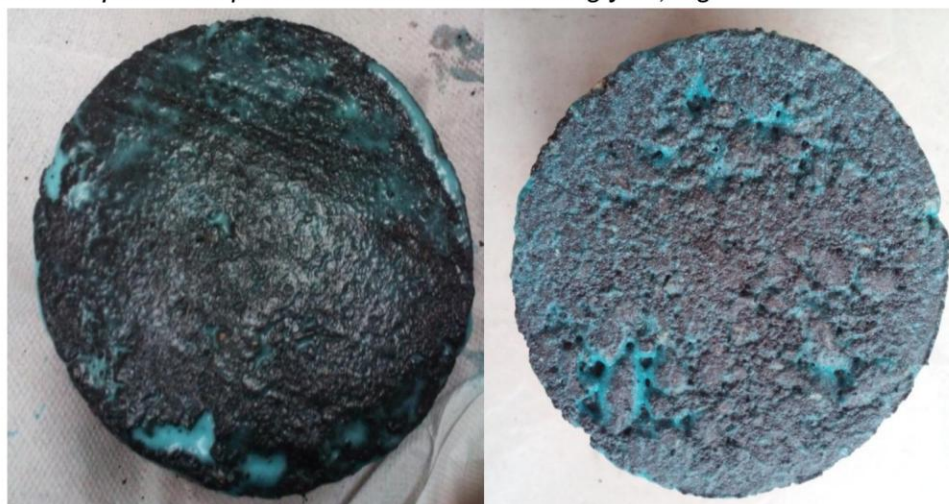
*Fuente: Propia.*

*Figura 9. Briquetas con el polvo fotoluminiscente de 35g y 62,64g.*



*Fuente: Propia.*

*Figura 10. Briquetas con pintura fotoluminiscente de 35g y 62,64g.*



*Fuente: Propia.*

En la figura 9, se evidencia el comportamiento del polvo fotoluminiscente con resultados favorables a la filtración a los vacíos presentados en la briqueta, a diferencia de la pintura de la figura 10 que presento parte de la cantidad aplicada infiltrada en los vacíos de la briqueta.

Teniendo los resultados a la filtración del material fotoluminiscente en los vacíos de la briqueta se procedió a la realización de diferentes pruebas y ensayos, para obtener la capacidad de carga de iluminación del material. De esta forma se realizaron pruebas las cuales consistieron en la carga y descarga del material mediante el siguiente procedimiento:

### 7.2.1 Procedimiento

- **Descargar completamente el material.**

Para la descarga del material se ubicó en un lugar completamente oscuro donde no tuviera contacto con ninguna fuente de luz para obtener una lectura de descarga de tiempo cero al momento de iniciar pruebas

Con la elección de material fotoluminiscente anteriormente, se realizaron briquetas con diferentes cantidades del material para observar su comportamiento mecánico.

*Tabla 6. Cantidad de material en las briquetas.*

Material	Briqueta	Cantidad (g)
Polvo fotoluminiscente	1 y 2	35
	3 y 4	40
	5 y 6	45
	7 y 8	50

*Fuente: Propia.*

- **Cargar por un tiempo determinado el material durante el día.**

Obteniendo la descarga total del material se procede a cargar el material con la briqueta por tiempos determinados (Tabla 11), datos que fueron registrados en una bitácora (Tabla 6). Se inició con un tiempo de carga de 15 minutos, seguido de 30 minutos, 60 minutos, dos horas así sucesivamente hasta las 4 horas.

Figura 11. Mezcla de briquetas y material en exposición solar.



Fuente: Propia.

- **Tomar tiempos de inicio y final de carga.**

En una bitácora (Tabla 6), se implementó los datos de tiempos para seis ocasiones empezando con 15 y 30 minutos seguidos de 1, 2,3 y 4 horas, lo que representa las seis tomas de datos. Todos con un dato de tiempo de inicio 0 hasta cumplir el tiempo de carga.

Tabla 7. Bitácora, Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día.

Descripción del día	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)
Día soleado con nubes (21°)	10:15	10:30	15
Día soleado con nubes (21°)	11:30	12:00	30
Día soleado con nubes (21°)	13:00	14:00	60
Día nublado (19°)	07:00	09:00	120
Día nublado (19°)	14:00	17:00	180
Día nublado (20°)	10:00	14:00	240

Fuente: Propia.

- **Elección de un lugar completamente oscuro para la descarga.**

Procediendo en la elección del lugar se implementó un método el cual consiste en una caja totalmente sellada con divisiones para cada material (Figura 12), con orificios de observación y toma de datos como se muestra en la figura 13 totalmente a oscuras.

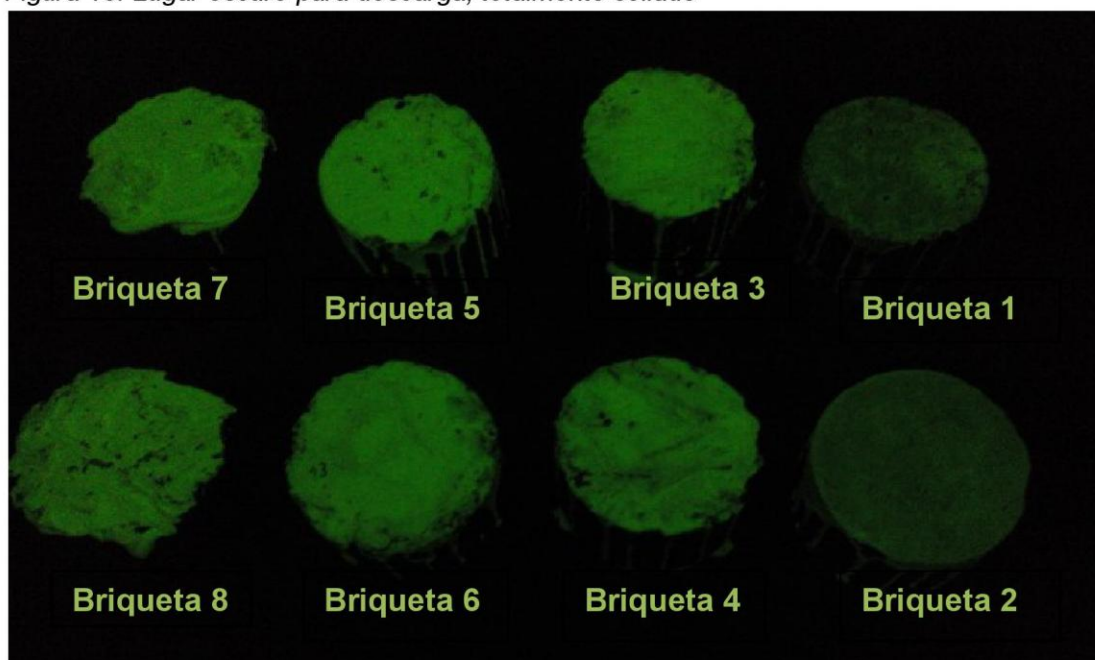


*Figura 12. Lugar oscuro para descarga.*



*Fuente: Propia*

*Figura 13. Lugar oscuro para descarga, totalmente sellado*



*Fuente: Propia*

- **Tiempo de inicio y final de descarga.**

Los tiempos finales fueron tomados con una revisión periódica cada 30 minutos y al disminuir la intensidad de iluminación, los tiempos de toma de datos disminuían cada 5 minutos hasta llegar al punto de apagado total. (Tabla 7, 8, 9,10 y 11)

- **Elaboración de graficas carga vs descarga**

Con los datos obtenidos de carga y descarga se procede a realizar las gráficas de carga vs descarga de cada material para observar el comportamiento de estos. (Figura 14, 15, 16,17 y 18)

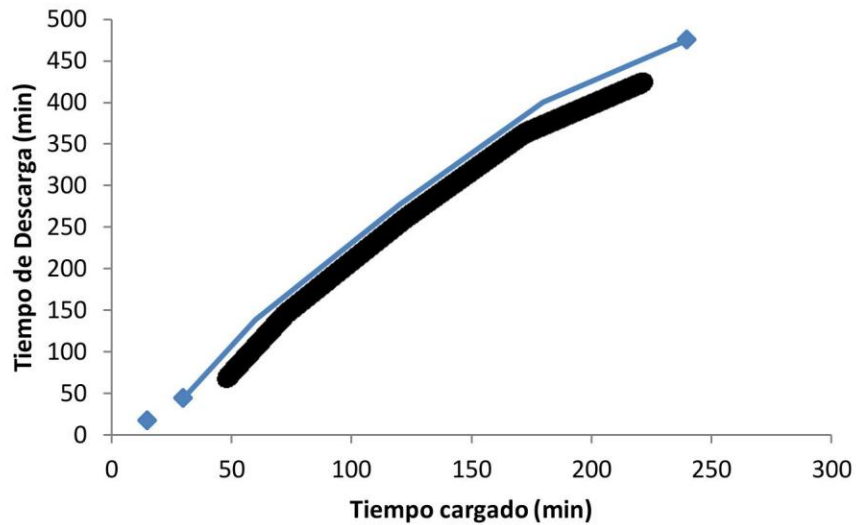
*Tabla 8. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de descarga para la briqueta 1 con 35g de material.*

<b>Briqueta 1</b>		<b>Carga</b>		<b>Descarga</b>		
<b>Descripción del día</b>	<b>Hora Inicio</b>	<b>Hora Final</b>	<b>Tiempo Cargado (min)</b>	<b>Hora Inicio</b>	<b>Hora Final</b>	<b>Tiempo de Descarga (min)</b>
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:47	17
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:44	44
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:18	138
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:37	277
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	01:40	400
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	21:55	475

*Fuente: Propia.*



Figura 14. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 1-35g.



Fuente: Propia

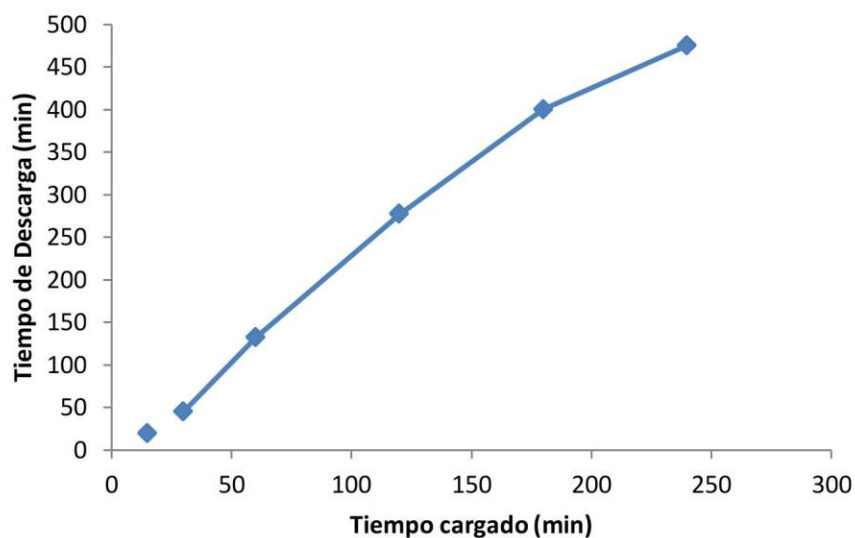
En la tabla 8 se especifica la toma de datos para la briqueta 1 con un contenido de 35 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 17 minutos hasta los 475 minutos. Figura 14 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 1 con contenido de 35 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

Tabla 9. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 2 con 35g de material.

Briqueta 2		Carga		Descarga		
Descripción del día	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo de Descarga (min)
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:49	19
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:45	45
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:18	132
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:37	277
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	01:40	400
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	21:55	475

Fuente: Propia.

Figura 15. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 2-35g.



Fuente: Propia

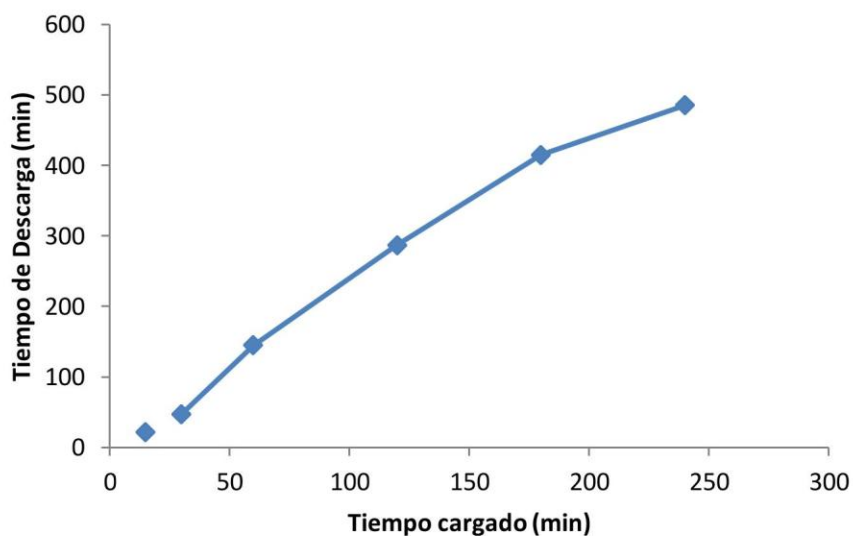
En la tabla 9 se especifica la toma de datos para la briqueta 2 con un contenido de 35 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 19 minutos hasta los 475 minutos. Figura 15 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 2 con contenido de 35 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

*Tabla 10. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 3 con 40g de material*

Briqueta 3		Carga		Descarga		
Descripción del día	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo de Descarga (min)
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:52	22
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:47	47
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:25	145
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:46	287
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	01:55	415
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	22:05	485

*Fuente: Propia*

Figura 16. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo cargado para la briqueta 3-40g.



Fuente: Propia

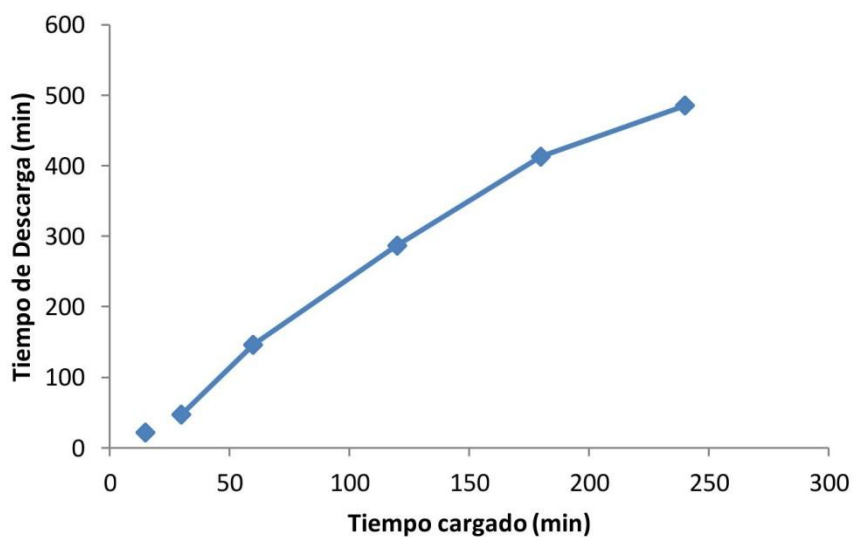
En la tabla 10 se especifica la toma de datos para la briqueta 3 con un contenido de 40 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 22 minutos hasta los 485 minutos. Figura 16 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 3 con contenido de 40 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

Tabla 11. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 4 con 40g de material.

Descripción del día	Carga			Descarga		
	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo de Descarga (min)
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:52	22
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:47	47
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:26	146
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:46	287
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	01:53	413
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	22:05	485

Fuente: Propia

Figura 17. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 4-40g.



Fuente: Propia

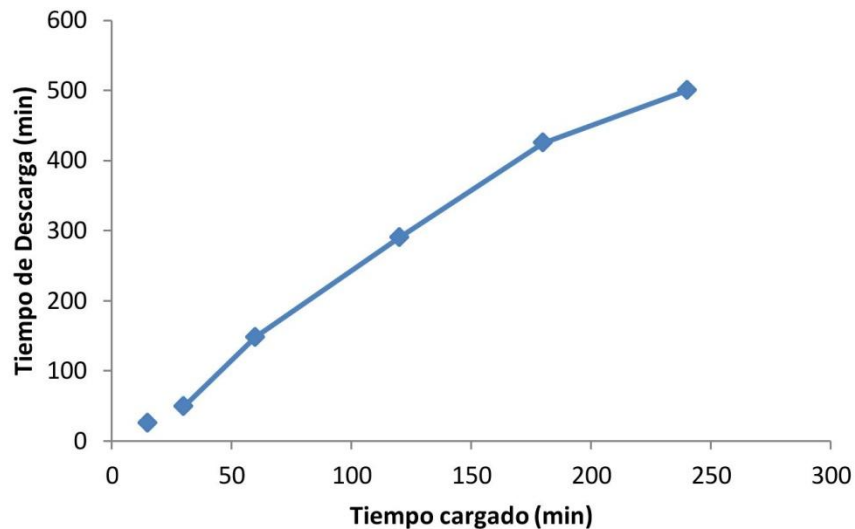
En la tabla 11 se especifica la toma de datos para la briqueta 4 con un contenido de 40 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 22 minutos hasta los 485 minutos. Figura 17 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 4 con contenido de 40 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

*Tabla 12. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 5 con 45g de material.*

Briqueta 5		Carga		Descarga		
Descripción del día	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo de Descarga (min)
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:55	25
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:49	49
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:28	148
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:50	290
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	00:05	425
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	22:20	500

*Fuente: Propia*

Figura 18. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 5-45g.



Fuente: Propia

En la tabla 12 se especifica la toma de datos para la briqueta 5 con un contenido de 45 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 25 minutos hasta los 500 minutos. Figura 18 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 5 con contenido de 45 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

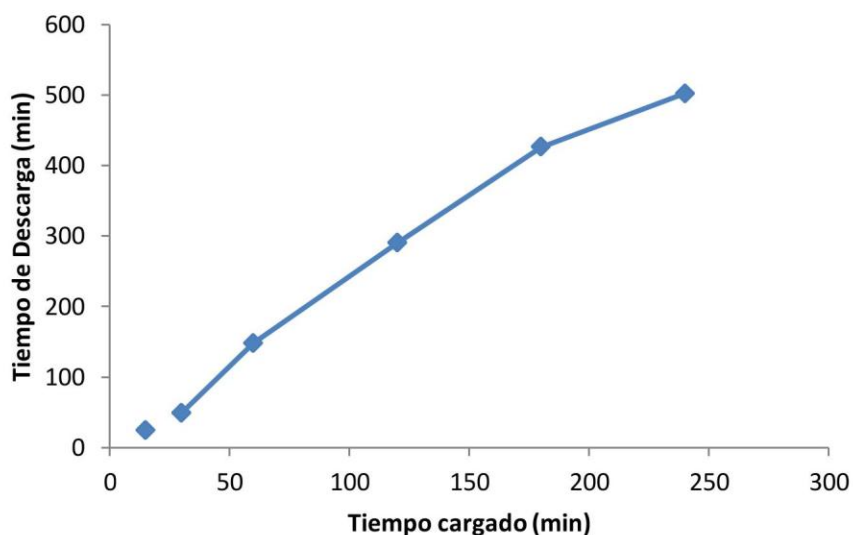


Tabla 13. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 6 con 45g de material.

Briqueta 6		Carga		Descarga		
Descripción del día	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo de Descarga (min)
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:54	24
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:49	49
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:28	148
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:52	290
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	00:06	426
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	22:22	502

Fuente: Propia.

Figura 19. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 6-45g.



Fuente: Propia

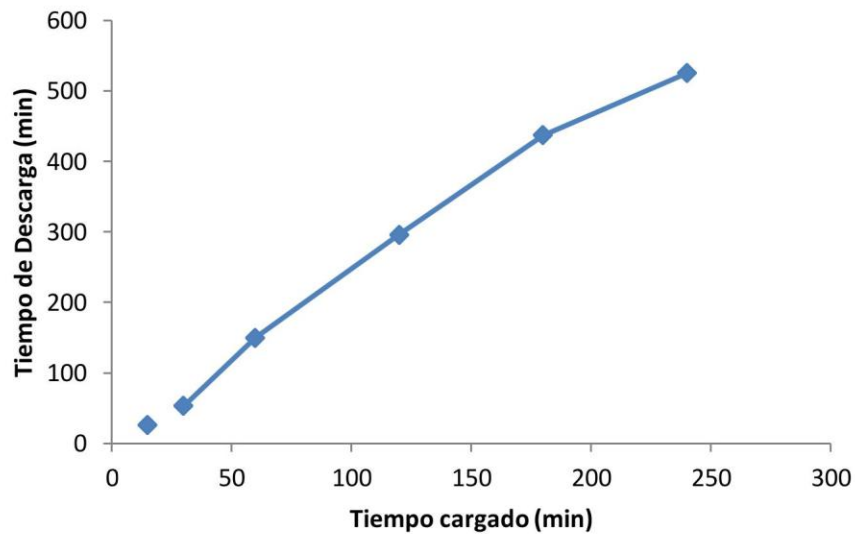
En la tabla 13 se especifica la toma de datos para la briqueta 6 con un contenido de 45 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 24 minutos hasta los 502 minutos. Figura 19 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 6 con contenido de 45 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

*Tabla 14. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 7 con 50g de material.*

<b>Briqueta 7</b>		<b>Carga</b>		<b>Descarga</b>		
<b>Descripción del día</b>	<b>Hora Inicio</b>	<b>Hora Final</b>	<b>Tiempo Cargado (min)</b>	<b>Hora Inicio</b>	<b>Hora Final</b>	<b>Tiempo de Descarga (min)</b>
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:56	26
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:53	53
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:30	150
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:56	296
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	00:17	437
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	22:45	525

*Fuente: Propia*

Figura 20. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 7-50g.



Fuente: Propia

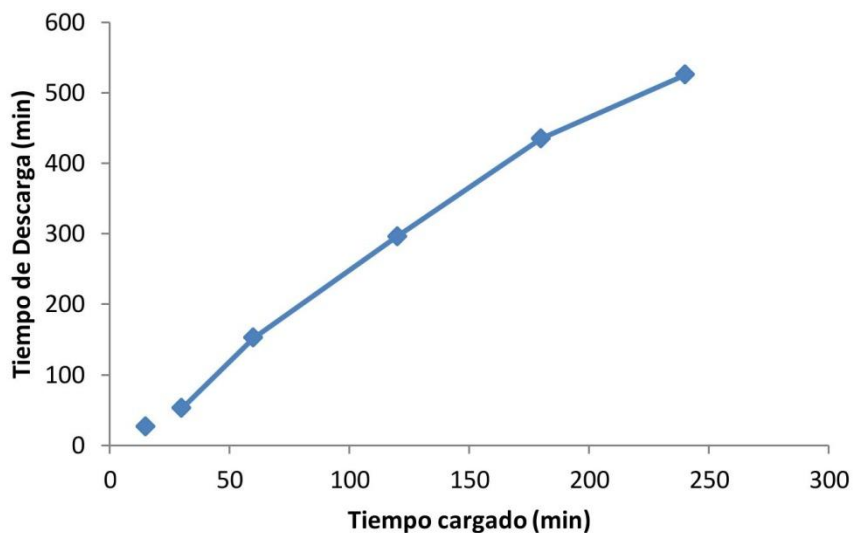
En la tabla 14 se especifica la toma de datos para la briqueta 7 con un contenido de 50 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 26 minutos hasta los 525 minutos. Figura 20 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 7 con contenido de 50 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

Tabla 15. Toma de datos de inicio y fin de carga con las condiciones del día. Tiempo de duración de cargado para la briqueta 8 con 50g de material.

Briqueta 8		Carga		Descarga		
Descripción del día	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo de Descarga (min)
Día soleado con nubes (21º)	10:15	10:30	15	10:30	10:56	26
Día soleado con nubes (21º)	11:30	12:00	30	12:00	12:52	52
Día soleado con nubes (21º)	13:00	14:00	60	14:00	16:32	152
Día nublado (19º)	07:00	09:00	120	09:00	13:56	296
Día nublado (19º)	14:00	17:00	180	17:00	00:15	435
Día nublado (20º)	10:00	14:00	240	14:00	22:45	525

Fuente: Propia

Figura 21. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga para la briqueta 8-50g.

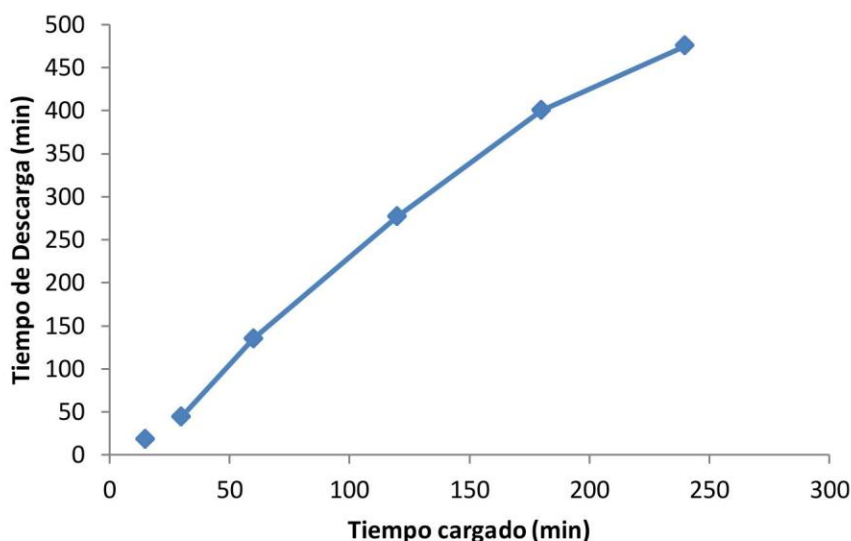


Fuente: Propia

En la tabla 15 se especifica la toma de datos para la briqueta 8 con un contenido de 50 gramos de material fotoluminiscente, Indicando un total de 6 tomas, con un promedio en el tiempo de carga de 15 minutos hasta los 240 minutos y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 26 minutos hasta los 525 minutos. Figura 21 indica la relación entre el tiempo de cargado del material fotoluminiscente vs el tiempo de descarga del mismo, para la briqueta 8 con contenido de 50 gramos de material, mostrando claramente aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

Se observó que entre las dos briquetas con la misma cantidad de material la diferencia no es mucha, los datos de descarga son iguales para los dos, como comprobación se realiza un promedio entre las diferentes cantidades de materiales para obtener el dato preciso de estos y se realizó la respectiva grafica de carga vs descarga, mostrados en las figuras a continuación.

*Figura 22. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 35 g.*

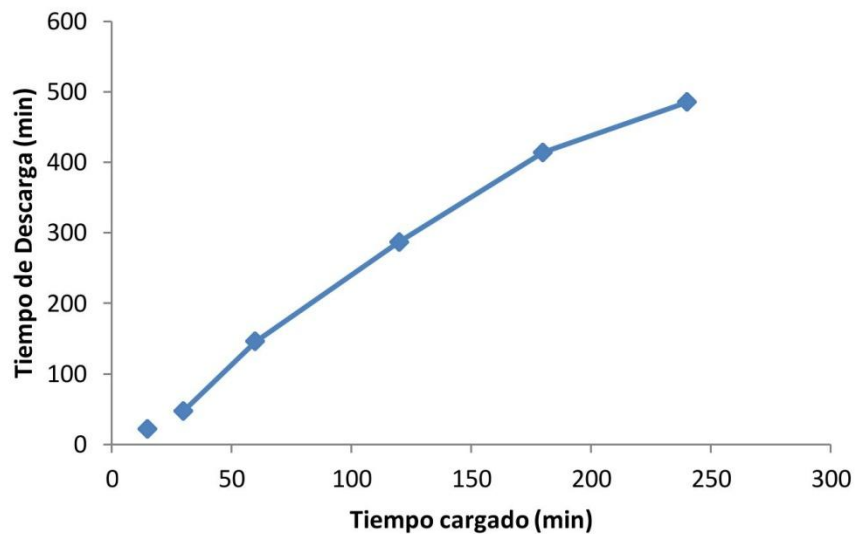


*Fuente: Propia*

En la figura 22 se indica el promedio entre la briqueta 1 y 2 ambas con una cantidad de material fotoluminiscente de 35 gramos, siguiendo el patrón de aumento en el tiempo de descarga respecto al tiempo de carga del material. El promedio en el tiempo de carga siguió siendo el mismo de 15 minutos

hasta los 240 minutos pero el promedio del tiempo de descarga es de 18 minutos hasta los 475 minutos.

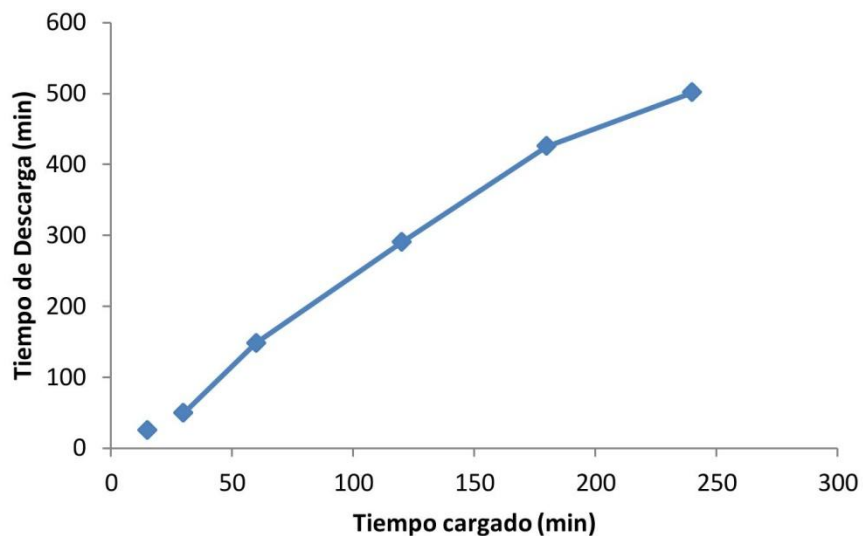
*Figura 23. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 40 g.*



*Fuente: Propia*

En la figura 23 se indica el promedio entre la briqueta 3 y 4 ambas con una cantidad de material fotoluminiscente de 40 gramos, siguiendo el patrón de aumento en el tiempo de descarga respecto al tiempo de carga del material. El promedio en el tiempo de carga siguió siendo el mismo de 15 minutos hasta los 240 minutos y el promedio del tiempo de descarga es de 22 minutos hasta los 485 minutos.

Figura 24. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 45 g.

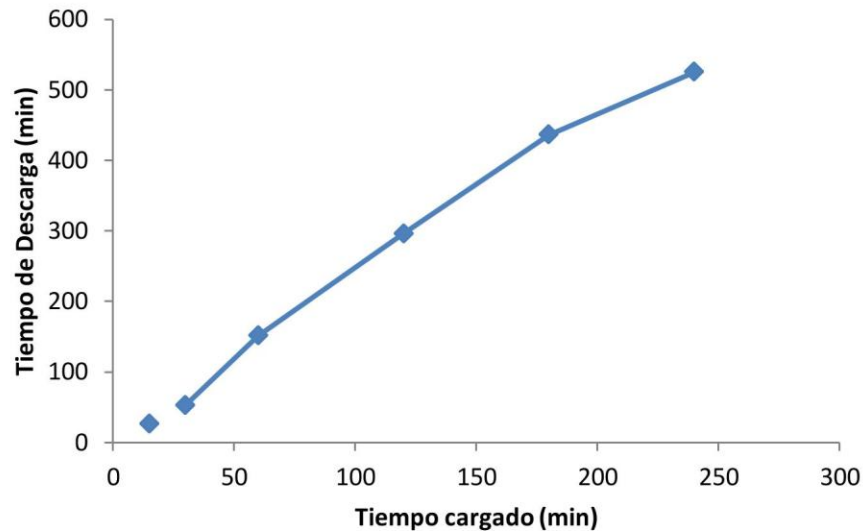


Fuente: Propia.

En la figura 24 se indica el promedio entre la briqueta 5 y 6 ambas con una cantidad de material fotoluminiscente de 45 gramos, siguiendo el patrón de aumento en el tiempo de descarga respecto al tiempo de carga del material. El promedio en el tiempo de carga siguió siendo el mismo de 15 minutos hasta los 240 minutos pero el promedio del tiempo de descarga es de 24 minutos hasta los 501 minutos.



Figura 25. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo de descarga del promedio para las briquetas de 50 g.



Fuente: Propia.

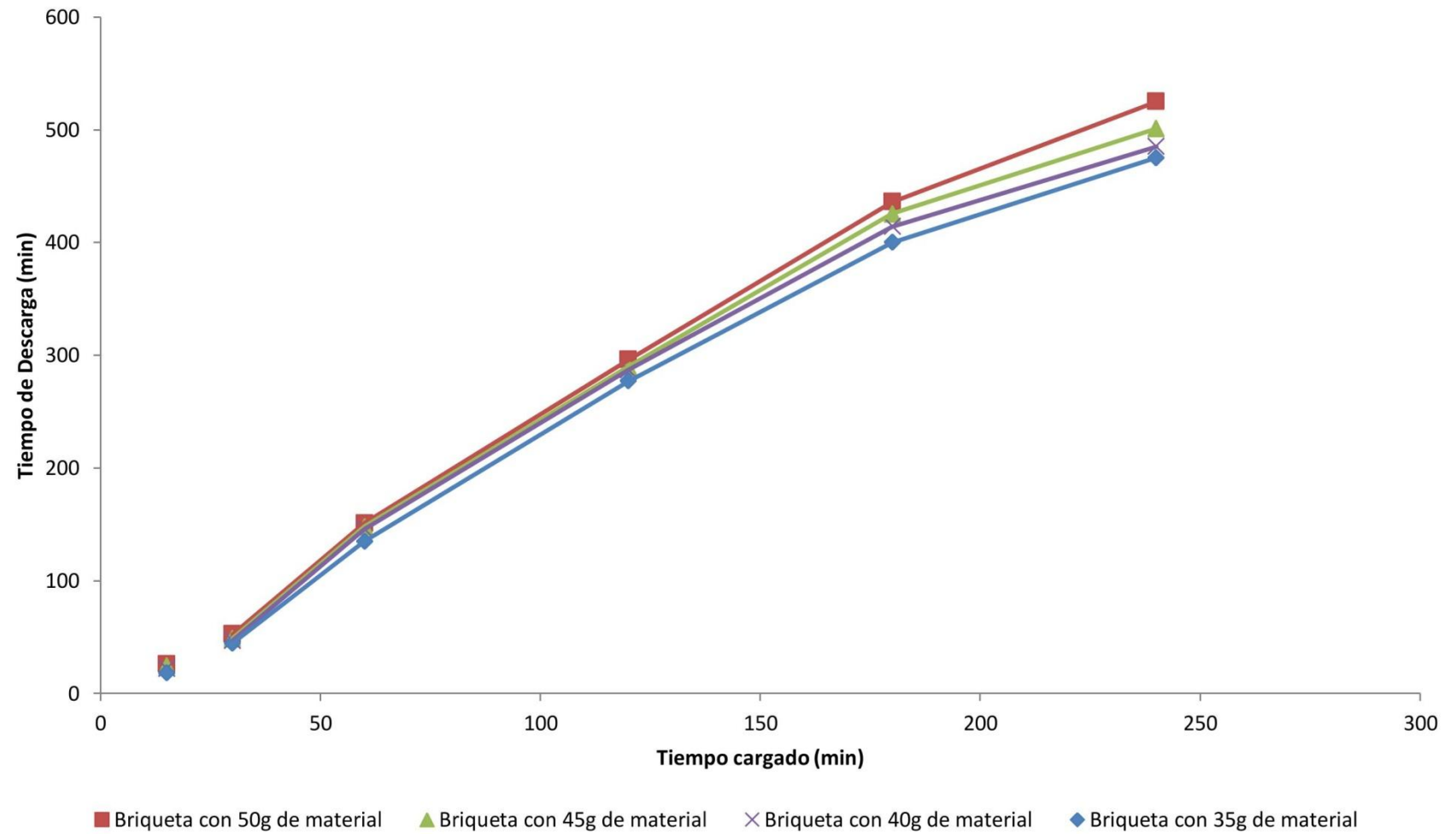
En la figura 25 se indica el promedio entre la briketa 7 y 8 ambas con una cantidad de material fotoluminiscente de 50 gramos, siguiendo el patrón de aumento en el tiempo de descarga respecto al tiempo de carga del material. El promedio en el tiempo de carga siguió siendo el mismo de 15 minutos hasta los 240 minutos pero el promedio del tiempo de descarga es de 26 minutos hasta los 525 minutos.

- **Comparación de materiales.**

Teniendo los datos obtenidos de cada material con graficas específicas se procede a comparar.

En la figura 26, se indican que aproximadamente por cada 50 minutos de tempo que pasan de carga, aumenta el tiempo de la descarga respectivamente en un 40% con respecto a la descarga anterior del tiempo anterior. Lo que nos muestra claramente como al pasar el material a un mayor tiempo de cargado este tendrá un aumento notorio en el tiempo de descarga.

Figura 26. Gráfico de la duración de carga Vs. El tiempo cargado para la comparación de todas las briquetas.



Fuente: Propia

A partir de lo anterior se identifica lo siguiente:

- El material fotoluminiscente de la briqueta de 50 gramos alcanzo un tiempo mayor en la duración de descarga que los demás materiales.
- Los materiales lograron un tiempo de descarga igual o mayor al tiempo de carga, lo que indica que el tiempo de carga va en aumento respecto a la duración de cargado.
- El segundo material con mayor tiempo en la duración de cargado con 485 minutos fue el polvo fluorescente de la briqueta de 45 gramos con mayor cantidad de gramos que el mismo material en la briqueta de 40 gramos, lo que indica que a mayor cantidad del material mejor resultado se obtendrán en la duración de la descarga.
- La briqueta de 35 gramos y la de 40 gramos son del mismo material pero como ocurrió con lo anterior, la briqueta de 35 gramos tiene menor cantidad de material que la briqueta de 40 gramos por eso no obtuvo el mismo resultado, disminuyendo un 40%. Así mismo fue menor que la briqueta de 45 gramos por esta tener mayor cantidad de material, confirmando que a mayor cantidad de material mejores resultados en duración de descarga.
- El mejor resultado para el tiempo de descarga es para la briqueta de 50 gramos llegando casi a triplicar el tiempo de carga.
- Ningún resultado fue desfavorable ya que todas las cantidades de materiales usados en las briquetas lograron una duración de descarga mayor al de carga, para la briqueta con una cantidad de material de 35 gramos el mayor tiempo fue de 475 minutos de descarga para los 240 minutos de carga, para la de cantidad de 40 gramos su tiempo máximo fue de 485 minutos para los 240 minutos de carga, para la briqueta con cantidad de material de 45 gramos su tiempo máximo fue de 501 minutos y para la de cantidad de 50 gramos de 525 minutos de descarga respectivamente para los 240 minutos de carga.

Como resultado se eligió la briqueta con 45 gramos de material a pesar de quedar en segundo lugar debido a su gran rendimiento, el cual fue muy cercano a la de 50 gramos. Además gran parte fue por el motivo económico por ser menor cantidad de material a utilizar con grandes resultados.

### 7.3 Evaluación del desempeño de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes.

Para la evaluación del desempeño mecánico del conjunto entre el pavimento flexible y el material, siendo este la señalización horizontal se debió realizar ensayos para pavimentos los cuales fueron los siguientes:

#### 7.3.1 Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico I.N.V. E – 792 – 13

Siguiendo la guía del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), se llevo a cabo el siguiente proceso:

Se realizaron tres probetas (Figura 27) mediante las especificaciones del ensayo Marshall para compactación de briquetas con las condiciones para la elaboración de cada una especificados en la Tabla 16, son las mismas utilizadas para las briquetas pero para las proporciones de la probeta y los resultados correspondientes para este ensayo. (Tabla 17)

Tabla 16. Condiciones de las probetas

Material	Porcentajes	
	%	Masa (g)
Grava	47,5	1107,45
Arena gruesa	24,5	572,14
Arena fina	19	442
Llenante	9	210,77
Cemento asfaltico	5	122,78

. Fuente: Propia.

Tabla 17. Resultados del ensayo Marshall.

		Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Molde N°		1		2		3	
Temperatura de compactación		150°		150°		150°	
Enfriamiento	Fecha y hora de inicio	13/04/2016	17:30	13/04/2016	17:30	13/04/2016	17:30
	Fecha y hora de fin	14/04/2016	09:00	14/04/2016	09:00	14/04/2016	09:00
Masa de la probeta seca (g)		10502		10764		10624	
Masa de la probeta sumergida (g)		5970		6094		6028	
Masa de la probeta SSS (g)		10604		10864		10726	
Gravedad específica Bulk		2306		2306		2306	

Fuente: Propia.

Figura 27. Probeta para ensayo de péndulo británico.



Fuente: Propia.

Se continuó con la adición del material fotoluminiscente en las probetas con cantidades de mezclas de 100 y 150 gramos. (Figura 28).



*Figura 28. Probetas con aplicación fotoluminiscente.*



*Fuente: Propia.*

Teniendo listas las probetas se procedió a realizar el ensayo coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico mediante la norma I.N.V. E – 792 – 13. Este método consiste en el uso de un equipo de ensayo tipo péndulo, provisto en su extremo de una zapata deslizante de caucho para medir las propiedades friccionantes de la superficie de ensayo en este caso la probeta con material fotoluminiscente.

Se inicio aplicando agua sobre la superficie de la probeta para ensayar la condición más crítica a la que puede estar sometido el pavimento en la realidad y se comienza hacer movimientos oscilatorios con el péndulo que se interpretaran como el paso de una llanta o calzado, revisando y tomando datos en valores de C.R.D. (Coeficiente de Resistencia) de los cuales se obtuvo un promedio.

*Figura 29. Probeta en la realización del ensayo de péndulo británico.*



*Fuente: Propia.*

*Figura 30. Probeta en la realización del ensayo de péndulo británico.*



*Fuente: Propia.*

Los valores en unidades C.R.D y los valores promedio de C.R.D indican cómo se encuentra la superficie de la muestra ensayada respecto a la resistencia al deslizamiento, estos valores parten de 0 a 100 con su respectiva calificación que va de malo hasta muy bueno (Tabla 17). Permitiendo saber en qué condición se encuentra la señalización horizontal propuesta para este proyecto.



Tabla 18. Valores de calificación C.R.D.

Rango de calificación	
Muy bueno	100-55
Bueno	55-45
Regular	45-35
Malo	35-0

Fuente: Propia

Se registraron valores de C.R.D. por medio de las oscilaciones del péndulo durante 5 veces para cada probeta en las caras interna, externa y centro para las cuales se obtuvieron promedios. Este procedimiento se realizó para temperatura ambiente como para temperatura de 40°C para observar su comportamiento, registrados en las Tablas de la 18 a la 21.

Tabla 19. Valores de C.R.D a temperatura ambiente para la probeta con mezcla de 100g.

Mezcla	H externa	Centro	H interna	Promedio de las caras
100g	60	62	60	61
	64	60	60	61
	60	60	60	60
	60	55	62	59
	61	60	61	61
Promedio	<b>61</b>	<b>59</b>	<b>61</b>	<b>60</b>

Fuente: Propia

Con los valores obtenidos para la probeta con 100g de mezcla a temperatura ambiente (Tabla 18), el promedio de los valores de C.R.D. se encontró en 60 y según los valores de calificación para los valores de C.R.D. (Tabla 17), está dentro del rango de 100-55 por lo que su calificación es Muy buena.

Tabla 20. Valores de C.R.D a temperatura ambiente para la probeta con mezcla de 150g.

Mezcla	H externa	Centro	H interna	Promedio de las caras
150g	52	55	52	53
	50	55	56	54
	50	56	55	54
	50	52	55	52
	51	51	55	52
Promedio	<b>51</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>53</b>

Fuente: Propia

Con los valores obtenidos para la probeta con 150g de mezcla a temperatura ambiente (Tabla 19), el promedio de los valores de C.R.D. se encontró en 53 y según los valores de calificación para los valores de C.R.D. (Tabla 17), está dentro del rango de 55-45 por lo que su calificación es Buena.

Tabla 21. Valores de C.R.D a temperatura de 40 °C para la probeta con mezcla de 100g.

Mezcla	H externa	Centro	H interna	Promedio de las caras
100g	40	40	40	40
	40	45	35	40
	45	40	40	42
	40	40	40	40
	45	45	45	45
Promedio	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>41</b>

Fuente: Propia

Con los valores obtenidos para la probeta con 100g de mezcla a temperatura de 40°C (Tabla 20), el promedio de los valores de C.R.D. se encontró en 41 y según los valores de calificación para los valores de C.R.D. (Tabla 17), está dentro del rango de 45-35 por lo que su calificación es Regular.

Tabla 22. Valores de C.R.D a temperatura de 40 °C para la probeta con mezcla de 150g.

Mezcla	H externa	Centro	H interna	Promedio de las caras
150g	50	48	45	48
	50	50	45	48
	48	50	45	48
	42	48	48	46
	45	45	50	47
Promedio	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>47</b>	<b>47</b>

Fuente: Propia

Con los valores obtenidos para la probeta con 150g de mezcla a temperatura de 40°C (Tabla 21), el promedio de los valores de C.R.D. se encontró en 47 y según los valores de calificación para los valores de C.R.D. (Tabla 17), está dentro del rango de 55-45 por lo que su calificación es Buena.

Como análisis de resultados obtenidos para desempeño mecánico de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes:

- De acuerdo a los valores de C.R.D. el rango de la señalización estuvo entre 53-60 en promedio entre la mezcla de 100 y 150g, por lo que la calificación general se encuentra entre Buena Y Muy buena para la temperatura ambiente de Bogotá.
- El rango en valores de C.R.D. para temperaturas de 40°C fue en promedio de 41-47 para las mezclas de 100 y 150g, esto le da una calificación de Regular y Bueno, por lo que se evidencia la baja en calificación respecto a la temperatura ambiente.

#### **7.4 Análisis del costo en la implementación de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes.**

El análisis de costos para la señalización horizontal del material fotoluminiscente de acuerdo con el Manual de Señalización Vial del 2015 de Colombia se muestran en las siguientes tablas donde se indican las especificaciones técnicas para cada demarcación horizontal a la cual se pretende abordar con este proyecto y a cada una de ella se le llevó a cabo el proceso de identificación de cantidad de material usado y costo de implementación teniendo en cuenta el valor de la mezcla fotoluminiscente aplicada.

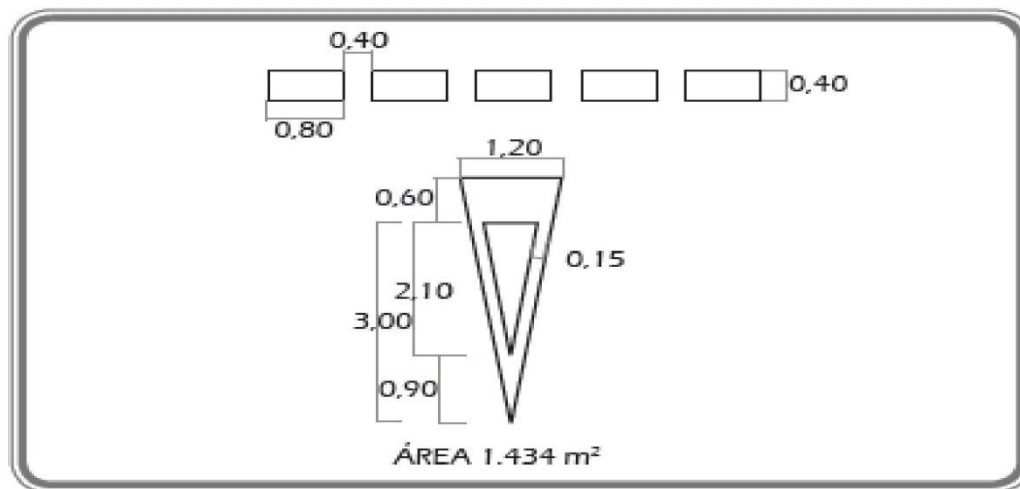
El valor de la mezcla para 1000 gramos es de \$ 140.000 pesos colombianos y el valor del metro cuadrado es de \$155.000 con una cantidad de 1.111 gramos de mezcla, datos del cual se parte este análisis de costo.

Se tiene en cuenta las dimensiones de las demarcaciones pensadas para el uso de la señalización horizontal fotoluminiscente y se indica el cálculo en cuanto a la cantidad de mezcla utilizada y costo de la elaboración.

- **Demarcación de ceda el paso**

Para la demarcación de ceda el paso con un área de 1.434 metros cuadrados (Figura 31), se utilizaría una cantidad de 1593 gramos de mezcla lo que tendría un costo de \$ 223.000 pesos colombianos.

*Figura 31. Dimensiones demarcación de ceda el paso.*

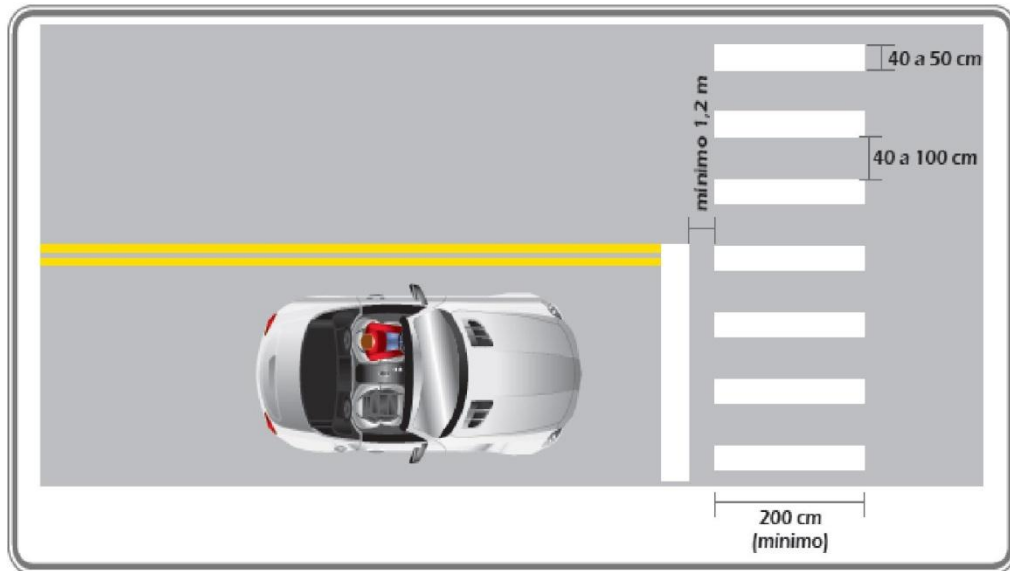


*Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.*

- **Demarcaciones de pasos peatonales**

Para la demarcación de pasos a peatonales de tipo cebra con un área de 5.6 metros cuadrados (Figura 32), se utilizaría una cantidad de 6222 gramos de mezcla lo que tendría un costo de \$ 871.000 pesos colombianos.

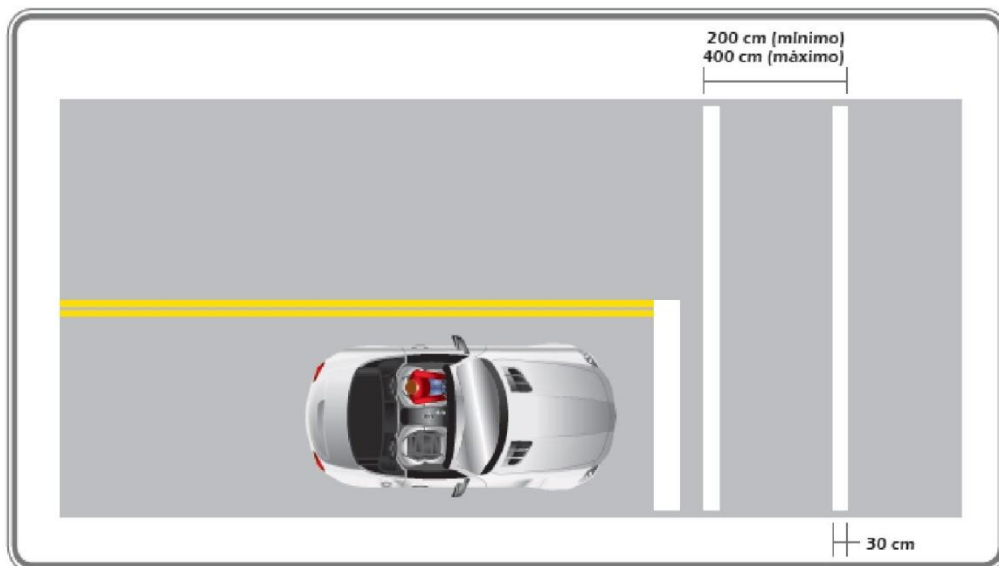
Figura 32. Dimensiones demarcación de pasos peatonales Cebra.



Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.

Para la demarcación de pasos a peatonales de tipo sendero con un área de 4.2 metros cuadrados (Figura 33), se utilizaría una cantidad de 4667 gramos de mezcla lo que tendría un costo de \$ 653.038 pesos colombianos

Figura 33. Dimensiones demarcación de pasos de peatonales Senderos.

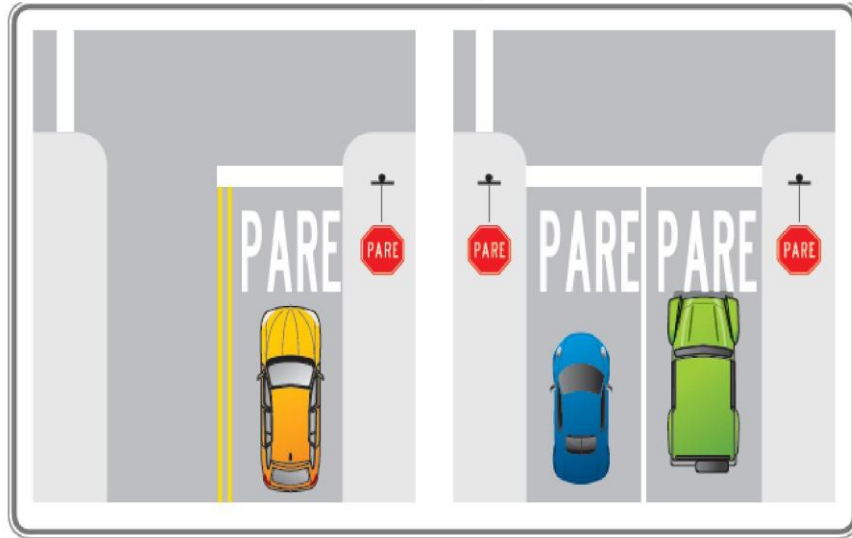


Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.

- **Demarcaciones de señal de Pare**

Para la demarcación de señal de pare con un área de 1.4 metros cuadrados (Figura 34), se utilizaría una cantidad de 1556 gramos de mezcla lo que tendría un costo de \$ 217.084 pesos colombianos

*Figura 34. Dimensiones demarcación de señal de pare.*



*Fuente: Manual de Señalización vial 2015. Capítulo 3.*

A partir de lo anterior se identifico para costo de la señalización horizontal fotoluminiscente lo siguiente:

- A simple vista la implementación se ve costosa y tal vez lo sea comparado con la señalización convencional utilizada en estos momentos, ya que el metro cuadrado para la señalización horizontal fotoluminiscente estaría \$155.000 pesos Colombianos lo que genera el aumento del costo. Pero esta señalización tiene el beneficio de ahorrar energía eléctrica por su principal función de iluminar solo con la recepción de energía solar gracias a su característica fotoluminiscente, por lo que al final resultara más económica que la señalización utilizada actualmente.

## 8. CONCLUSIONES

Al comparar varias cantidades de material fotoluminiscente, se observó que la iluminación más prolongada fue para la mayor cantidad de material con 50g. Es decir, que a mayor cantidad de material fotoluminiscente, mayor será la iluminación.

Para las condiciones ambientales en Bogotá con una temperatura máxima de 25 °C el rendimiento de la señalización propuesta en este proyecto es eficiente, pero se evidencio que al incrementar la temperatura en este caso llevada a los 40°C su rendimiento empezó a bajar en un 20% al pasar de 60 a 40 en la calificación de C.R.D., como conclusión la alta temperatura tiene efectos negativos sobre la señalización.

En las condiciones ambientales con temperatura de 40 °C aplicables en la zona norte y pacifica del país, se evidencio una disminución en los valores de C.R.D. en ambas condiciones de porcentaje material fotoluminiscente pero hubo un claro resultado en la de mayor porcentaje de mezcla con valores altos a la de menor cantidad a lo que se puede decir que mayor cantidad de mezcla soporta mejor las altas temperaturas.

Debido a los resultados obtenidos la señalización horizontal con este tipo de mezcla funciona con mejores resultados para ciudades de no tan alta temperatura como lo es Bogotá.

La señalización horizontal fotoluminiscente debido a su capacidad de recolectar la energía solar y transmitirla en forma de radiación generando iluminación es un aporte a la economía por el ahorro de energía eléctrica sobre las vías.

La señalización horizontal fotoluminiscente es un benefactor para el medio ambiente al evitar el uso de la iluminación eléctrica.



La señalización horizontal fotoluminiscente puede ser más costosa en comparación con la convencional utilizada en la actualidad, pero por su característica de iluminación no se usaría la energía eléctrica en el lugar donde esta se encuentre ahorrando dinero de ese tipo. Además de tener la capacidad de limpiarse sin perder la capacidad de iluminar.

## 9. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la investigación sobre este tipo de material para su uso en el ámbito de la ingeniería civil, por su característica capaz de aportar beneficios en el sector de la construcción.

Para lograr mejores resultados se sugiere mejorar la capacidad de soporte para altas temperaturas para su utilización en ciudades con temperaturas superiores a los 40°C posiblemente en la zona norte o pacífica del país.

Por costos se recomienda el uso de 1.111 gramos de mezcla por metro cuadrado, dando cubrimiento en totalidad con un espesor de 3 milímetros.

Es de gran importancia realizar una comparación entre el costo de la implementación de la señalización horizontal actual respecto a la señalización horizontal fotoluminiscente.

Es recomendado determinar la resistencia a la deformación plástica mediante la pista de ensayo de laboratorio de la norma I.N.V. E – 756 – 13 para obtener mayor información del comportamiento de la señalización.

Se sugiere realizar este análisis para diferentes tipos de mezcla asfáltica para observar que afectaciones tienen estas sobre la señalización.

Se recomienda que la universidad cuente con los equipos necesarios para la elaboración de ensayos o que tenga convenios con otras universidades donde puedan ser realizados.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

BALANCE DE ACCIDENTALIDAD VIAL PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ  
D.C. Secretaría distrital de movilidad. Bogotá D.C. Junio de 2015

BAUELEMENTE MIT SELBSTLEUCHTENDEN EFFEKTEN. Dab auf seine oberfläche eine transparente nanokomposilunterschicht aufgebracht ist worauf ein leuchtstoff aufgebracht ist, der mit einer nanokomposiberschicht abgedeckt ist. Inventor: REINCHARDT WOLFRAM. E04C 1/39. Fecha de solicitud: 20 de febrero, 2004. Alemania, patente de concesión. DE202004002830 U1. 8, julio, 2004.

CONNORS, Kenneth A. Curso de análisis farmacéutico (Ensayo del medicamento). Reverté, 1981. p. 258-370

ESCUELA CAR LAND. Pavimento luminicente de Pro-Teq . 24 de febrero del 2014. Disponible en internet: <http://autoescuelacarland.com/blog/pavimento-luminiscente-de-pro-teq>

FUßBODENPLATTE. Hauptanspuch fußbodenplatte, gekennzeichnet durch eine trasparente oder transluzente oberflachenschicht aus nanopartikeln. Inventor: WITEX FLOORING PRODUCTS GmbH. Int. CL.: E04F 15/10. Fecha de solicitud: 21 de diciembre, 2007. Alemania, patente de concesión. DE 202007018099 U1. 18, junio, 2009.

GAARDE. Roose. Se prueba la pintura fluorescente para mejorar la visibilidad en las carreteras. 23 de abril del 2014. Disponible en internet: <https://www.studioroosegaarde.net/info/>

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 433 - 13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-12p.

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 748 - 13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-15p.

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 756 - 13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-15p.

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 778- 13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-9p.

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 779-13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-6p.

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 782-13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-4p.

INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E – 792 -13. Bogotá D.C.: El instituto, 2007. 1-12p.

MADRID Maria, SALAS Sandra, Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero y un blastómero. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad Javeriana de Colombia, Facultad de ciencias. Departamento de Infraestructura vial. 2007. 3 p.

MARTÍNEZ. Herman. Alumbrado público exterior. Universidad Nacional de Colombia. 2007. p 2-10

MINISTERIO DE TRASPORTE, Manual de Señalización vial, Bogotá D.C., mayo de 2004. Capitulo 3, p 107-108

ORELLANA, Alexander. PEÑA, Daniel. PEREZ, Blanca. PROPUESTA DE DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LECHADA ASFALTICA EN EL MANTENIMIENTO DE OBRAS VIALES EN EL SALVADOR, Tesis para optar al título de ingeniero Civil, Universidad de el salvador, Salvador, 2015.

PADILLA RODRIGUEZ. Alejandro, ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS DENSAS DE LA NORMATIVA MEXICANA MEDIANTE EL ENSAYO DE PISTA, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2004.

PÉREZ Millán, BECÚ Villalobos, La proteína verde fluorescente ilumina la biociencia. *Medicina, Buenos Aires*, 2009, p 370-374.

RODRIGUEZ, Daniella. GARNICA, Viviana. RODRIGUEZ, Cristian. RODRIGUEZ, Leonardo. Energía renovable a partir de un pavimento flexible. Revisión. 25 de Septiembre del 2015. Páginas 1-10.

SALZANO, Clara. Photoluminescent: il primo pavimento che si Illumina di notte senza elettricità. Fanpage it [en línea], 5 de marzo de 2015. Disponible en internet: [http:// design.fanpage.it/photoluminescent-il-primo-pavimento-che-si-Illumina di-notte- senza-elettricità/](http://design.fanpage.it/photoluminescent-il-primo-pavimento-che-si-Illumina-di-notte-senza-elettricità/)

SANCHEZ SABOGAL, F. Guía para la ejecución e interpretación de resultados Curso de laboratorio de pavimentos. Universidad del Cauca. Instituto de vías, 81-90.

SUAREZ. Diego. Evaluación de la radiación solar en Bogotá a partir de imágenes del satélite goes. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias. Departamento de geociencias. 2013. 38 p.

## ANEXOS







