

# IMPLEMENTACIÓN DE MATERIAL FOTOLUMINISCENTE EN PAVIMENTOS PARA EL TRÁNSITO DE BICICLETAS

## IMPLEMENTATION OF PHOTOLUMINISCENT MATERIAL IN PAVEMENTS FOR THE TRANSIT OF BIKES

---

*Daniel Santiago Cardenas Trujillo*<sup>1</sup>, *Henry Nicolás Buitrago Barrera*<sup>1</sup>  
Correos electrónicos: [danielcardenastru@gmail.com](mailto:danielcardenastru@gmail.com); [henryb41@hotmail.com](mailto:henryb41@hotmail.com)

<sup>1</sup> Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil,  
Grupo de estudio Transpiloto.

### RESUMEN

El objetivo de este estudio es determinar el comportamiento físico del material fotoluminiscente en mezclas asfálticas abiertas, proponiendo una gradación específica de una mezcla porosa para el uso en ciclo rutas o ciclo bandas, con el fin de aumentar la seguridad vial, priorizando al bici-usuario. Al haber pocos estudios del uso de los materiales fotoluminiscentes en mezclas asfálticas, este artículo brinda una solución innovadora en la adición de estos materiales generando un compuesto importante frente a la movilidad de la bicicleta a nivel metropolitano. Estableciendo una modificación a las mezclas porosas y mezclas en lechada, se elimina el comportamiento drenante dentro de la estructura, evidenciando un comportamiento favorable entre el material fotoluminiscente, el asfalto y el uso de una resina epoxica, los cuales brindan un tiempo de luminosidad prolongado en la noche y una forma de carga por luz natural en el día.

**Palabras Claves:** Fotoluminiscencia; mezclas asfálticas; ciclo-rutas; ciclo-bandas; bici-usuarios; seguridad vial; bicicletas; movilidad

### ABSTRACT

The objective of this study is to determine the behavior of the photoluminescent material in asphalt mixtures, proposing a specific gradation for use in cycle routes or cycle bands, in order to increase road safety, prioritizing the bike-user. In the absence of recent studies of the use of photoluminescent materials in asphalt mixtures, this article provides an innovative solution in the union of these materials generating an important compound in front of the mobility of the bicycle at the district level. Establishing a modification to the porous mixtures and mixtures in slurry, eliminating the draining behavior inside the structure, evidencing a favorable behavior between the photoluminescent material, the asphalt and the use of an epoxy resin, which provide a prolonged luminosity time in the night and a way of loading by natural light in the day.

**Keywords:** Photoluminescence; asphalt mixtures; cycle-routes; cycle-bands; bike-users; road safety; bikes; mobility

## 1. Introducción

En los últimos años se ha visto un crecimiento acelerado por el uso de bicicletas a nivel metropolitano, nacional y mundial; siendo la seguridad de los usuarios el punto más importante e influyente a tratar, “Las ciudades que son referente para el mundo por el porcentaje de viajes en bicicleta son Copenhague, Amsterdam, Berlín; pero si hablamos desde el contexto latinoamericano serían Bogotá y Rosario (Argentina).” (Andrés Felipe Vergara, encargado de la Secretaria de Movilidad de Bogotá, 2015, para revista Dinero).

Según el Instituto Nacional de Medicina Legal, durante el 2017 se han registrado 224 muertes de bici-usuarios a nivel nacional, Bogotá es la ciudad que lidera esta lista con 36 muertos, seguido del Valle del Cauca con 35 personas muertas; así mismo “se indica que las horas en las que se presenta mayor accidentalidad son entre las 6:00 y las 9:00 de la mañana (23% de los casos) y entre las 5:00 y las 8:00 de la noche (20%)” (Centro de Experimentación y Seguridad Vial Cesvi Colombia S.A., 2017), aumentando en los últimos años un 18% de mortalidad a comparación del año 2015 con 71 fallecimientos de ciclistas. Desde las 6 de la tarde hasta las 5 de la mañana es cuando se reduce la iluminación de la ciudad en los espacios destinados para los bici-usuarios, aumentando accidentes en estas zonas, es por esta razón que algunos usuarios optan por andar en las vías vehiculares ya que son estas zonas donde mayor iluminación se presenta, pero la gran mayoría de los bici-usuarios no usan sus implementos de seguridad: casco, chaleco reflectivos, luz blanca para la parte delantera de la bicicleta y luz roja en la parte posterior de la bicicleta, lo anterior establecido en la ley 1811 de 2017.

En tal caso, Bogotá busca reforzar su infraestructura vial con el aumento de la red

para el uso de las bicicletas con ciclo-rutas o ciclo-bandas, dependiendo de los espacios de circulación; a su vez, busca la seguridad del usuario implementando normativas que garanticen la protección del usuario como lo es la ley Pro-Bici 1811 del 2017, plan maestro de ciclorutas: manual de diseño y la guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas, entre otros.

Con el fin de garantizar la seguridad vial en las zonas de movilidad para bici-usuarios, se plantea como alternativa la implementación de un pigmento fotoluminiscente sobre la capa de rodadura de las ciclo-rutas o ciclo-bandas, que contribuye a la poca iluminación en las zonas de tránsito de bicicletas, complementado la iluminación del alumbrado tradicional.

## 2. Marco teórico

Los materiales fotoluminiscentes son elementos que emiten luz al ser cargados o excitados sus electrones por medio del incremento de la energía. (Materiales Inteligentes, 2015) Esta fotoluminiscencia se divide en dos tipos: la fluorescencia y la fosforescencia; la fosforescencia una vez excitada tiende a tener un tiempo prolongado de horas de luminosidad y la fluorescencia emite luz durante nanosegundos, es decir, necesita de energía continua para su luminosidad. Estos materiales se pueden presentar en pinturas, cintas reflectantes, lacas y pigmentos. Se tiene como referente “*Proteq Starpath*” (‘Camino pro estrella’) proyecto generado en Cambridge implementado en octubre de 2015, usando un sistema pulverizado que se rocía sobre la superficie existente, siendo este un sistema que mantiene el brillo de la vía durante la noche con el fin de garantizar la seguridad para las 20.000 personas que hacen uso de los bici-carriles existentes en Inglaterra. “proporciona una alternativa segura, más respetuosa con el medio ambiente y rentable a la iluminación

exterior, con la ventaja adicional de tener una apariencia deslumbrante tanto de día como de noche.” (Hamish Scott, inventor de StarPath, 2015).

Además, estos materiales se han implementado en un concreto hidráulico, con cemento Portland blanco y materiales fotoluminiscentes. El trabajo de Martínez Villarreal de la Universidad Autónoma de Nuevo León (México, 2015) se basa en el estudio de la combinación de la resistencia del cemento Portland para contrarrestar la baja resistencia de los materiales fotoluminiscentes, presentando una gran desventaja por su rápido deterioro con su exposición al sol y la baja resistencia a la abrasión Tecment. Una empresa tecnológica y de gestión constructiva ha desarrollado materiales con pintura de alta luminancia llamada matec vial; su aplicación se da en señalización horizontal, teniendo como fortaleza la resistencia a la intemperie. Con esta alternativa se tiene un ahorro económico frente al alumbrado tradicional debido a la ausencia de luminarias y mantenimiento; sino que además ofrece ventajas medioambientales como la reducción de contaminación lumínica y minimización de impacto ambiental por el consumo de energía eléctrica.

### 3. Metodología

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Pigmento fotoluminiscente

Se trabajó con un pigmento fotoluminiscente, compuesto de sulfuro de Zinc que responde rápidamente a la excitación por la luz del día, luz incandescente, luz fluorescente o luz ultravioleta. Emite un brillo azul fosforescente. El brillo se mantiene por un tiempo aproximado de 6 horas. La duración del brillo depende de la concentración del pigmento, el área de la superficie y la cantidad de energía radiante absorbida. No tiene componentes radioactivos ni tóxicos. Cuenta con una alta resistencia a la

temperatura y no tiene ningún inconveniente con las bajas de temperatura.

#### Ilustración 1 – Pigmento fotoluminiscente descargado



*Fuente: propia*

#### Ilustración 2 – Pigmento fotoluminiscente cargado



*Fuente: propia*

##### 3.1.2 Resina Epóxica

Se usa con el objetivo de revestir la superficie porosa de las mezclas propuestas, teniendo propiedades de cobertura impermeable dando protección al pigmento fotoluminiscente.

El proceso de secado de la resina epóxica luego de ser aplicada a la superficie es de 5 horas, presentando una alta resistencia a la presión y abrasión. La preparación es 50% de resina y 50% de epóxico, el cual hay que mezclar cuidadosamente para tener una excelente mezcla y evitar la aparición de burbujas. Con esto se evitará la fractura y mal adherencia de la resina epóxica a la mezcla asfáltica.

##### 3.1.3 Asfalto 60-70

Este tipo de asfalto se usa principalmente para la construcción y conservación de

carreteras, conocido como asfalto normalizado. Se conoce como asfalto 60-70 por el cumplimiento de especificaciones para la obtención de una característica de penetración comprendida entre 60 y 70 mm/10

Este asfalto fue suministrado por parte de la facultad de ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia, usado en las instalaciones de laboratorios.

### 3.2 Procesos

Este proyecto consta de cinco (5) fases (Ilustración 3). Inicialmente se consulta las normas existentes para el desarrollo de infraestructura bici en el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), en donde se encuentra el plan maestro de ciclo rutas de Bogotá de 1998 y el Manual Bici de 2014, adicionalmente se consulta en la Secretaria de Movilidad de Bogotá en el cual se tuvo como apoyo el Plan Bici y un estudio realizado por la cámara de Comercio de Bogotá: “Movilidad en bicicleta en Bogotá”.

Ilustración 3 – Resumen de Fases



Fuente:

*propia*

#### 3.2.1 Fase 1 – Selección de las muestras con gradación propuesta

En los documentos mencionados anteriormente se evidencia la falta de directrices o lineamientos para el diseño en mezclas en la construcción de pavimentos para el tráfico de bicicletas, dando como objetivo inicial del proyecto la implementación de una gradación específica para el uso de los bici-usuarios, teniendo como guía las gradaciones de los sellos de arena, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas porosas y tratamiento superficial simple, estos tipos de gradaciones están presentes en las especificaciones generales de construcción de carreteras desarrolladas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Con base a las gradaciones mencionadas se proponen 4 tipos de muestras con distintos

tamaños de partículas con el fin de observar cuál de estas presenta un equilibrio entre porosidad, tamaño de partículas y resistencia.

Comparando los cuatro tipos de gradaciones propuestas se seleccionaron dos gradaciones, las cuales presentaron mejor relación entre agregados gruesos y agregados finos, lo cual genera una mezcla abierta o porosa, siendo estas mezclas el objetivo para poder adicionar en los vacíos de la muestra el pigmento fotoluminiscente.

#### 3.2.2 Fase 2 – Análisis granulométrico de las mezclas seleccionadas

Posterior a la selección de las gradaciones se continuo el proceso de tamizaje para 1200 gramos de agregados para cada muestra, cumpliendo los porcentajes de retención planteados, generando 6 briquetas convencionales: 3 briquetas por muestra,



variando el porcentaje de asfalto de la siguiente manera: 5%, 5,5% y 6%

Luego de 24 horas de haber realizado las briquetas, se desarrolló una prueba de densidad por medio de peso en el aire, peso sumergido y peso tripe S, para cada muestra, con el fin de determinar cual muestra presenta mayor porosidad para adición del pigmento.

### 3.2.3 Fase 3 – Ensayo Marshall

Seguidamente se fallan las briquetas obtenidas bajo la norma del INVIAS I.N.V.E 748-13 – **ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL**, para finalmente escoger un solo tipo de muestra bajo los criterios de resistencia y porosidad (Ilustración 4 - Ilustración 5).

**Ilustración 4 – Desencofrado de muestras**



*Fuente: propia*

**Ilustración 5 – Prueba Marshall**



*Fuente: propia*

### 3.2.4 Fase 4 – Análisis granulométrico e implementación del pigmento en la muestra escogida

Después elegir una muestra, se realizan 6 nuevas briquetas convencionales de la muestra escogida, con la misma adición de asfalto (5%, 5,5% y 6%) realizando dos briquetas por cada porcentaje de asfalto, aplicando las respectivas cantidades de materiales. Posteriormente se adicionó el pigmento fotoluminiscente, bajo dos métodos de aplicado; el método A (mezclado) consiste en hacer una mezcla del pigmento con una resina epóxica, aplicándolo sobre la briketa y el método B (regado) el cual consiste en un rociado del pigmento sobre las briquetas con el fin de que este polvillo ocupe los vacíos presentes, protegiendo el pigmento después de aplicado con una resina epóxica.

### 3.2.5 Fase 5 – Resultados de implementación

Finalmente se determinó cuál de los dos métodos de aplicación de la resina es más efectivo evaluando cual presenta mayor luminosidad, menor tiempo de descarga y facilidad en el proceso de instalación, aumentando la seguridad vial en ciclo-rutas y/o ciclo-bandas.

## 4. Resultados

Inicialmente, se hizo guía de la mezcla porosa y mezcla en lechada, las cuales se caracterizan por tener un contenido de vacíos entre el 16% y el 25% que varía de acuerdo con la calidad de los agregados usados para determinada mezcla. Estas mezclas incrementan la adherencia entre la estructura de pavimento y el neumático de la bicicleta, razón por la cual se escoge este tipo de mezcla pensando en la seguridad de los bici usuarios sumándose al motivo principal, que en este caso conlleva a la adición de pigmento fotoluminiscente para una mayor visibilidad y seguridad de este sector de la población.

En la fase 1 se observan las granulometrías propuestas con sus diferentes porcentajes retenidos en cada tamiz seleccionado.

La muestra tipo 1 y tipo 2 ofrecen una variedad de pesos retenidos de diferentes tamaños; sin embargo, existe una gran cantidad de peso retenido en la sección fina de la muestra, con lo cual se prevé que esta mezcla ocupe una buena cantidad de vacíos, lo cual evitaría que el pigmento ingrese con facilidad por los poros de esta, razón por la cual se escogió la muestra tipo 3 y tipo 4, en la cual a pesar de poseer un buen contenido de peso retenido en su sección fina, se dedujo que no genera inconvenientes a la hora de adicionar el pigmento, adicional, estas muestras poseen una buena variedad de tamaños de partículas para dar una buena porosidad. Tabla 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

La fase 2 se realiza bajo la norma I.N.V.E-123-07 un análisis granulométrico por tamizado para la muestra tipo 3 y tipo 4 al 5%, 5,5% y 6%.

#### 4.1 Análisis muestra tipo 3

La granulometría de la muestra tipo 3 se evidencia en la Tabla 2, donde el 5% de asfalto, la cual tenía una cantidad de 1140 gramos, arrojó un contenido de grava del 90,13% con un porcentaje de grava media (20-6,3mm) del 41,11% y grava fina (6,3-2mm) del 49,01%.

La muestra al 5.5% de asfalto, la cual tenía una cantidad de 1134 gramos arrojó un contenido de grava del 94,44% con un porcentaje de grava media (20-6,3mm) del 42,94% y grava fina (6,3-2mm) del 51,50%.

**Tabla 1 – Granulometrías propuestas**

PROPUESTAS GRANULOMETRÍA											
TIPO DE GRADACIÓN	1 1/2	1"	3/4'	1/2'	3/8'	1/4'	No.4	No. 8	No. 16	No. 50	No. 200
Tipo 1	-	-	100	85-90	65-80	-	45-60	35-40	20-30	8-10'	2-5'
Tipo 2	-	-	-	100	75-90	50-60	35-50	-	18-30	4-15'	-
Tipo 3	-	-	100	80-95	60-80	40-60	18-35	5-15'	-	-	1-5'
Tipo 4	100	80-98	-	65-75	-	45-60	-	15-40	5-10'	-	-

Fuente: propia

**Tabla 2 – Porcentaje pasa tipo 3**

TAMIZ (PULG)	TIPO 3					
	MUESTA AL 5,0%		MUESTA AL 5,5%		MUESTA AL 6,0%	
	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (grs)	(%)	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (grs)	(%)	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (grs)	(%)
1 1/2	1.140,00	100,00%	1.134,00	100,00%	1.128,00	100,00%
1	1.140,00	100,00%	1.134,00	100,00%	1.128,00	100,00%
3/4	1.140,00	100,00%	1.134,00	100,00%	1.128,00	100,00%
1/2"	1.041,33	91,34%	958,20	84,50%	948,40	84,08%
3/8	876,83	76,91%	827,70	72,99%	812,40	72,02%
1/4"	671,33	58,89%	647,05	57,06%	632,40	56,06%
#4	350,90	30,78%	288,80	25,47%	262,20	23,24%
#8	112,60	9,87%	63,00	5,56%	112,90	10,01%
#16	139,00	12,19%	63,00	5,56%	112,90	10,01%
#50	139,00	12,19%	63,00	5,56%	112,90	10,01%
#200	12,50	1,09%	12,30	1,08%	13,10	1,16%

**Tabla 3 – Porcentaje pasa tipo 4**

TAMIZ (PULG)	TIPO 4					
	MUESTA AL 5,0%		MUESTA AL 5,5%		MUESTA AL 6,0%	
	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (grs)	(%)	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (grs)	(%)	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (grs)	(%)
1 1/2	1.140,00	100,00%	1.134,00	100,00%	1.128,00	100,00%
1	1.040,20	91,25%	987,20	87,05%	1.025,60	90,92%
3/4	1.040,20	91,25%	987,20	87,05%	1.025,60	90,92%
1/2"	831,50	72,94%	778,20	68,62%	835,60	74,08%
3/8	831,50	72,94%	778,20	68,62%	835,60	74,08%
1/4"	601,20	52,74%	570,00	50,26%	625,60	55,46%
#4	601,20	52,74%	570,00	50,26%	625,60	55,46%
#8	301,10	26,41%	262,30	23,13%	365,60	32,41%
#16	80,70	7,08%	57,30	5,05%	85,18	7,55%
#50	80,70	7,08%	57,30	5,05%	85,18	7,55%
#200	80,70	7,08%	57,30	5,05%	85,18	7,55%

Totales:	1200 gramos	1200 gramos	1200 gramos
----------	-------------	-------------	-------------

Fuente: propia

Totales:	1200 gramos	1200 gramos	1200 gramos
----------	-------------	-------------	-------------

Fuente: propia

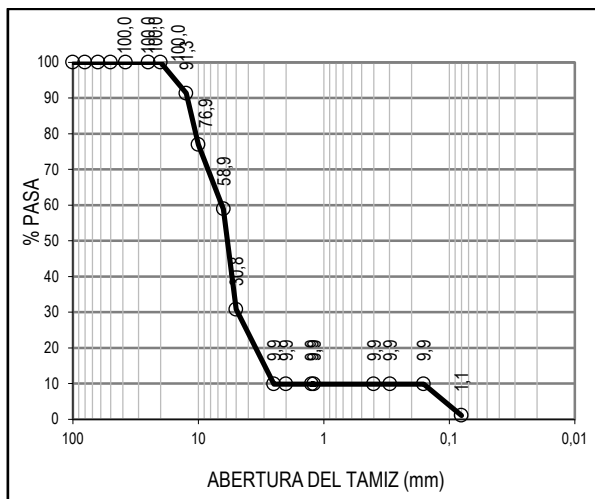
**Tabla 4 – Densidad muestra tipo 3 y tipo 4**

	Tipo 3			Tipo 4		
	Volumen (cm3)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm3)	Volumen (cm3)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm3)
5,0%	819,1	1120	1,37	727,8	1180	1,62
5,5%	760,9	1020	1,34	699,0	1100	1,57
6,0%	770,2	1020	1,32	774,0	1180	1,52

Fuente: propia

Además la muestra 3 al 5% de asfalto tuvo un contenido de arena del 8,78%, equivalente a solo arena fina y un contenido de finos del 1,09%.

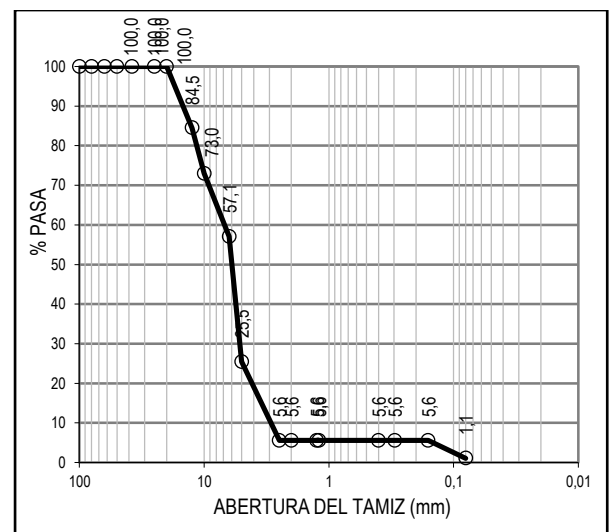
**Gráfica 1 - Granulometría muestra 3 al 5%**



Fuente: propia

La muestra tipo 3 tuvo un contenido de arena del 4,47%, equivalente a arena fina y un contenido de finos del 1,08%.

**Gráfica 2 - Granulometría muestra 3 al 5.5%**

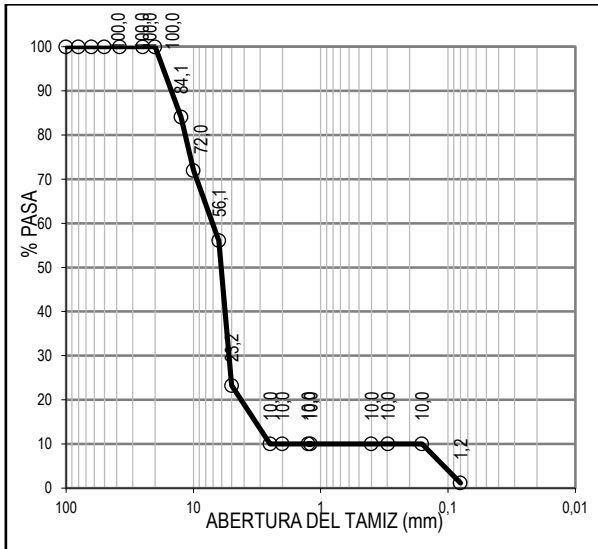


Fuente: propia

La muestra al 6% de asfalto, la cual tenía una cantidad de 1128 gramos, arrojó un contenido de grava del 89,99% con un porcentaje de grava media (20-6,3mm) del 43,94% y grava fina (6,3-2mm) del 46,05%.

La muestra tuvo un contenido de arena del 8,85%, equivalente a arena fina y un contenido de finos del 1,16%.

**Gráfica 3 - Granulometría muestra 3 al 6%**



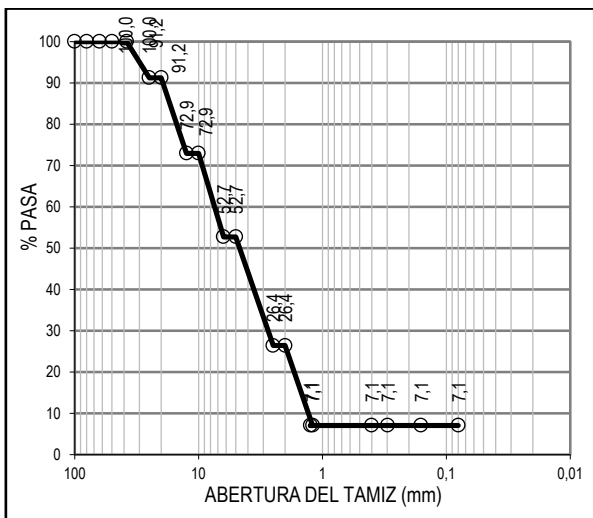
Fuente: propia

#### 4.2 Análisis muestra tipo 4

La granulometría para la muestra tipo 4 se evidencia en la Tabla 3, dando un resultado con asfalto al 5.0%, la cual tenía una cantidad de 1140 gramos, arrojó un contenido de grava del 73.59% con un porcentaje de grava gruesa (63-20mm) del 8.75%, grava media (20-6,3mm) del 38.51% y grava fina (6,3-2mm) del 26.32%.

La muestra tuvo un contenido de arena del 19.33%, equivalente a arena gruesa y un contenido de finos del 7.08%.

Gráfica 4 - Granulometría muestra 4 al 5%



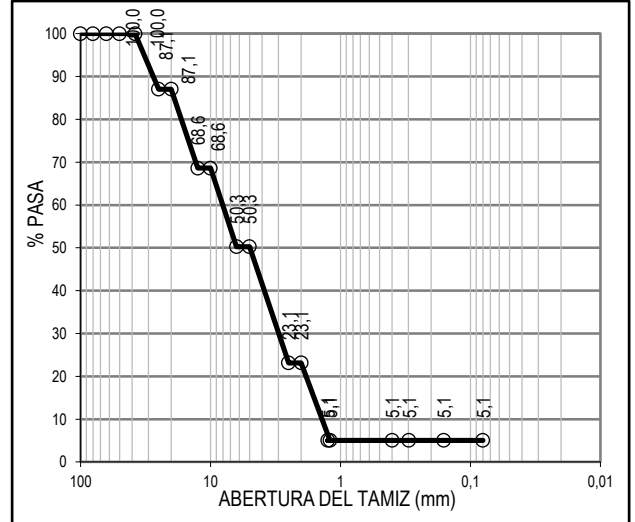
Fuente: propia

Al 5.5% de asfalto esta muestra, tenía una cantidad de 1134 gramos, arrojó un contenido de grava del 76.87% con un porcentaje de

grava gruesa (63-20mm) del 12.95%, grava media (20-6,3mm) del 36.79% y grava fina (6,3-2mm) del 27.13%.

La muestra tuvo un contenido de arena del 18.08%, equivalente a arena gruesa y un contenido de finos del 5.05%.

Gráfica 5 - Granulometría muestra 4 al 5.5%

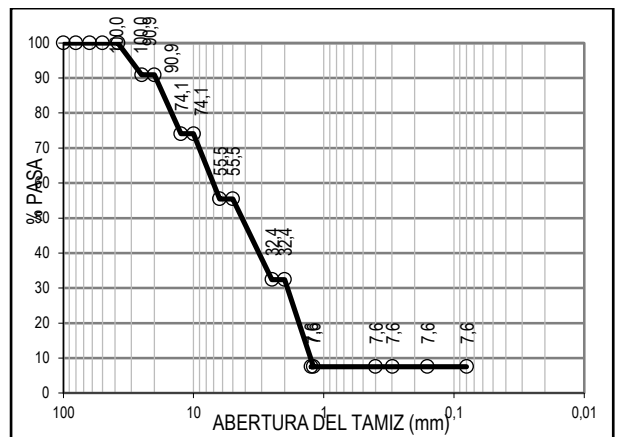


Fuente: propia

Con un porcentaje de asfalto del 6.0%, presenta una cantidad de 1128 gramos, arrojó un contenido de grava del 67.59% con un porcentaje de grava gruesa (63-20mm) del 9.08%, grava media (20-6,3mm) del 35.46% y grava fina (6,3-2mm) del 23.05%.

La muestra tuvo un contenido de arena del 24.86%, equivalente a arena gruesa y un contenido de finos del 7.55%.

Gráfica 6 - Granulometría muestra 4 al 5.5%



Fuente: propia



Bajo el sistema unificado de clasificación de suelos y debido a que más del 50% del peso de las muestras es retenido en el tamiz N°200 (0.075mm), se considera como un suelo granular grueso, el cual más del 50% de su fracción gruesa es retenida en la malla N°4 (4.74mm), que a su vez contiene menos del 50% de grava limpia que pasa por el tamiz N°200, lo que corresponde a grava bien gradada (GW) y grava pobremente gradada (GP).

La Tabla 4 nos muestra la densidad entre la muestra tipo 3 y a tipo 4. Las muestras al ser sumergidas en agua adquieren mayor densidad, es decir, muestran una porosidad ya que el agua se infiltro adecuadamente. Siendo la muestra tipo 3 la que presenta mayor densidad, consta de un factor que influye para la adición del pigmento fotoluminiscente, debido a que permite que el pigmento se filtre con facilidad en los poros de la muestra tipo 3.

**Tabla 5– Coeficientes de curvatura y uniformidad muestra tipo 3 y tipo 4**

Muestra	Porcentaje de asfalto	Cc	Cu
Tipo 3	5.0%	1.34	2.52
	5.5%	1.56	2.21
	6.0%	1.69	2.46
Tipo 4	5.0%	0.96	5.43
	5.5%	0.97	4.38
	6.0%	0.33	5.07

**Fuente: propia**

Por medio de las gráficas granulométricas de cada muestra se pudo determinar en la Tabla 5 que el índice de curvatura de la muestra tipo 3 está entre el rango 1-3 que corresponde a bien gradada, mientras que la muestra tipo 4 está por fuera del rango, el cual quiere decir que es mal gradada.

En la tercera fase se realiza el ensayo Marshall a los dos tipos de muestras (tipo 3 y tipo 4), sin embargo, este ensayo no fue realizado detalladamente puesto que para el enfoque del proyecto no es de gran importancia la resistencia de la briqueta debido a que este está enfocado para la bici carriles, y tiene como objeto la adición del pigmento.

**Tabla 6 - Resumen de fuerzas máximas**

Muestra	Porcentaje de asfalto	Fuerza máxima (kN)
Tipo 3	5.0%	5.56
	5.5%	11.09
	6.0%	13.11
Tipo 4	5.0%	15.06
	5.5%	15.74
	6.0%	20.00

**Fuente: propia**

Se escoge la muestra tipo 3, ya que ésta presentó un mayor valor en la fuerza máxima aplicada en el ensayo; sin embargo, el motivo más importante para ser seleccionada es porque tiene una variedad significativa de tamaños de partículas que favorecen la mayor porosidad con respecto al otro tipo de muestra, indicada por el coeficiente de curvatura y uniformidad de las muestras

Posteriormente se realizaron seis (6) nuevas briquetas, dos (2) por cada porcentaje de la muestra tipo 4, con el fin de analizar dos métodos de aplicación del pigmento fotoluminiscentes, tres (3) briquetas con el método A – mezclado (Ilustración 6) y tres (3) briquetas con el método B – regado (Ilustración 7).

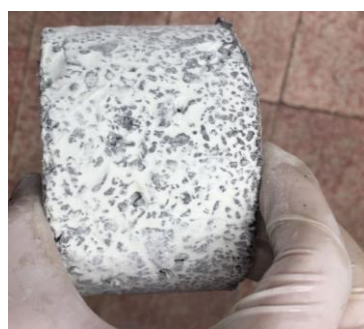
**Ilustración 6 – Método A - Mezclado**



pigmento-resina

**Fuente: propia**

**Ilustración 7 - Método B - Regado pigmento-**



resina

**Fuente: propia**

**Tabla 7 - Cantidad de pigmento aplicado**

Aplicación	Briqueta	Cantidad (gr)
Mezclado	5.0%	40
	5.5%	40
	6.0%	40
Regado	5.0%	50
	5.5%	50
	6.0%	50

**Fuente: propia**

**Ilustración 8 - Briquetas con el metodo A**



*Fuente: propia*

**Ilustración 9- Briquetas con el metodo B**



*Fuente: propia*

**Tabla 8 - Tiempos de carga y descarga mezclado**

Muestra mezclado de pigmento con resina				
Día	Tiempo Inicial	Tiempo final	Tiempo de Carga (min)	Tiempo de Descarga (min)
1	7:45	8:00	15	15
1	8:00	8:30	30	30
1	9:00	10:00	60	60
2	8:00	10:00	120	120
3	8:00	11:00	180	180
4	8:00	12:00	240	240
7	8:00	13:00	300	240
8	8:00	14:00	360	210
9	8:00	15:00	420	180

*Fuente: propia*

Con la aplicación del mezclado pigmento-resina se tuvo un tiempo de descarga igual al tiempo de carga en las primeras cuatro horas cumpliendo con el tiempo mínimo de luminiscencia especificado en el pigmento, mientras que, para un tiempo de carga de 5 horas, el tiempo de descarga fue menor, sin

embargo se mantuvo constante respecto al tiempo anterior. Por otro lado, para los tiempos de carga de 6 y 7 horas, el tiempo de descarga disminuye haciendo que la briqueta pierda su luminiscencia en menos horas: adicionalmente, la briqueta destelló un brillo azul muy opaco el cual no daba la fotoluminiscencia original del pigmento.

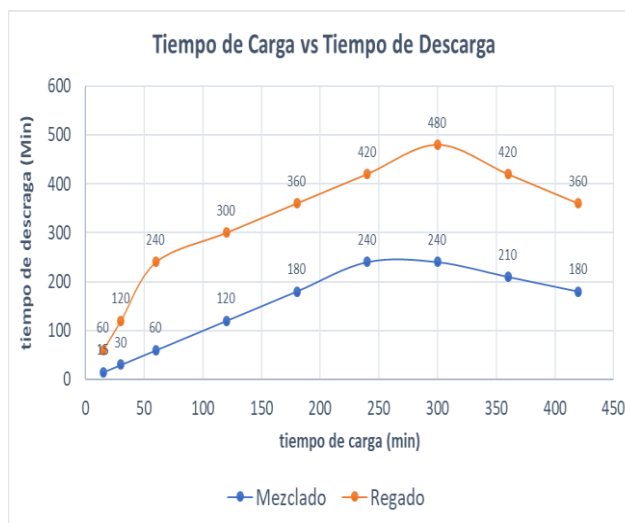
**Tabla 9 - Tiempos de carga y descarga regado**

Muestra regado de pigmento protección con resina				
Día	Tiempo Inicial	Tiempo final	Tiempo de Carga (min)	Tiempo de Descarga (min)
1	7:45	8:00	15	60
1	8:00	8:30	30	120
1	9:00	10:00	60	240
2	8:00	10:00	120	300
3	8:00	11:00	180	360
4	8:00	12:00	240	420
7	8:00	13:00	300	480
8	8:00	14:00	360	420
9	8:00	15:00	420	360

*Fuente: propia*

Con la aplicación del regado del pigmento y el posterior cubrimiento con resina se obtuvo tiempos de descarga mayores a los tiempos de carga, salvo los tiempos de carga de 6 y 7 horas en los cuales los tiempos de descarga fueron menores, sin embargo, la briqueta necesitó de un tiempo de carga de 5 horas para alcanzar un tiempo de descarga de 8 horas.

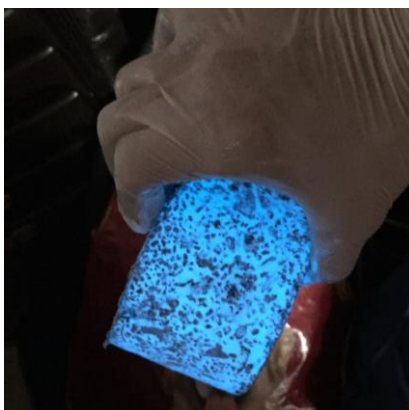
**Gráfica 7 - Comparación métodos de aplicación pigmento**



*Fuente: propia*

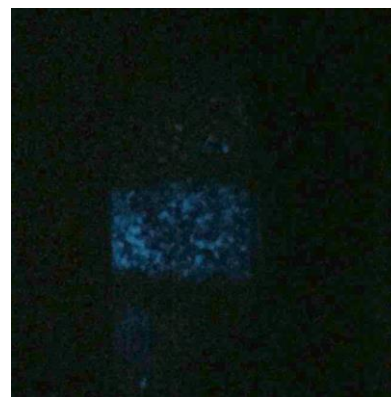
El uso del pigmento arrojó datos positivos contra la filtración en los vacíos de la briqueta. Los materiales lograron un tiempo de descarga mayor o igual al tiempo de carga, lo que indica que el tiempo de descarga va en aumento respecto a la duración y cargado y con mayor cantidad de material mayor será el rendimiento en la duración de descarga; sin embargo, la diferencia se encuentra en los métodos de aplicación del pigmento puesto que el método de regado del pigmento arrojó tiempos de descarga muchísimo mayores al método de mezclado del pigmento, y su brillo es muchísimo más intenso que en método de mezclado, debido que este ofrece la misma luminiscencia que el pigmento en condición original.

**Ilustración 10 - Briquetas con el regado del pigmento Cargada**



*Fuente: propia*

**Ilustración 11 - Briquetas con el mezclado**



del pigmento Cargada

*Fuente: propia*

Se realizó una comparación frente al rendimiento del alumbrado tradicional en la ciudad de Bogotá D.C. y el uso del pigmento fotoluminiscente, donde la implementación del pigmento en las distintas estructuras para bicicletas brinda mayor seguridad vial al bici-usuario, ya que este dispone de un tiempo de luminosidad de 5 horas con posibilidad de aumento con un incremento del pigmento. De esta manera se tiene como primera medida un panorama más claro de la vía por donde se circula, además la eliminación en la instalación del alumbrado tradicional, disminuye el uso de postes de luz.

## 5. Conclusiones

En primera instancia, la respuesta a la implementación de material fotoluminiscente en bici carriles fue positiva puesto que las briquetas reaccionaron de una manera correcta por medio de los dos métodos usados de aplicación, que presentó mayor ventajas que el otro,; sin embargo, esto puede deberse a diferentes factores que pueden cambiar el comportamiento del pigmento.

Vale la pena resaltar que otro factor que puede afectar el rendimiento de las briquetas es el clima en el que estas entran en

funcionamiento, si bien estas fueron probadas en periodo decembrino, es decir, en clima nubloso, estas respondiendo de forma correcta dando buen rendimiento, las briquetas podrían teóricamente ofrecer mayor eficiencia en climas cálidos, puesto que se presume que en climas cálidos con luz solar más intensa puede ofrecer mayor tiempo de luminiscencia.

Uno de los factores que en primera instancia se concluye que influye para la correcta respuesta del pigmento es la cantidad de pigmento que se aplica, debido a que las briquetas con el regado del pigmento se le adicionaron 10 gramos más que al método del mezclado, con lo cual se puede inferir que una de las razones por las que este método no arrojó datos favorables fue la falta de más gramos de pigmento.

Por otro lado, proyectando en una posible implementación, cabe destacar que para un óptimo funcionamiento, es de gran importancia los métodos de mezclado y aplicación del pigmento sobre la estructura del bici carril, ya que las diferencias entre los dos métodos de aplicación usados fueron determinantes y valdría la pena realizar un estudio más a fondo en cuanto a las técnicas de aplicación, sin embargo, cabe resaltar que en el método de regado, éste rellena todos los vacíos de la briqueta, mientras que al mezclar la resina con el pigmento, éste disminuye sus propiedades haciendo que requiera de mayor cantidad del pigmento para el mismo rendimiento que el método de regado, lo cual podría conllevar a un aumento en los costos en un escenario real de construcción de bici carriles.

## 6. Bibliografía y/o Referencias

- [1] Alcaldía Mayor de Santa fe de Bogotá D.C. Plan Maestro de Ciclorutas: Manual de Diseño. *I.D.U.* (1998).
- [2] Bañón, L. & Beviá, J.F. (2000). *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento.* Ortiz e Hijos. Contratista de Obras, S.A., cap. 15, pp. 7-10.
- [3] B.S. Hamad, “Investigations of chemical and physical properties of White cement concrete,” *Adv. Cem. Based Mater*, vol. 2, no.4, pp. 161-167, Jul. 1995
- [4] Inteligent.es (2015-2016), *Materiales inteligentes: Productos Fotoluminiscentes*, Valencia, España, recuperado de <https://www.inteligentes.org>
- [5] Jiménez, J.D., “Análisis del comportamiento de materiales fotoluminiscentes aplicados en la señalización horizontal.”, *Universidad La Gran Colombia*, Oct. 2016
- [6] Martínez, J.A., “Efecto de la adición de materiales fotoluminiscentes en las propiedades de estado fresco y endurecimiento del cemento portland blanco.”, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, Nov. 2015
- [7] Ministerio de Transporte de Colombia (2016), *Guía de ciclo-Infraestructura para ciudades colombianas*. Bogotá, Colombia.
- [8] R. Chen & S.W. S. McKeever, “Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena,” 1st ed. World Scientific, 1997
- [9] Scott, H. (2016-2017), *Pro Tec*. Cambrigde, Reino Unido: StarPath, recuperado de <https://www.pro-teqsurfacing.com/press-release/>
- [10] TECMENT Tecnología y Gestión constructiva SL, MaTec – Q, Valencia, España, Sep. 2015
- [11] (Andrés Felipe Vergara, encargado de la Secretaria de Movilidad de Bogotá, 2015, para revista Dinero).



