



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

Innovación en las facultades de ingeniería:  
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



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

Juan David Jiménez Negrete, Paula Camila Ruiz Parra

Universidad La Gran Colombia  
Bogotá, Colombia

## Resumen

El estudio se basa en la realización de un análisis del comportamiento de materiales fotoluminiscentes para ser aplicados en la señalización horizontal en el país. Esta señalización tendrá como objetivo iluminar las demarcaciones horizontales con el fin de que sean visibles en las horas nocturnas para los usuarios de la vía logrando reducir la accidentalidad. Primero se eligió el material que cumpliera con la característica fotoluminiscente, se probó su capacidad de carga y descarga durante tiempos determinados, se aplicó sobre asfalto para medir su filtración en los vacíos de este con el propósito de determinar su comportamiento mecánico mediante del ensayo del péndulo británico para identificar sus condiciones de implementación y finalmente se realizó el análisis de costo para implementación sobre algunas demarcaciones horizontales principales de la zona urbana.

**Palabras clave:** materiales fotoluminiscentes; señalización horizontal; péndulo británico

## *Abstract*

*The study is based on an analysis of the behavior of photoluminescent materials to be applied in horizontal signage in the country. This signal will aim to illuminate the horizontal demarcations in order to be visible in the night hours for road users being able to reduce the accident rate. First the material that met the photoluminescent feature was chosen, its ability to charge and discharge was tested during certain times, was applied on asphalt to measure filtration vacuums this in order to determine their mechanical behavior by the*

*pendulum test British to identify their conditions of implementation and finally the cost analysis for implementation on some major horizontal boundaries of the urban area was performed.*

**Keywords:** *british pendulum; horizontal signaling; photoluminescents materials*

## 1. Introducción

El estudio 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 con el propósito de 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.

Para el inicio del estudio se requirió de la elección del material que cumpla con la función de iluminar y que su duración sea por largo tiempo. 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 una unión entre el asfalto y el material teniendo en cuenta las condiciones adecuadas observando el comportamiento de absorción y adherencia, hasta llegar a cumplir con la necesidad que quiere el estudio.

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

## 2. Metodología

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

Fase 1. Selección del material fotoluminiscente adecuado para generar la señalización horizontal capaz de cumplir con la función de iluminar en las horas nocturnas, teniendo en cuenta la propiedad fotoluminiscente en interacción con el asfalto

Fase 2. Identificación del potencial de carga y descarga de iluminación del material fotoluminiscente para la señalización horizontal mediante la realización de pruebas de iluminación con el fin de encontrar el tiempo de

duración de la iluminación del material. Toma de diferentes cantidades de material para realizar una comparación entre los materiales fotoluminiscentes. De esta forma se seleccionó el de mejor desempeño en duración de iluminación capaz de cumplir con las necesidades del estudio.

Fase 3. Evaluación del desempeño de la señalización horizontal con los materiales fotoluminiscentes, 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 donde se obtuvo la norma I.N.V. E – 792 – 13 para obtener el Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico, para identificar que tan eficiente es el funcionamiento y que tan viable puede llegar a ser su implementación.

Fase 4. Análisis del costo en la implementación de la señalización horizontal con materiales fotoluminiscentes para ello se indago para obtener información sobre el costo utilizado para la realización e implementación de la señalización horizontal.

### 3. Resultados y discusión

Para generar la señalización horizontal fotoluminiscente se realizaron diferentes pruebas iniciando con la obtención del potencial de carga de iluminación para el cual se realizaron briquetas con guía de 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.

TABLA I. CONDICIONES PARA LAS BRIQUETAS MEDIANTE EL ENSAYO MARSHALL.

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

Fuente: Autores

Teniendo las briquetas se continuó con la aplicación del material fotoluminiscente en las briquetas, para ello se utilizaron diferentes cantidades de material (Tabla II), usando polvo fotoluminiscente (figura 1) y pintura fotoluminiscente (figura 2), para observar la filtración del material por los vacíos en la briqueeta.

TABLA II. CANTIDAD DE MATERIAL FOTOLUMINISCENTE.

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

Fuente: Autores



Fig. 1. Briquetas con el polvo fotoluminiscente de 35 g y 62,64 g.

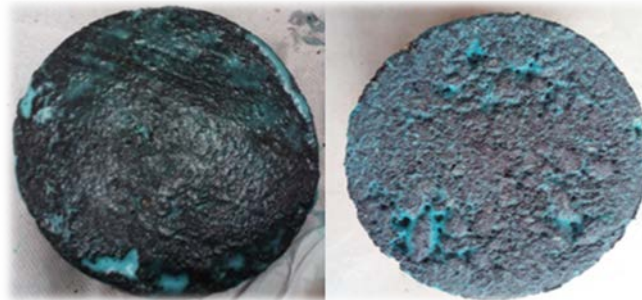


Fig. 2. Briquetas con la pintura fotoluminiscente de 35 g y 62,64 g.

Se evidencia el comportamiento del polvo fotoluminiscente con resultados favorables contra la filtración a los vacíos presentados en la briqueta, a diferencia de la pintura fotoluminiscente que presentó filtración en los vacíos de la briqueta. Por esta razón, se elige el polvo fotoluminiscente para la realización de pruebas y así obtener la capacidad de carga y descarga de iluminación del material; para ello se realizaron briquetas con diferentes cantidades del material para observar su comportamiento. (Tabla III y Figura 3).

TABLA III. CANTIDAD DE MATERIAL FOTOLUMINISCENTE PARA LAS BRIQUETAS

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

Fuente: Autores



Fig. 3. Briquetas y material fotoluminiscente.

Se realizó la toma de datos de tiempos para seis ocasiones, empezando con 15 y 30 minutos seguidos de 1, 2,3 hasta 4 horas (Tabla IV). Todos con un dato de tiempo de inicio 0 hasta cumplir el tiempo de carga.

TABLA IV. CANTIDAD DE MATERIAL FOTOLUMINISCENTE PARA LAS BRIQUETAS.

Condiciones	Hora Inicio	Hora Final	Tiempo Cargado (min)
Día soleado con nubes (21°)	10:15	10:30	15
Día soleado con nubes (21°)	11:00	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: Autores

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 gráfica de carga vs descarga (figura 4). Indicando un total de 6 tomas para cada briqueta, el promedio entre la briqueta 1 y 2 ambas con una cantidad de material fotoluminiscente de 35 g, el tiempo fue de carga de 15 min hasta los 240 min y a su vez se obtuvo un tiempo de descarga de 17 min hasta los 475 min, el promedio entre la briqueta 3 y 4 ambas con una cantidad de 40 g, tuvieron un tiempo de carga de 15 min hasta los 240 min y tiempo de descarga de 22 min hasta los 485 min, para las briquetas 5 y 6 con un contenido de 45 gramos para ambas de material fotoluminiscente, su tiempo de carga fue de 15 min hasta los 240 min con un tiempo de descarga de 25 min hasta los 500 min y finalizando con las briquetas 7 y 8 cada una con 50 g de materia con un promedio en el tiempo de carga de 15 min hasta los 240 min y a su vez se obtuvo un promedio del tiempo de descarga de 26 min hasta los 525 min, mostrando claramente para cada cantidad de material fotoluminiscente un aumento en el tiempo de descarga en comparación con el tiempo de cargado.

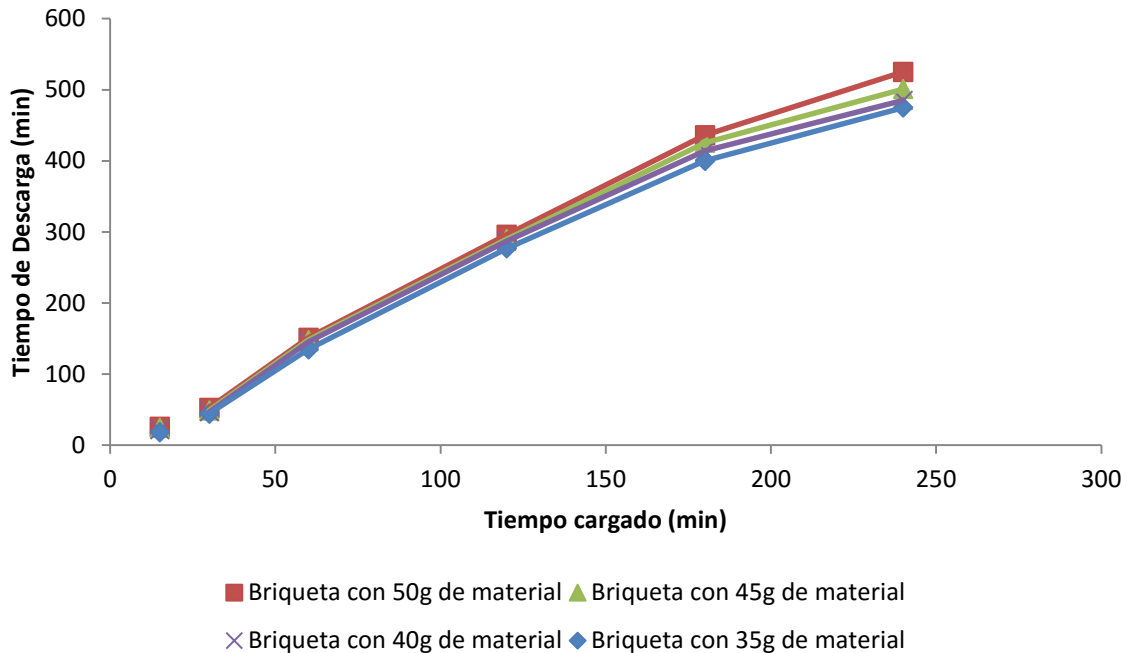


Fig. 4. Duración de carga Vs. El tiempo cargado para la comparación de las briquetas y material fotoluminiscente.

Los materiales lograron un tiempo de descarga igual o mayor al tiempo de carga, lo que indica que el tiempo de descarga va en aumento respecto a la duración de cargado y para mayor cantidad de material mayor será el rendimiento en la duración de descarga.

Por los resultados anteriores, se eligió la cantidad de 45 gramos de material para comenzar con la evaluación del desempeño mecánico. Para ello se realizaron tres probetas mediante las especificaciones del ensayo Marshall para compactación de briquetas con la norma I.N.V.E. 748-13.

TABLA V. CARACTERÍSTICAS 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 asfáltico	5	122,78

Fuente: Autores

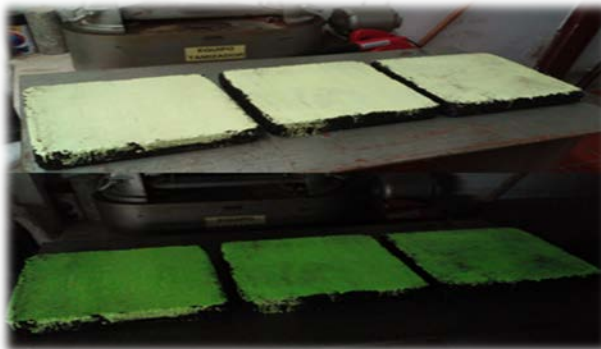


Fig. 5. Probetas para ensayo de péndulo británico con material fotoluminiscente.

Teniendo listas las probetas se procedió a realizar el ensayo coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico de la norma I.N.V. E – 792 – 13. Se inició 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).



Fig. 6. Probeta en la realización del ensayo de péndulo británico.

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 donde MALO tiene un rango de 0-35, REGULAR de 35-45. BUENO de 45-55 y MUY BUENO de 55-100, permitiendo saber en qué condición se encuentra la señalización horizontal propuesta para este estudio.

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 (Tabla VI) como para temperatura de 40°C (Tabla VII) para observar su comportamiento al deslizamiento

TABLA VI. VALORES DE C.R.D A TEMPERATURA AMBIENTE

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
<b>Promedio</b>	<b>61</b>	<b>59</b>	<b>61</b>	<b>60</b>

Fuente: Autores

TABLA VII. VALORES DE C.R.D A TEMPERATURA DE 40°C

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
<b>Promedio</b>	<b>51</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>53</b>

Fuente: Autores

El promedio de los valores de C.R.D. para temperatura ambiente se encontró en 60 está dentro del rango de 100-55 por lo que su calificación es MUY BUENA. Para la temperatura de 40°C 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. está dentro del rango de 45-35 por lo que su calificación es REGULAR. Para el análisis de costos de la señalización horizontal fotoluminiscente se tomaron las especificaciones del Manual de Señalización Vial del 2015 de Colombia para las demarcaciones horizontales y a cada una de ella se le llevó a cabo el proceso de identificación de cantidad de material usado y costo de implementación. El valor de la mezcla para 1000 gramos es de \$ 140.000 pesos colombianos y el valor del metro cuadrado es de \$155.000.

TABLA VIII. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Demarcación Horizontal	Costo de Implementación
Demarcación de ceda el paso	\$ 223.000 COP
Demarcaciones de pasos peatonales	\$ 871.000 COP
Demarcaciones de señal de Pare	\$ 217.000 COP

Fuente: Autores

A simple vista la implementación se ve costosa y tal vez lo sea comparado con la señalización convencional utilizada en estos momentos. Pero esta señalización tiene el beneficio de ahorrar energía eléctrica por su principal función de iluminar gracias a su característica fotoluminiscente, por lo que al final resultara más económica que la señalización utilizada actualmente.



## 4. Conclusiones

Para las condiciones ambientales en Bogotá con una temperatura máxima de 25 °C el rendimiento de la señalización propuesta en este estudio es muy eficiente, pero se evidenció que al incrementar la temperatura en este caso llevada a los 40°C su rendimiento empezó a bajar, la alta temperatura tiene efectos negativos sobre la señalización.

La señalización horizontal fotoluminiscente puede ser 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 y es de gran benefactor para el medio ambiente.

## 5. Referencias

### Artículos de revistas

- BALANCE DE ACCIDENTALIDAD VIAL PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. Secretaría distrital de movilidad. Bogotá D.C. junio de 2015
- FUBBODENPLATTE. Hauptanspuch 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.
- PÉREZ Millán, BECÚ Villalobos, La proteína verde fluorescente ilumina la biociencia. Medicina, Buenos Aires, 2009, p 370-374.
- SALZANO, Clara. Photoluminescent: il primo pavimento che si illumina di notte senza elettricità. Fanpage it [en línea], 5 de marzo de 2015.

### Normas técnicas

- INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA. I.N.V. E- 792 -07, I.N.V. E - 748 -07. Bogotá D.C.: el instituto, 2007. 1-12p.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE, Manual de Señalización vial, Bogotá D.C., mayo de 2004. Capítulo 3, p 107-108

### Fuentes electrónicas

- 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/>

## Sobre los autores

- **Juan David Jiménez Negrete:** Estudiante de ingeniería civil. [jjimenezn@ulagrancolombia.edu.co](mailto:jjimenezn@ulagrancolombia.edu.co)
- **Paula Camila Ruiz Parra:** Estudiante de ingeniería civil. [paulacamila.ruiz@ulagrancolombia.edu.co](mailto:paulacamila.ruiz@ulagrancolombia.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)