

Mejoramiento de la señalización vial en ciclorrutas con el uso de la tecnología fotoluminiscente

Luis Eduardo García Torres, David Camilo Cabeles Salazar

Zuleny Irene Cuaran Cuaran



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2024

Tabla de contenido

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GENERAL	7
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3. PROBLEMÁTICA	8
4. ESTADO DEL ARTE	9
5. MARCO TEÓRICO	11
6. METODOLOGÍA	13
6.1 REVISIÓN NORMATIVA	13
6.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL FOTOLUMINISCENTE	13
6.3 <i>EVALUACIÓN DE LA PINTURA FOTOLUMINISCENTE SOBRE PROBETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO</i>	14
6.3.1 <i>Preparación de las probetas</i>	14
6.3.2 <i>Aplicación de la pintura fotoluminiscente</i>	14
7. RESULTADOS DE MEDICIÓN	16
7.1 NORMATIVA	16
7.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL FOTOLUMINISCENTE	16
7.3 <i>PROBETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO</i>	19
7.4 EVALUACIÓN VISUAL DE LA PINTURA FOTOLUMINISCENTE SOBRE LAS PROBETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
GLOSARIO	31

MEJORAMIENTO DE LA SEÑALIZACIÓN VIAL EN CICLORRUTAS	3
-----------------------------------------------------	---

LISTA DE REFERENCIA	32
---------------------	----

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Pintura epóxica Fotoluminiscente para Demarcación de Áreas	18
Ilustración 2 Pintura tradicional	19
Ilustración 3 Probetas de concreto asfáltico	20
Ilustración 4 Probetas de concreto hidráulico	20
Ilustración 5 Mezcla de 100 ml de Base y 100 ml de Activador	21
Ilustración 6 Temperatura registrada en la mezcla de pintura tradicional y fotoluminiscente	22
Ilustración 7 <i>Probetas de pavimento asfáltico con pintura aplicada</i>	23
Ilustración 8 Probetas de pavimento hidráulico con pintura aplicada	23

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Relación en la aplicación de pintura para las probetas de concreto asfáltico</i>	15
Tabla 2 Relación en la aplicación de pintura para las probetas de concreto hidráulico	15
Tabla 3 Comparativo de precios y horas de iluminación para las opciones disponibles en el mercado	17
Tabla 4 Tiempo de secado de las capas de pintura	24
Tabla 5 Evaluación visual de las probetas de concreto asfáltico e hidráulico I	25
Tabla 6 Evaluación visual de las probetas de concreto asfáltico e hidráulico II	26
Tabla 7 Comparación de las muestras con diferentes tiempos de exposición	27

Resumen

El propósito de la investigación fue hallar una manera de mejorar la visibilidad de las ciclorrutas mediante el uso de tecnología fotoluminiscente. Se inició con una revisión normativa sobre la tecnología fotoluminiscente, para luego seleccionar un material fotoluminiscente que fuese el más adecuado para la implementación en las ciclorrutas dependiendo de su asequibilidad y evaluar visualmente su comportamiento en probetas de concreto asfáltico e hidráulico. Se trabajó con doce muestras en total, seis probetas de concreto asfáltico y 6 de concreto hidráulico. Al hacer una revisión de la norma colombiana no se cuenta con una especificación para materiales fotoluminiscente aplicados en señalización vial y tras una revisión en los diversos países donde se ha usado esta tecnología tampoco fue encontrada una pues esta tecnología es relativamente nueva y ha tenido como objetivo en muchos casos aplicaciones artísticas. De los materiales disponibles encontrados en el mercado local se eligió la pintura epóxica fotoluminiscente pues esta está destinada para el uso en suelos. Los resultados indican que mediante inspección visual la pintura funciona mejor sobre una superficie blanca como pintura tradicional para señalización y demarcación de vías y cuando se aplica sin ninguna capa debajo no refleja la luminiscencia esperada, en este caso la pintura tradicional que se usa para la demarcación en tránsito y se define que esta pintura no funciona mezclada porque pierde su luminiscencia. Los resultados de tiempo de luminosidad indican que con una exposición de tres horas para la recarga del material es suficiente para durar como mínimo ocho horas, de acuerdo con la prueba realizada en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia.

Abstract

The purpose of the research was to find a way to improve the visibility of bicycle paths through the use of photoluminescent technology. We started with a normative review of photoluminescent technology, then selected a photoluminescent material that would be the most suitable for implementation in bike lanes depending on its affordability and visually evaluated its performance in asphalt and hydraulic concrete specimens. Twelve samples were used in total, six asphalt concrete specimens and six hydraulic concrete specimens. When reviewing the Colombian standard, there is no specification for photoluminescent materials applied in road signs and after a review in the different countries where this technology has been used, no specification was found either, since this technology is relatively new and its objective has been artistic applications in many cases. Of the available materials found in the local market, photoluminescent epoxy paint was chosen because it is intended for use on floors. The results indicate that by visual inspection the paint works best on a white surface as traditional paint for road marking and demarcation and when applied without any layer underneath it does not reflect the expected luminescence, in this case the traditional paint used for traffic demarcation and it is defined that this paint does not work mixed because it loses its luminescence. The results of luminescence time indicate that with an exposure of three hours for the recharge of the material is enough to last at least eight hours, according to the test performed in the soil laboratory of the Engineering Faculty of the Universidad La Gran Colombia.

1. Introducción

En América Latina en los últimos años se ha buscado incentivar y promover el uso de la bicicleta como medio de transporte, al punto de que se reportan al menos dos mil kilómetros de ciclorrutas existentes. En Bogotá D.C. se reporta más de 608 kilómetros de ciclorrutas permanentes y cinco kilómetros de ciclovías temporales, los viajes en bicicleta además de tener un beneficio para la salud son actualmente incentivados con la ley 1811 del 21 de octubre de 2016 que tiene como objetivo mitigar el impacto ambiental que producen los automotores y mejorar la movilidad urbana, donde se establece que a los trabajadores que certifiquen que durante treinta días hayan llegado al trabajo en bicicleta pueden tomarse un día libre remunerado (Sánchez, 2023).

Aunque el uso de la bicicleta sea promovido e incentivado, varios ciclistas han perdido la vida durante sus desplazamientos, en el anuario de siniestralidad vial del 2021 Bogotá D.C. se reportaron para ese año 82 ciclistas fallecidos y 2443 heridos, presentándose cada 3 horas y 37 minutos un siniestro grave que relaciona estos actores viales y un ciclista fallecido cada 4 días y 10 horas, mostrando un aumento en la ocurrencia de siniestros graves de ciclistas con respecto al 2019 con 64 casos más. De acuerdo con estudios de la Universidad Javeriana para el año 2023 el 55,7% de la señalización se encuentra en mal estado (El Tiempo, 2023).

La señalización vial de las ciclorrutas es de vital importancia para la seguridad de todos los actores viales, los materiales fotoluminiscentes, implementados en carriles para bicicletas se pueden incorporar con mayor aceptabilidad de la comunidad, debido a que su aplicación genera un impacto positivo, considerando además que se utiliza energía renovable que generan un ahorro al no tener que instalar iluminación eléctrica, como otras alternativas (Vargas, 2023).

El término "materiales fotoluminiscentes" hace referencia a aquellos elementos capaces de absorber y almacenar la luz solar o cualquier otra fuente de luz artificial para luego liberarla en forma de

luminosidad. Este efecto permite que los objetos tratados mejoren la visualización de las ciclorrutas en la oscuridad, mejorando la orientación de los ciclistas y generando una mejor alerta a los demás actores viales, lo que se presume puede llevar a una reducción de siniestros viales.

Los materiales que han sido usados para dar solución a un problema en los proyectos investigados de señalización vial se encontraron que fueron llamados “Tecnologías fotoluminiscentes”, sin importar que en la mayoría de estos la pintura o pigmento fotoluminiscente fuera la alternativa, en los títulos se encontraba tecnología fotoluminiscente por lo que en este documento también se usará el término tecnología fotoluminiscente.

En esta investigación se explora la posibilidad de aplicación de la tecnología fotoluminiscente en la señalización vial en las ciclorrutas de la ciudad de Bogotá y su proceso para la implementación seleccionando un material de los disponibles en el mercado local. Se evaluará la tecnología fotoluminiscente y su desempeño sobre las superficies de pavimento asfáltico e hidráulico, se consultarán estudios de caso y experiencias en ciudades o regiones que hayan implementado esta tecnología, para fundamentar la propuesta como una alternativa de mejora de visualización de la ciclorruta, que podrían tener un efecto positivo añadido en la reducción de la siniestralidad vial donde se ven involucrados los ciclistas. Finalmente, se recopilarán las recomendaciones para la aplicación, validando sus limitaciones encontradas en las pruebas realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia y llevando a discusión a la comunidad de una alternativa para el beneficio, con esta mejora, en la movilidad y la protección de los ciclistas en entornos urbanos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar la tecnología fotoluminiscente en la señalización vial de ciclorrutas para la mejora del tránsito nocturno.

2.1 Objetivos Específicos

1. Seleccionar el material fotoluminiscente más asequible en el mercado para poder realizar pruebas en los laboratorios de La Universidad La Gran Colombia.
2. Evaluar apoyado en pruebas visuales sí la pintura fotoluminiscente tiene las características adecuadas para presentar una mejora de la señalización vial.
3. Probar el desempeño del material fotoluminiscente sobre superficies de pavimento asfáltico e hidráulico para evaluar su comportamiento.

3. Problemática

Según el Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá D.C, en el 2021 de los siniestros asociados a ciclistas se reportaron 82 fallecidos, 2.443 heridos y 2.426 siniestros graves, el 30% de los fallecidos y el 27% de los lesionados fueron reportados en el horario entre las 6 pm y las 12 am. Los principales actores viales involucrados con el fallecimiento de ciclistas son los vehículos de transporte público donde se distribuyen entre los buses de transporte de pasajeros con un 23,2% y el transporte de carga en un 22%, los vehículos livianos se encuentran en tercer lugar con el 29,3% y los actores viales involucrados respecto a ciclistas lesionados son en primer lugar los particulares, con los vehículos livianos con un 29,2% y las motocicletas en un 29.1%, mientras que el servicio público se reduce con el transporte de carga en 4,1% y los buses de transporte de pasajeros a un 14,3% (Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá D.C. 2021).

Los datos de siniestros viales de los ciclistas muestran que en un gran porcentaje se involucran actores viales con los que no deberían tener alguna interacción en las ciclorrutras, o que este contacto fuera esporádico, como sucede en las intersecciones y cruces viales. La poca iluminación de los espacios de las ciclorrutras y de la señalización horizontal de esta no son suficientes en el horario nocturno y en

algunos casos es nula, lo que hace que los ciclistas tengan que compartir el carril con los demás actores viales (Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá D.C. 2021).

Con el uso de materiales fotoluminiscente en la señalización horizontal se busca que, con una tecnología de bajo impacto ambiental y sin tener que invertir en un sistema iluminación eléctrica tradicional, los ciclistas puedan usar la ciclorruta en horas de baja luminosidad ambiental, pues implementando una mejora de visualización se generará una mayor alerta a los demás actores viales sobre la presencia de la ciclorruta y da una sensación de seguridad a los mismo biciusuarios y para conocer si esta aplicación es posible se deben realizar las pruebas de laboratorio las cuales serán realizadas en la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia (Vargas, 2023).

La nueva tecnología de materiales fotoluminiscentes se ha probado ya en diferentes países del mundo, iniciando en Holanda como una forma artística de iluminar con energías renovables y ha evolucionado hasta llegar a Estados Unidos, donde se implementó la pintura fotoluminiscente en una intersección de la ciclorruta con el principal objetivo de reducir siniestros viales que se presentaban, resultado en un beneficio para todos los actores viales que transitan esta intersección (Fast Company, 2017).

Al analizar esta problemática se busca, ¿Cómo mejorar la señalización vial de las ciclorrutas para el tránsito nocturno con la aplicación de la tecnología fotoluminiscente en la señalización de estas?

4. Estado del Arte

La primera vez que se implementó algún material fotoluminiscente como tecnología para las ciclorrutas del que se tenga un registro fue en el 2014 en Países Bajos, donde en un tramo de 600 metros de ciclorruta se iluminó, en este caso usando pequeños leds de color azul y verde que se recargaban por el día e iluminaban toda la noche de forma artística porque está inspirado en la noche estrellada de Van

Gogh, al no contar con iluminación tradicional este proyecto usa energías renovables que ahorran al no necesitar la instalación de nueva iluminación (This is Eindhoven, s.f.).

En diferentes partes del mundo se ha implementado la misma tecnología de cicloruta con materiales fotoluminiscentes, en el Reino Unido en 2016 la empresa Pro-Teq instalaron 140 metros y tardó solo 4 horas su aplicación, la tecnología instalada en este proyecto fue sobre pavimento ya construido. Fue aplicada una capa de adhesivo y sobre ese material granular que un bajo porcentaje de este estaba mezclado con pintura fotoluminiscente y luego se agrega resina, el material fotoluminiscente usado en este proyecto es creado por la misma empresa y se encarga de captar los rayos UV de día e iluminar por aproximadamente 10 horas (Boredpanda, s.f.).

En Polonia 2016 con el objetivo de ser amigables con el medio ambiente usando una energía renovable al reducir la iluminación tradicional, se instaló en un tramo de 1.8 metros de ancho, por 100 metros de largo con la tecnología de materiales fotoluminiscentes los cuales captan rayos UV e iluminan en el horario nocturno. En este proyecto se demarcaron las señales horizontales de la ciclorruta y todo al paso peatonal a su lado con pintura fotoluminiscente con color azul pues este combinaba con el paisaje de la zona. El precio en esta aplicación fue de alrededor de los 31.000 dólares y se aseguraba la iluminación por más de 10 horas (Bloomerg, 2016).

En “Análisis del comportamiento de materiales fotoluminiscentes aplicados en la señalización horizontal”, se propuso un material fotoluminiscente el cual no es mencionado, con el objetivo de instalarlo para mejorar la señalización horizontal en vías enfocado principalmente en los carriles de los vehículos y como una de las conclusiones se tiene que el precio de la señalización aumenta, pero también presenta un beneficio al evitar el uso de iluminación eléctrica. Se realizaron ensayos de laboratorios como el coeficiente de deslizamiento usando el péndulo británico, de duración de fluorescencia y de la cantidad de luz emitida (Jiménez, 2016).

Estados Unidos en el año 2017, en el campus de la universidad de Texas A&M se instaló la tecnología de materiales fotoluminiscente, siendo la primera en el país como solución a los siniestros viales de bicisuarios que se presentaban en una intersección concurrida, fue la solución para esta intersección no semaforizada puesta en estudio. Como resultado de la investigación se observó que los vehículos reducen la velocidad desde mucho antes de llegar a la intersección pues al ver la pintura de día se genera una mejor visualización de la señalización tanto de día como de noche, además se observó que el beneficio no solo es para los bicisuarios, también para los peatones que en este caso usan la misma intersección (Fast Company, 2017).

En Francia en el 2023, se implementó la tecnología fotoluminiscente con el objetivo de reducir siniestros relacionados con bicisuarios, y que estos tuvieran una mayor seguridad en su carril exclusivo en un tramo de 3 kilómetros. Las señales horizontales fueron pintadas con pintura fotoluminiscente como tramo de estudio para conocer los resultados y luego aplicarlo en demás ciclorrutas del país. La pintura instalada se indica puede iluminar por más de 10 horas, es visible desde aproximadamente 80 metros de distancia aclarando que la iluminación no es cegadora y puede durar más de 10 años luego de instalar la pintura. Se desconoce si esta tecnología fue aplicada en otras zonas (Sotira Paris, 2023).

5. Marco Teórico

Señalización Horizontal: La señalización horizontal corresponde a la aplicación de marcas viales conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se adhieren sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como a los dispositivos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. Éstas se conocen como demarcaciones. Dado que se ubican en la calzada, las demarcaciones presentan la ventaja, frente a otros tipos de señales, de transmitir su mensaje al conductor sin que éste distraiga su atención del carril en que circula (Mintransporte, 2015).

De acuerdo con Mintransporte, la señalización vial debe cumplir los siguientes requisitos mínimos: Debe ser necesaria, debe ser visible y llamar la atención, debe ser legible y fácil de entender, debe dar tiempo suficiente al actor del tránsito para responder adecuadamente, debe infundir respeto, debe ser creíble (Mintransporte, 2015).

En las ciclovías el ancho de ellas varía según los volúmenes de bicicletas esperadas. Se recomienda un ancho mínimo de 1,2 m por sentido de circulación. Para distinguir mejor el espacio dedicado a ciclovía, su pavimento podrá contar con un color diferente, tales como rojo, azul o verde (Mintransporte, 2015).

Para las demarcaciones de ciclorrutas solo se deben utilizar demarcaciones planas, de hasta 6 mm de altura. La demarcación de ciclorrutas debe ser blanca o amarilla. El color blanco se emplea en líneas longitudinales para hacer separaciones entre tránsito del mismo sentido, en líneas de borde de pavimento, flechas, símbolos, mensajes viales y en marcas transversales. El color amarillo se utiliza para separar flujos de sentido contrario. Todas estas demarcaciones deben cumplir además con las especificaciones de contraste y de resistencia al deslizamiento (Mintransporte, 2015).

Los mensajes consignados en el pavimento se deben realizar preferiblemente por medio de símbolos. Tanto las letras como los símbolos tienen que prolongarse en la dirección del movimiento del tráfico, debido a que la posición del usuario sobre la bicicleta reduce considerablemente su ángulo de observación; dicho efecto se compensa alargando los símbolos y textos (Mintransporte, 2015).

Estas señales deben enmarcarse en el centro de cada uno de los carriles en que se aplican y, si las condiciones del tránsito o de la vía lo hacen necesario, pueden ser repetidas a lo largo de la ciclorruta (Mintransporte, 2015).

Fotoluminiscencia: La luminiscencia es el proceso por el cual un material genera radiación no térmica dependiendo de las características del tipo de material. Así la luminiscencia es la emisión de la

luz por medios diferentes a la combustión y por eso ocurre a temperaturas más bajas que las requeridas por la combustión. La luminiscencia contrasta con la incandescencia, en que es la producción de luz por materiales calentados (García et al, 2004, p. 7).

Dependiendo de la clase de excitación que produce la luminiscencia se le asignan los nombres, en el caso de la fotoluminiscencia es la emisión de luz producida por ciertos materiales que son irradiados por luz ultravioleta (García et al, 2004, p. 7).

Los materiales fotoluminiscentes son aquellos en los que se producen cambios de diferente naturaleza como consecuencia de la acción de la luz o que por otro lado son capaces de emitir luz como consecuencia de algún fenómeno externo. Éstos producen luz visible o invisible como resultado de una luz incidente, detectable después de que la fuente de excitación ha sido eliminada (Fotoluminiscente.co, 2020).

6. Metodología

6.1 Revisión Normativa

Para la revisión normativa primero se investigó qué normas existen para la pintura tradicional de señalización y demarcación vial, además ver si en esta se menciona la fotoluminiscencia. Además, se buscó qué normas sobre fotoluminiscencia existen y si alguna se aplica para la señalización vial.

6.2 Selección del Material Fotoluminiscente

Para seleccionar el material más adecuado se debe hacer una búsqueda en el mercado local empezando por los grandes almacenes y luego hacer búsquedas en el mercado exclusivo de materiales fotoluminiscentes y de estos resultados de búsqueda mencionar el por qué se eligió el material o por qué no.

Además del material elegido se debe mencionar las características y su forma de aplicación, a su vez realizar la búsqueda de la normatividad del material que se usará para la comparación.

6.3 Evaluación de la Pintura Fotoluminiscente sobre Probetas de Concreto Asfáltico e Hidráulico

6.3.1 Preparación de las probetas

Para la preparación de estas pruebas de laboratorio se requieren cilindros de pavimento asfáltico y pavimento hidráulico por lo que estos deben construirse siguiendo la normatividad para cilindros, estos también deben limpiarse y pulirse en lo posible para obtener una superficie lisa donde la pintura pueda adherirse correctamente.

Una vez construidas las probetas y arregladas se deben enumerar para poder distinguir las entre sí y luego poder analizar los resultados de cada una, pues las fotos e inspección visual será a la cara superior donde no se podrán distinguir.

6.3.2 Aplicación de la pintura fotoluminiscente

Se requirieron dos capas de pintura debido a que el color blanco original de la pintura en las probetas de pavimento asfáltico se contaminaba durante la aplicación, cambiando su tonalidad a marrón. Una explicación más detallada sobre este fenómeno se encuentra en la sección “7.3 Probetas de concreto Asfáltico e Hidráulico”.

En las 12 muestras de pavimento asfáltico identificado con la letra A y pavimento hidráulico identificado con la letra B se realizarán diferentes pruebas, donde se variaron los contenidos de dosificación de pintura fotoluminiscente y donde existirán cuatro muestras de pinturas (tradicional y fotoluminiscentes) inalteradas para tomar referencia:

- Muestra 1A y el 1B se aplican dos capas de pintura tradicional para señalización y demarcación de vías.

- Muestra 2A y 2B se aplican dos capas de pintura tradicional y sobre esta se aplican dos capas de pintura fotoluminiscente.
- Muestra 3A y 3B se aplican dos capas de una mezcla de la pintura tradicional y la fotoluminiscente en relación 1:1 (100 ml de cada una).
- Muestra 4A y 4B se aplican dos capas de una mezcla de la pintura tradicional y la fotoluminiscente en relación 1:2 (50 ml de tradicional y 100 ml de fotoluminiscente).
- Muestra 5A y 5B se aplican dos capas de una mezcla de la pintura tradicional y la fotoluminiscente en relación 2:1 (50 ml de fotoluminiscente y 100 ml de tradicional).
- Muestra 6A y 6B solo se aplican dos capas la pintura fotoluminiscente.

Tabla 1

Relación en la aplicación de pintura para las probetas de concreto asfáltico

PREPARACIÓN DE MUESTRAS CONCRETO ASFÁLTICO (A)				
#	APLICACIÓN			RELACIÓN
1A	PINTURA TRADICIONAL			-
2A	FOTOLUMINISCENTE	sobre	TRADICIONAL	-
3A	FOTOLUMINISCENTE	+	TRADICIONAL	1:01 100ml : 100ml
4A	FOTOLUMINISCENTE	+	TRADICIONAL	2:01 50ml : 100ml
5A	FOTOLUMINISCENTE	+	TRADICIONAL	1:02 100ml : 50ml
6A	PINTURA FOTOLUMINISCENTE			-

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Relación en la aplicación de pintura para las probetas de concreto hidráulico

PREPARACIÓN DE MUESTRAS CONCRETO HIDRÁULICO (B)				
#	APLICACIÓN			RELACIÓN
1B	PINTURA TRADICIONAL			-
2B	FOTOLUMINISCENTE	sobre	TRADICIONAL	-
3B	FOTOLUMINISCENTE	+	TRADICIONAL	1:01 100ml : 100ml
4B	FOTOLUMINISCENTE	+	TRADICIONAL	2:01 50ml : 100ml
5B	FOTOLUMINISCENTE	+	TRADICIONAL	1:02 100ml : 50ml
6B	PINTURA FOTOLUMINISCENTE			-

Nota. Elaboración propia

7. Resultados de Medición

7.1 Normativa

Tras el proceso de investigación mencionado se encontró la normativa para la pintura diseñada para demarcación y señalización de vías en Colombia se debe cumplir con lo especificado en la NTC 1360-1 Pinturas en frío para demarcación de pavimentos. Parte 1. Especificaciones, donde no se menciona la fotoluminiscencia.

En cuanto a la normativa de pinturas fotoluminiscente se cuenta solo para señales de seguridad en interiores con la NTE/ISO 17398:2018. Señales y colores de seguridad - Requisitos y directrices para la clasificación y durabilidad de las señales de seguridad los cuales no aplican para vías.

7.2 Selección del Material Fotoluminiscente

Tras la búsqueda del material se encontraron diferentes tipos de materiales fotoluminiscentes como pigmentos, cintas, vinilos y pinturas. Se hizo una pequeña descripción donde se anotaron lo que más destaco de estos y de cuál fue la razón de descarte o selección de cada material:

- En el caso de los pigmentos se identificó que ese material suele usarse para uso artístico y pequeñas decoraciones además no se encontró un uso dirigido a la señalización vial.
- Las cintas cuentan con una amplia gama de opciones de tamaño y longitud; desde delgadas cintas para indicar la ubicación de diferentes objetos, hasta cintas gruesas las cuales se usan como guía incluso en horas del día, pero esta opción fue descartada debido a que el objetivo del proyecto es enfocar esta tecnología a ciclovías donde se espera un tránsito diario nocturno sobre estas. Además, las cintas son elementos que pueden sufrir diferentes imprevistos como el robo de estas, el despegue por desgaste o la posible causa de accidentes al ser un pequeño obstáculo en la vía.

- Los vinilos poseen similitudes con las cintas, pero siendo más débiles al ser delgados como una hoja de papel y no están diseñados para uso en el suelo si no en muros.
- Como resultado final las pinturas, de estas luego de realizar cotizaciones con los proveedores se estableció que fuera una pintura epóxica pues era la que tenía más resistencia con respecto de la acrílica. Luego del uso de motores de búsqueda, se identificaron tres empresas que ofrecían el material requerido. Luego de analizar las horas de iluminación ofrecidas por cada una, en el que se constató que no existían grandes disparidades entre ellas, se optó por la opción más económica.

La diferencia en las horas de iluminación entre las distintas pinturas era de solo 2 horas, por lo que la elección se basó en el hecho de que una de las opciones ofrecía una cantidad a un precio más bajo. Es importante destacar que la decisión no se tomó en función de la relación precio/cantidad, sino que se priorizó la búsqueda de la opción más económica, sin necesidad de adquirir una cantidad mayor a 1/8 de galón.

Tabla 3

Comparativo de precios y horas de iluminación para las opciones disponibles en el mercado

PINTURA FOTOLUMINISCENTE			
PROVEEDOR	CANTIDAD (Galón)	PRECIO	HORAS DE ILUMINACIÓN
SkinWall	1/4	\$ 399,000	6
MMP de Colombia	1/8	\$ 240,000	8
Fotoluminiscente.co	1	\$ 900,000	10

Nota. Elaboración propia

Fue escogida la PINTURA epóxica FOTOLUMINISCENTE PARA DEMARCACION DE AREAS (ilustración 1) vendida por la empresa MMP de Colombia especializada en la venta de materiales y tecnologías fotoluminiscentes, de las diferentes pinturas ofrecidas por la empresa fue elegida la pintura luminiscente epóxica de bicomponente base-activador, que además tiene la cualidad de tener alta resistencia peatonal.

Ilustración 1

Pintura epóxica Fotoluminiscente para Demarcación de Áreas



Nota. Pintura fotoluminiscente, 1/8 de galón de pintura distribuido entre Base y Activador. Elaboración propia

Esta pintura epóxica requiere base y activador para su funcionalidad, la cual acumula la luz y la emite por un largo periodo de tiempo en ausencia de esta puede activarse un número ilimitado de veces. La pintura es de color verde claro en presencia de luz (Sin embargo, es importante tener en cuenta que este color verde solo es observable debido a la cantidad de pintura presente. Durante la aplicación, el espesor es tan reducido que el color verde no puede ser percibido) y fotoluminiscente en la oscuridad, tiene viscosidad de FORD IV de 25 a 20°C y una densidad de 1.280 gr/cm³. Debido a la falta de instrumentos disponibles en la universidad, la caracterización de la pintura, incluida la viscosidad, no pudo llevarse a cabo, por esto no se puede afirmar si esta pintura cumple con la normativa requerida. El enfoque del documento no es proponer su uso como reemplazo completo de la pintura estándar en la señalización vial.

La pintura tradicional seleccionada para usar en el proyecto como comparación de la fotoluminiscencia es de la marca Pintuco, Pintura Pintutráfico Acrílico Base Agua (Ilustración 2) que no necesita de solvente y es diseñada siguiendo las norma colombiana NTC 1360 y también cumple la internacional TTP-1952E, para la pintura fotoluminiscentes los datos necesarios serán extraídos de la ficha técnica de la misma al no poder realizar en la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia ningún ensayo.

Ilustración 2
Pintura tradicional



Nota. Pintura usada como tradicional. Elaboración propia

7.3 Probetas de concreto Asfáltico e Hidráulico

En los ensayos de laboratorio se contaron con 12 muestras las cuales fueron donadas por la universidad provenientes de otro trabajo de grado, las cuales estaban divididas entre 6 cilindros de concreto asfáltico (ilustración 3) y 6 de hidráulico (ilustración 4). Estas probetas de pavimento asfáltico se entregaron luego de cumplir con la normativa INV E 748 Estabilidad Y Flujo de Mezclas Asfálticas en Caliente Empleando el Equipo Marshall y para el pavimento hidráulico las muestras cumplían con la normativa INV E 410 Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto

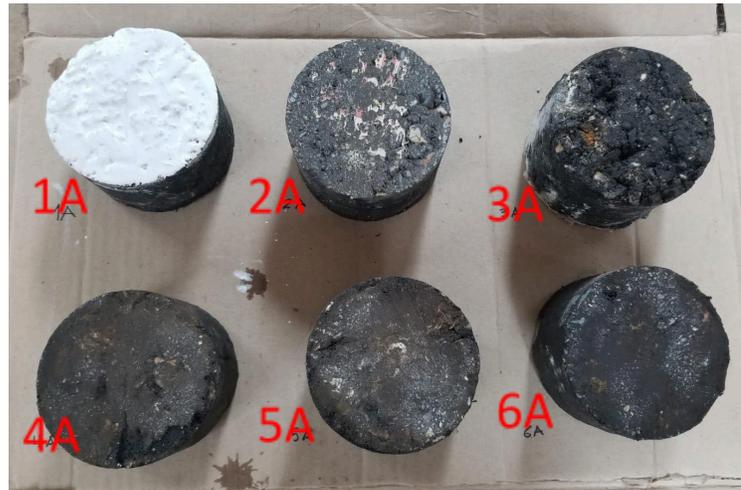
Las muestras de concreto asfáltico que no presentaban una superficie lisa se intentaron lijar, pero durante este proceso se desmoronaban, por lo que se optó por dejarlas como se encontraban y se limpiaron con un cepillo suave para tener una superficie limpia donde aplicar la pintura. Para el concreto hidráulico se cortaron a la mitad 3 probetas que se tenían, ya que no se contaban con la misma cantidad en comparación al pavimento asfáltico y se realizó su respectiva limpieza con el cepillo. Cada muestra fue numerada y marcada, concreto asfáltico con una A y las de concreto hidráulico con una B.

En las muestras de pavimento asfáltico se tenía la textura rugosa característica de este, 5 de las 6 probetas que se tenían podían ser considerados como muestras normales y en la probeta 3A la cara

superficial tenía algunos orificios los cuales pueden ser observados en la ilustración 3, pero estos no eran de una profundidad la cual pudiera afectar la aplicación de la pintura.

Ilustración 3

Probetas de concreto asfáltico

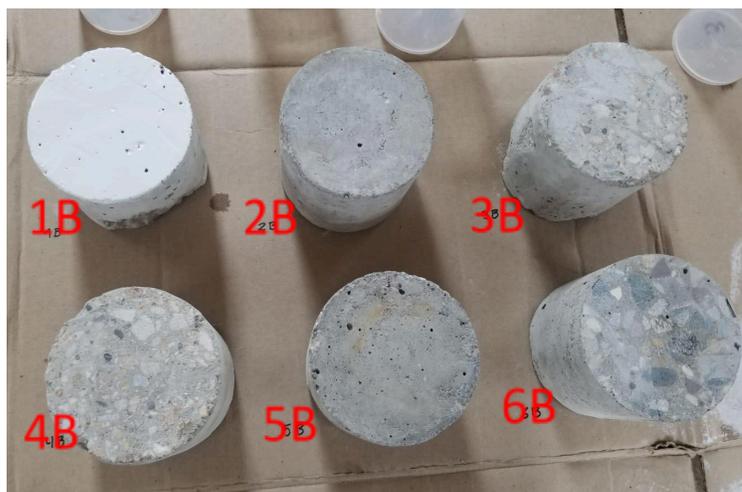


Nota. Elaboración propia

En las muestras de pavimento hidráulico no se cuenta con algún cilindro que diferencie del resto como sí se tenía en las probetas del pavimento asfáltico, en algunos de las probetas se podían encontrar algunos poros que no afectan la aplicación de la pintura por lo que no se les realizó ningún tratamiento

Ilustración 4

Probetas de concreto hidráulico



Nota. Elaboración propia

La pintura fotoluminiscente epóxica requiere de una preparación para su uso donde debe agregarse en relación 1:1 la base y el activador. Al mezclar estos dos componentes primero se debe homogeneizar cada componente por separado y debe ser usada en el menor tiempo posible pues con solo 15 minutos esta se solidifica. En el laboratorio se mezclaron 100 ml de base y 100 ml de activador y a los 15 minutos ya estaba completamente sólida, por lo que al momento de preparar la pintura nuevamente solo se mezcló 50 ml de base y 50 ml de activador.

Ilustración 5

Mezcla de 100 ml de Base y 100 ml de Activador



Nota. Elaboración propia

En el caso de La mezcla 1:1 de pintura tradicional y fotoluminiscente tenía una sensación caliente al tacto, por lo que con ayuda del termómetro (ilustración 6) se registró la temperatura la cual no paraba de aumentar, se decidió por motivos de seguridad que la mezcla fuera extraída del recipiente y separada en pequeños pedazos para evitar que siguiera aumentando su temperatura. Para ninguna otra mezcla se presentó esta reacción exotérmica, pues se deduce que en las demás mezclas no se contaban con las suficientes cantidades para una reacción química, solo en la pintura fotoluminiscente se presentaba esto al momento de solidificarse. Se estableció que para esta pintura de base y activar las reacciones exotérmicas son normales.

Ilustración 6

Temperatura registrada en la mezcla de pintura tradicional y fotoluminiscente



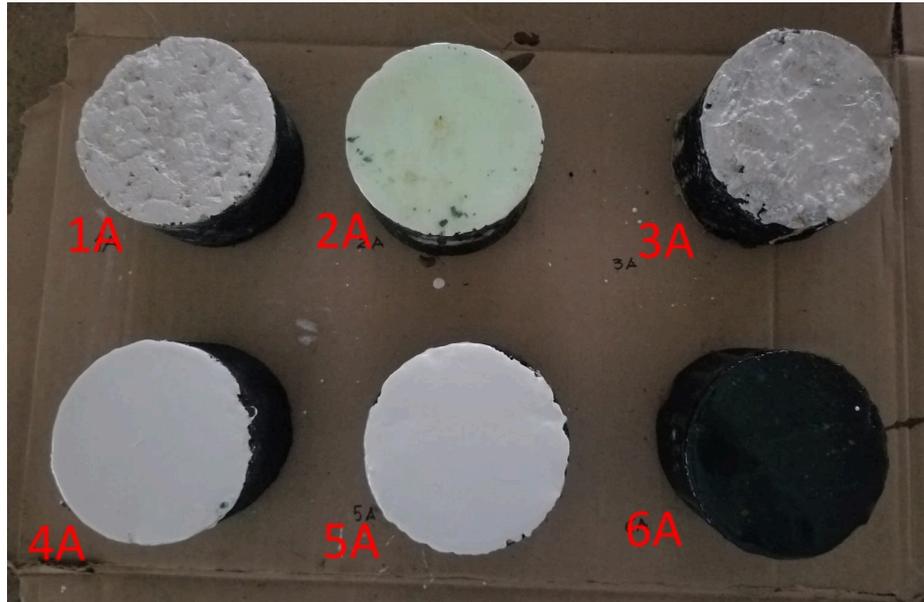
Nota. Elaboración propia

En las siguientes ilustraciones se pueden observar las probetas con la pintura que fue aplicada con brocha con un espesor de capa de aproximados 0.06 mm (fue medido con un pie de rey que da lugar a medidas inexactas), que es casi el doble del espesor de las capas para demarcación de vía aplicada en los cilindros de concreto asfáltico e hidráulico. Este espesor de capa se debe a que el color blanco en las probetas de pavimento asfáltico se contaminaban con las partículas que este mismo genera tornando la pintura blanca a marrón, por lo que se buscó con las capas gruesa minimizar esta pérdida de color blanco y este mismo espesor fue aplicado para el pavimento hidráulico con el objetivo de que se las pruebas en ambos se realicen en las mismas condiciones.

La pintura fotoluminiscente inicialmente transparente al aplicarse puede desarrollar una textura única una vez seca pues la luz se verá reflejada en esta y se podrá ver el espesor de esta, en las probetas de pavimento hidráulico se cuenta con esta textura en toda la superficie, mientras que en las probetas de pavimento asfáltico se ve como la pintura se acumula en los poros.

Ilustración 7

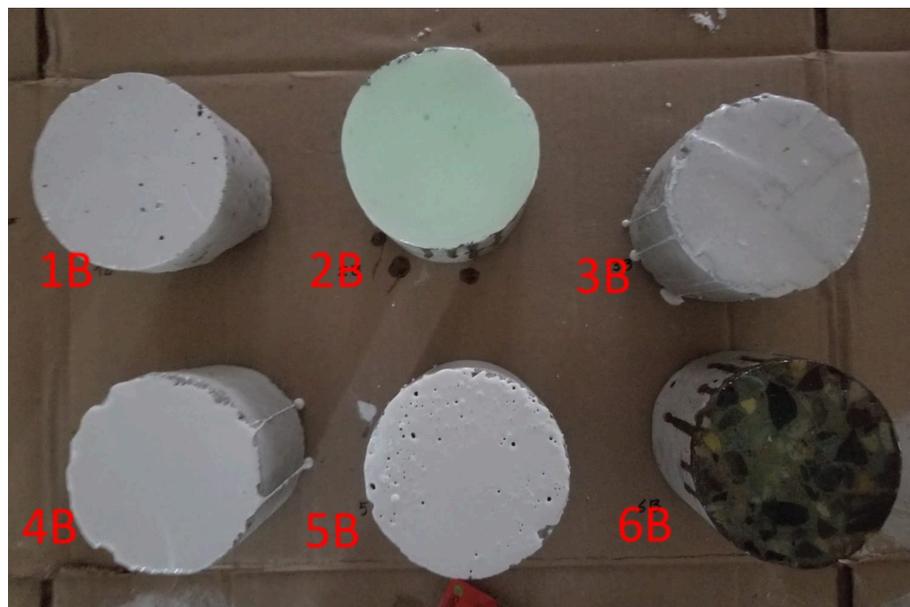
Probetas de pavimento asfáltico con pintura aplicada



Nota. Elaboración propia

Ilustración 8

Probetas de pavimento hidráulico con pintura aplicada



Nota. Elaboración propia

El tiempo de secado de las capas fue registrado (Tabla 2), teniendo un tiempo aproximadamente de 30 minutos para la pintura tradicional y 1:30 minutos para la pintura fotoluminiscente, como se usaron espesores de capas del más del doble de lo aplicado convencionalmente (0.06 mm) se comparó con la ficha técnica de la pintura tradicional donde el resultado obtenido en el laboratorio fue del doble del especificado, por lo que se deduce que para una aplicación de campo al aire libre el tiempo de secado de la pintura fotoluminiscente es de aproximadamente 45 a 60 minutos que puede llegar a ser 4 veces el de la pintura tradicional.

El tiempo de secado fue tomado desde el momento en que se aplicó la pintura hasta que esta no se quedaba adherida a los guantes que se estaban usando para la manipulación de la pintura.

Tabla 4

Tiempo de secado de las capas de pintura

TIEMPO DE SECADO		
	ESPESOR DE CAPA (mm)	TIEMPO DE SECADO (minutos)
PINTURA TRADICIONAL	0.06	30
PINTURA FOTOLUMINISCENTE		90

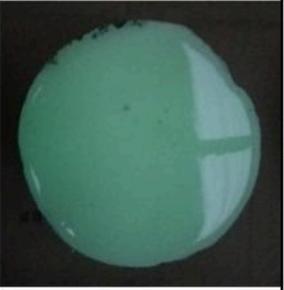
Nota. Elaboración propia

7.4 Evaluación visual de la pintura fotoluminiscente sobre las probetas de concreto asfáltico e hidráulico

Luego de la aplicación de capas a los cilindros de pavimentos se hace una inspección visual con el objetivo de identificar cuáles probetas tienen luminiscencia y cuáles no, además de distinguir en cual se presenta un mejor desempeño la pintura fotoluminiscente:

Tabla 5

Evaluación visual de las probetas de concreto asfáltico e hidráulico I

EVALUACIÓN DE PINTURA FOTOLUMINISCENTE SOBRE LAS PROBETAS		
CONCRETO ASFÁLTICO	CONCRETO HIDRÁULICO	RESUMEN
1A 	1B 	Resultado de la aplicación de la pintura tradicional, en la que se evidencia la falta de fotoluminiscencia. La pintura, aunque visible bajo luz directa, no muestra ninguna capacidad de brillar en la oscuridad, lo que limita su efectividad para mejorar la visibilidad nocturna en las ciclorrutas.
2A 	2B 	La pintura fotoluminiscente es fácilmente visible, mostrando una excelente luminiscencia que se destaca incluso bajo la luz solar. El tiempo de secado fue suficiente para cargar la pintura y activar su capacidad de brillar, lo que resalta significativamente la ciclorruta y mejora la visibilidad.
3A 	3B 	Se observa que las mezclas de pintura tradicional y fotoluminiscente no presentan ningún tipo de luminiscencia notable. Aunque estas mezclas son ligeramente más brillantes bajo luz directa, no ofrecen una mejora significativa en la visibilidad nocturna. Este resultado sugiere que la combinación de ambos tipos de pintura no aporta beneficios adicionales para los bicisuarios y no cumple con los objetivos de aumentar la seguridad vial. Se concluye que es más eficaz y práctico utilizar exclusivamente pintura tradicional en lugar de una mezcla, ya que la mezcla no añade valor al proyecto.
4A 	4B 	
5A 	5B 	

Nota. Elaboración propia

Tabla 6

Evaluación visual de las probetas de concreto asfáltico e hidráulico II

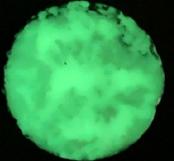
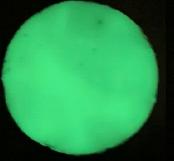
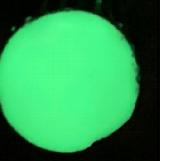
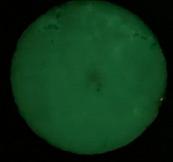
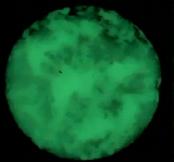
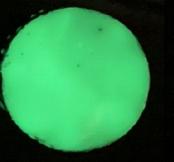
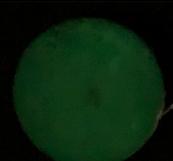
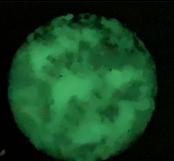
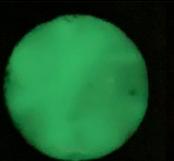
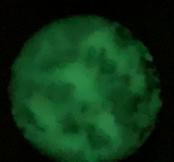
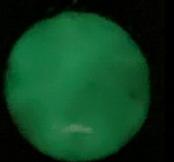
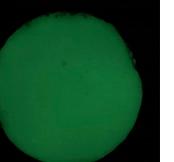
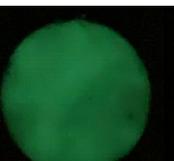
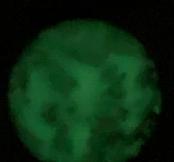
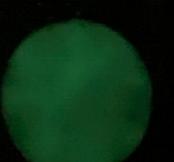
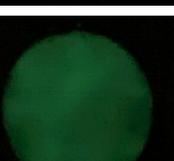
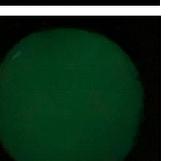
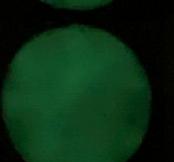


Nota. Elaboración propia

Una vez determinado que las muestras que más eficiencia generaban eran las 2A y 2B (Tabla 3) se decidió elaborar dos cilindros de pruebas más pintando con fotoluminiscente sobre la pintura tradicional del 1A y el 1B y exponer estos a diferentes tiempos de recarga para conocer el tiempo de recarga mínimo diario para emitir luz de forma adecuada en los periodos de ausencia de luz que son aproximadamente 12 horas. La forma de recarga de estas probetas para su posterior evaluación es dejando las probetas expuestas a la luz solar en diferentes periodos empezando desde la media hora y hasta las 2 horas con intervalos de media hora lo cual es mostrado en la tabla 6.

Estas pruebas fueron realizadas en un día nublado donde no eran expuestas directamente al sol, sino simplemente fueron dejadas al aire libre en espacios abiertos dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad La Gran Colombia y para conocer la duración de la luminosidad fueron almacenadas en un cuarto oscuro del laboratorio durante la descarga.

Tabla 7
Comparación de las muestras con diferentes tiempos de exposición

	CILINDRO 1 30 minutos de recarga	CILINDRO 2 60 minutos de recarga	CILINDRO 3 90 minutos de recarga	CILINDRO 4 120 minutos de recarga
30 MINUTOS				
60 MINUTOS				
90 MINUTOS				
120 MINUTOS				
150 MINUTOS				
180 MINUTOS				
210 MINUTOS				
240 MINUTOS				

Nota. Elaboración propia

La aplicación de la pintura a las probetas de pavimento se realizó en los laboratorios de la facultad de ingeniería de la Universidad La Gran Colombia en Bogotá, se contaba con un cielo entre parcial y mayormente nublado por lo que no hubo una exposición de las probetas directas al sol.

Luego de hacer el seguimiento de los cilindros por 4 horas se obtiene como resultado que la luminiscencia de la pintura fotoluminiscente va perdiendo su intensidad progresivamente y llega a un momento en el que se estabiliza, para la muestra donde solo se expuso durante 30 minutos era posible observar con facilidad a las 4 horas la considerable pérdida de luminiscencia de esta, por lo que sí la noche dura aproximadamente 13 horas, con una recarga diaria de 3 horas es suficiente para que la luminosidad dure toda la noche.

La evaluación de la pintura no se realizó en campo, pero se conoce que el rendimiento puede ser el similar al mostrado en la tabla 2 en la figura 2A y 2B pues esta fue dejada en un cuarto oscuro, pero bajo tejas plásticas que permiten un paso limitado de luz recargando la pintura.

Conclusiones y Recomendaciones

La pintura, al ser preparada, reacciona químicamente al contar con base y activador, por lo que empezará a liberar energía al ser una reacción exotérmica. Se requiere el uso de guantes durante el manejo y aplicación, así como trabajar en el menor tiempo posible para evitar complicaciones. La pintura fotoluminiscente requiere de una superficie blanca debajo de esta para poder tener una luminosidad clara, al punto de que, sin una superficie blanca bajo esta, la luminosidad por inspección visual es muy pobre.

No se puede realizar ninguna mezcla con la pintura tradicional en ninguna relación y conservar las propiedades fotoluminiscentes. La pintura fotoluminiscente se caracteriza por su capacidad de absorber y emitir luz visible, sin embargo, al intentar mezclarse con pintura tradicional, se introduce una variedad de pigmentos y componentes que pueden interferir con esta capacidad, alterando sus

propiedades. En lugar de conservar su capacidad de emitir luz, la mezcla resultante tiende a intensificar el color de la pintura tradicional sin lograr el efecto luminoso deseado.

Aunque el cierre de la vía se pueda prolongar hasta 4 horas, la aplicación de pintura fotoluminiscente ofrece beneficios a largo plazo, como mejor visibilidad nocturna, menor necesidad de mantenimiento y mayor seguridad vial. Cabe aclarar que los cierres viales se verán en las ciclorrutas y no habrá una afectación de alto impacto en la movilidad.

La recarga de la pintura fotoluminiscente no fue evaluada bajo la recarga por luz artificial, aunque se haya trabajado dentro del laboratorio en el proceso de aplicación, secado de la pintura y almacenamiento, y logró observarse un comportamiento similar al de la luz natural, al no ser objetivo de este proyecto evaluar la recarga artificial, no se incluyó, pues se busca mejorar la visualización de las ciclorrutas donde esta sea nula, no donde ya se cuente con una buena iluminación.

El concreto asfáltico e hidráulico presentan diferentes características al momento de aplicar la pintura fotoluminiscente. En el caso del concreto asfáltico, al no tener una superficie lisa y tener grietas, ayuda a que la pintura fotoluminiscente se acumule entre estas siendo estos focos de luminiscencia. Para el concreto hidráulico, se observa que presenta una intensidad lumínica más alta al tener este color gris, lo cual ayuda a que incluso sin la pintura blanca como base, la luminiscencia pueda ser observada a simple vista.

Luego de la inspección visual, se puede observar cómo la pintura fotoluminiscente no es el reemplazo de la pintura tradicional en las ciclorrutas, ya que para obtener el mejor desempeño se debe contar con una superficie blanca bajo esta. Por lo que la pintura fotoluminiscente es un añadido para la señalización vial que mejora la visualización de donde sea aplicada y esta pintura al no cumplir con la normatividad no puede ser usada para la señalización completa.

La tecnología fotoluminiscente puede ser aplicada en diferentes espacios y no solo limitarse a las ciclorrutas. También puede ser empleada en cualquier entorno con deficiencias de iluminación. Es importante destacar que, debido a las limitaciones del laboratorio donde se llevó a cabo el proyecto, no fue posible comprobar lo indicado en la normativa. Sin embargo, se observa cómo esta pintura es de gran ayuda para todos los actores viales.

Glosario

Retro reflectividad: La retrorreflexión es la capacidad que tiene una superficie, ya sea por su estructura o elementos contenidos, para reflejar la luz hacia la fuente independientemente del ángulo de incidencia del origen de la luz. En las vías terrestres, se contextualiza como la capacidad de una señal de tránsito para reflejar la luz, que emiten los faros de los vehículos, hacia el conductor (Gobierno de México, 2022).

Cuando las imágenes reflejadas por las superficies se perciben de manera borrosa o difuminada se le llama reflexión difusa; cuando esta reflexión da imagen nítida, entonces es llamada reflexión tipo espejo. La reflexión real percibida por el ojo humano es una combinación de ambas, influenciada por la textura de la superficie reflectante. Por lo que, la retrorreflexión es en particular la reflexión de la luz hacia la propia fuente, sin importar el ángulo de incidencia. Un material retrorreflectante atiende a esta propiedad y se mide como coeficiente de retrorreflexión (Gobierno de México, 2022).

Ciclorruta y Ciclovía: La Ciclorruta de acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se define como: vía o sección de la calzada destinada al tránsito de bicicletas en forma exclusiva (Mintransporte, 2023).

La ciclovía es una vía destinada al uso de bicicletas y a veces a peatones que se encuentra segregada físicamente del tránsito de vehículos motorizados.

Lista de Referencia

Bloomerg. (2016, 11 de octubre). Poland Tests a Self-Sufficient, Glow-in-the-Dark Bike Path.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-10-11/a-glowing-bike-path-that-s-charged-by-the-sun-in-poland>

Boredpanta. (s.f.). Starpath: Electricity-Free Alternative to Streetlights That Look Like A Starry Night.

https://www.boredpanda.com/uv-park-paths-starpath-pro-teq/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic

El Tiempo. (2023, 12 de junio). Los problemas de infraestructura que afectan a los ciclistas en Bogotá.

<https://www.eltiempo.com/bogota/problemas-de-infraestructura-que-afectan-a-los-ciclistas-en-bogota-779028>

Fast Company. (2017, 7 de febrero). Here's The First Glow-In-The-Dark Bike Lane In The U.S.

<https://www.fastcompany.com/3067911/heres-the-first-glow-in-the-dark-bike-lane-in-the-us>

Targana, F., Zayas, G., Pardo, C., Olivares, C. (2022). América Latina en bicicleta: conocimiento y progreso sobre dos ruedas.

<https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/america-latina-en-bicicleta-conocimiento-y-progreso-sobre-dos-ruedas>

Fotoluminiscente.com. (2020, 17 de febrero). ¿Qué son los materiales inteligentes fotoluminiscentes?

<https://fotoluminiscente.co/que-son-materiales-inteligentes-fotoluminiscentes/>

García, F., Olivares, A & Tapia, I. (2004). Conceptos y bibliografía sobre la fotoluminiscencia y procesos similares.

<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/1581/1/PanohayaGF.pdf>

Gobierno de México. (202, 2 de febrero). Coeficiente de retrorreflexión en marcaje horizontal.

[https://imt.mx/resumen-notas.html?IdArticulo=7&IdBoletin=4#:~:text=La%20retrorreflexi%C3%B3n%20es%20la%20capacidad,Meeten%2C%20G.H.%2C%201986\).](https://imt.mx/resumen-notas.html?IdArticulo=7&IdBoletin=4#:~:text=La%20retrorreflexi%C3%B3n%20es%20la%20capacidad,Meeten%2C%20G.H.%2C%201986).)

Hernández, J., Sáenz, E. & Vallejo, W. (2010). Estudio del Recurso Solar en la Ciudad de Bogotá para el Diseño de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados Residenciales. Revista Colombiana de Física. 42 (2).

<http://fisica.udea.edu.co/rcf/ojs/index.php/rcf/article/download/420221/82#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20solar%20mensual%20promedio,7.6%20HSS>

In Habitat. (2013, 22 de octubre). Dazzling STARPATH Pavement Lights Up the Night With Stored Solar Energy.

<https://inhabitat.com/dazzling-starpath-pavement-glows-in-the-dark-to-provide-energy-free-illumination/>

Jiménez, J. & Ruiz, C. (2016). Análisis del Comportamiento de Materiales Fotoluminiscentes Aplicados en la Señalización Horizontal. [Trabajo de grado, Universidad la Gran Colombia]

Medellín, P. (2021, 15 de marzo). ¿Por qué los ciclistas no usan las ciclorrutas?

<http://ieu.unal.edu.co/en/medios/noticias-del-ieu/item/por-que-los-ciclistas-no-usan-las-ciclorrutas#:~:text=Bogot%C3%A1%20es%20la%20ciudad%20de,de%20convivencia%20entre%20actores%20viales>

Ministerio de Transporte. (2015). Manual de Señalización Vial Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia 2015

Ministerio de Transporte. (s.f.). Glosario. Obtenido el 28 de julio del 2023, desde

<https://www.mintransporte.gov.co/glosario/genPag=5>

My Modern Meet. (2013, 23 de octubre). STARPATH: An Electricity-Free Alternative to Streetlights.

<https://mymodernmet.com/pro-teq-starpath>

Pintura Fosforescente. (2023). Barniz Poliuretánica Fosforescente PHU2K.

<https://www.pinturafosforescente.es/senalizacion-fotoluminiscente/253-pintura-fosforescente-poliuretana-133l.html>

Sánchez, R. (2023, febrero 20). Entérate cuántos kilómetros de ciclorrutas hay en Bogotá ¡Mapa y más!

Bogotá.Gov.

<https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/movilidad-cuantos-kilometros-de-ciclorrutas-hay-en-bogota-este-2023>

Secretaría Distrital de Movilidad. (2021). Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá 2021.

https://simur.gov.co/sites/www.simur.gov.co/files/2023-02-2023/Anuario/anuario_de_siniestralidad_2021.pdf

Sortira Paris. (2023, 19 de julio). Île-De-France: A Photoluminescent Bike Path That Glows In The Dark In Essonne.

<https://www.sortiraparis.com/en/news/in-paris/articles/296381-ile-de-france-a-photoluminescent-bike-path-that-glows-in-the-dark-in-essonne>

Tamayo, M. (2004). Tipos de investigación.

https://trabajodegradoucm.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098589/tipos_de_investigacion.pdf

This is Eindhoven. (s.f.). Van Gogh-Roosegaarde Bicycle path.

<https://www.thisiseindhoven.com/en/locations/van-gogh-roosegaarde-fietspad>

Vargas, J. (2023). Inseguridad, acoso y falta de iluminación, entre los problemas sobre las ciclorutas de Bogotá. Alerta Bogotá.

<https://www.alertabogota.com/noticias/local/inseguridad-acoso-y-falta-de-iluminacion-entre-los-problemas-sobre-las-ciclorutas-de>