

BOLETÍN TÉCNICO

PITRA-LanammeUCR

Volumen 12, N.º 4, Abril 2021

Evaluación del desempeño de los captaluces a partir de la retrorreflectividad y otros factores asociados

Ing. Gabriela Vindas Azofeifa

✉ maria.vindasazofeifa@ucr.ac.cr

Unidad de Seguridad Vial y Transporte

Ing. Sandra Solórzano Murillo

✉ sandra.solorzanomurillo@ucr.ac.cr

Unidad de Seguridad Vial y Transporte



1. Introducción

Los captaluces son dispositivos colocados en la calzada como parte del sistema de demarcación vial; una de sus mayores ventajas es la propiedad de retrorreflectividad, la cual permite al conductor guiarse a pesar de condiciones climáticas o geométricas adversas, o de mala iluminación (Stellfox, 2004).

El diseño de los captaluces ha evolucionado a través del tiempo, aportando así resistencia y alargando su vida útil. Normalmente se fabrican en policarbonato (PC), polímero con propiedades mecánicas altas y químicamente estables; capaces de soportar grandes cargas y alta abrasión. Adicionalmente, se han creado captaluces de diferentes colores con el objetivo de acompañar de forma adecuada la señalización requerida, clasificándose así en los siguientes tipos (INTECO, 2017):

- Tipo A: Captaluz con ambas caras retrorreflectivas del mismo color.
- Tipo B: una sola cara retrorreflectiva, en un color.
- Tipo C: Captaluz con ambas caras retrorreflectivas de diferente color.

Según su color, los captaluces se clasifican con las letras:

- W: blanco
- Y: amarillo
- R: rojo
- B: azul
- G: verde

En cuanto a la resistencia a la abrasión, los captaluces se clasifican con las letras:

- H: captaluz con alta resistencia a la abrasión en la superficie retrorreflectiva (lente).
- F: captaluz con una longitud mayor la cual proporciona la capacidad de ser utilizado tanto en superficies flexibles como rígidas.

Adicionalmente, los requerimientos nacionales de retrorreflectividad se basan en la norma ASTM D4280 (o normativa nacional INTE W38), tal como se muestra en la Tabla 1. Además, se incluyen tanto los ángulos de entrada como el ángulo de observación, los cuales se deben emplear dependiendo del equipo de toma de datos empleado (INTECO, 2017).

Tabla 1. Valores de retrorreflectividad según INTE W38 (INTECO, 2017)

Componente de ángulo de entrada β_2	Ángulo de observación α	Valor mínimo R, mcd/lx				
		Blanco	Amarillo	Rojo	Verde	Azul
0°	0.2°	279	167	70	93	26
+20°/ 20°	0.2°	112	67	28	37	10

Por otro lado, se tiene el adhesivo, que para efectos del ensayo realizado se utilizó material bituminoso, el cual es una mezcla de compuestos provenientes de la extracción de crudo de petróleo. Las características propias de cada calidad dependen propiamente del origen del pozo y con ello la cantidad de resinas, compuestos aromáticos y asfáltenos, entre otros (Remišová & Holý, 2017).

El bituminoso posee dos importantes usos en el ámbito de la construcción y demarcación de carreteras: es uno de los componentes de algunos asfaltos y, además, se usa como pegamento para la colocación de captaluces, en cuyo caso se sugiere que se utilice en pavimentos flexibles. Es importante mencionar que, al igual que cualquier producto, sus propiedades cambian a través del tiempo; sus propiedades cohesivas y adhesivas se ven afectadas por factores como el origen, la temperatura de adherencia y el tiempo de secado; el cual a su vez corresponde al tiempo mediante el cual suceden las interacciones propias entre el pegamento y la superficie (Zhang, Airey, & Grenfell, 2016).

2. Metodología

Con base en la revisión de literatura y en la experiencia en campo en la evaluación de captaluces en nuevos proyectos viales y en la red vial existente, se planteó la siguiente metodología experimental:

1. Se tomó una muestra de bituminoso de dos distintos proveedores (A, B), y cada muestra se dividió en 2 submuestras.
2. A las 2 submuestras de cada marca se le aplicaron los siguientes ciclos térmicos para realizar la instalación de captaluces:
 - a. Submuestra 1: Se calentó el bituminoso a 200 °C para colocar los captaluces.
 - b. Submuestra 2: Se repitió el proceso de calentamiento hasta 200 °C y se permitió enfriar a temperatura ambiente por 2 veces consecutivas. Esta condición es semejante a lo que se realiza en campo al quedar material remanente en la caldera. A la tercera vez de calentamiento se instalaron los captaluces.

3. Se procedió a colocar los captaluces en el orden especificado de acuerdo con el siguiente diagrama mostrado en la Figura 1, donde los captaluces de color rojo representan aquellos instalados con adhesivo de submuestra 2, es decir, con 3 ciclos térmicos de calentamiento, y los captaluces color azul representan aquellos instalados con adhesivo de submuestra 1, es decir, con un ciclo térmico. La distancia entre cada línea transversal (de color celeste en la Figura 1) es de 0.5 m.

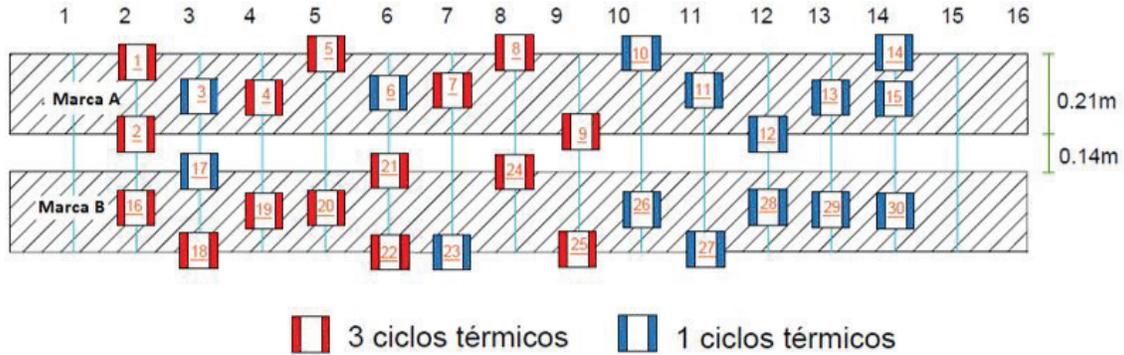


Figura 1. Diagrama metodológico para la colocación de captaluces en la pista del HVS, según pretratamiento del bituminoso

4. Se midió la retrorreflectividad de cada muestra de captaluz previo a la aplicación de pasadas del HVS, como condición base. Para conocer el comportamiento de la retrorreflectividad frente a la constante exposición a efectos de fricción generados por la flota vehicular, se utilizó el diagrama planteado en la Figura 1, sobre la pista de pruebas del HVS, para lograr así impactos al lente, tanto central como impacto lateral conforme se representa en la Figura 2, lo cual permite identificar diferencias entre impactos de la llanta con los captaluces.

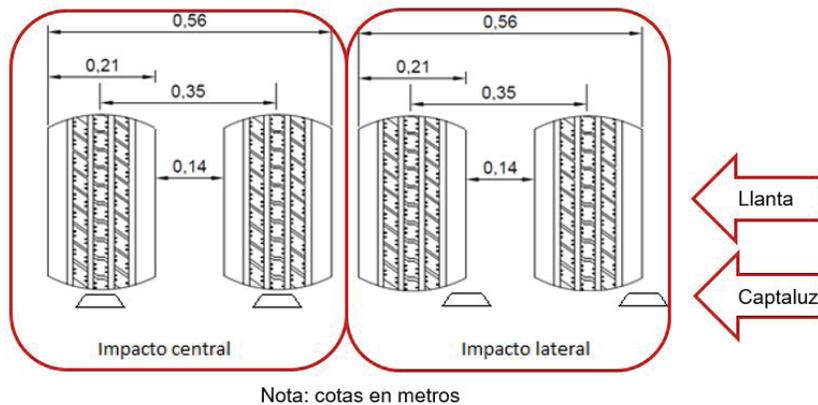


Figura 2. Diferencias entre impacto central o lateral de la llanta con el captaluz

5. Se detuvo el HVS en 2000, 5000, 10 000, 20 000, 35 000, 40 000 y finalmente 50 000 pasadas, para realizar las respectivas mediciones de retrorreflectividad en ambos sentidos de rodamiento.

6. Se procesaron y se analizaron los resultados.

2.1 Tratamiento de datos

El diseño factorial permite estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas. Los elementos llamados factores pueden ser cualitativos: marca, presencia o ausencia de alguna pieza, tipo de elemento, entre otros. De forma generalizada, el arreglo factorial de tipo 2^k está constituido por k factores, cada uno de ellos con dos niveles. Una de las mayores ventajas del diseño factorial es que permite estudiar el efecto individual, así como la interacción entre los distintos factores (Gutiérrez, 2008).

Dado que el objetivo de este ensayo era observar el comportamiento de la retrorreflectividad a través de una exposición frente al HVS y el efecto que el adhesivo posee sobre esta propiedad, se planteó un diseño estadístico de tipo factorial que fuese capaz de contemplar no solo cada uno de los factores que pudiesen afectar, sino también la interacción entre ellos.

Para el presente documento se planteó un factorial de 2^4 , en el que mediante dos niveles se examinaron los factores que se muestran en la Tabla 2, los cuales se evaluaron para 95% de confianza cumpliendo a su vez con los supuestos del modelo.

Tabla 2. Elementos del diseño estadístico planteado para un modelo de 2^k

Factor	Nivel bajo (-1)	Nivel alto (+1)
Impacto al captaluz	Central	Lateral
Ciclos térmicos	1	3
Marca	A	B
Posición	Acelerado-desacelerado	Velocidad constante

En donde:

- Impacto al captaluz: se refiere al punto donde será impactada la muestra, ya sea si pasa por encima del captaluz generando una presión (central) o que pasa parcialmente sobre el captaluz provocando un torque (lateral).
- Ciclos térmicos: Pretratamiento realizado previo a la colocación, en ciclos de calentamiento y enfriamiento.
- Marca: marca del adhesivo bituminoso.
- Posición: ubicación en la pista de prueba, ya sea en zona de aceleración-desaceleración del HVS (zona de frenado), o bien, en la zona central de velocidad constante de la llanta del HVS.

Estos factores fueron elegidos con el fin de simular algunas situaciones evidentes en carretera como:

- Reducciones en ancho de carril: en zonas donde no se cuenta con las dimensiones mínimas, por lo que el paso de los vehículos sobre los captaluzes retrorreflectivos aumenta.
- Pretratamiento adecuado del material adhesivo: se considera la condición de varios precalentamientos del material previo a la colocación.

4. Resultados

Como uno de los resultados de este ensayo, fue posible demostrar que a pesar de las 50 000 pasadas del HVS sobre los captaluces, capaz de simular un vehículo pesado, no se evidenció ningún tipo de falla en la estructura física de los captaluces. Por lo tanto, la selección de los materiales utilizados para la fabricación de los diferentes componentes del captaluz, como lo es el polímero policarbonato PC, demostró poseer alta resistencia, esto debido a que este termoplástico posee gran rigidez, tenacidad y, además, una excelente estabilidad térmica, propiedades que aportan en la prolongación de una vida útil del dispositivo.

En cuanto al comportamiento de la propiedad de retrorreflectividad de los captaluces, en la introducción se indicó que existen diferentes colores y, con ello, valores de retrorreflectividad esperados conforme se establece en la norma INTE W38, resumida en la Tabla 1. Además, se contempló la dirección de rodamiento por lo que, las muestras que poseen consigo una letra "b" simbolizan la dirección 16-1 según el diagrama mostrado en la Figura 1. Algunos captaluces solo cuentan con una cara.

Para facilitar la lectura de los resultados, se graficaron las muestras separadas por colores. En la Figura 2 se muestra la retrorreflectividad a través del ensayo para los captaluces de color rojo. Es importante mencionar que para obtener esta figura fue necesario realizar el descarte de algunas muestras que presentaron un comportamiento atípico; para ello se utilizó la prueba de Dixon y de la misma forma se utilizó esta herramienta para los demás colores (Morphy & Lau, 2008).

En cuanto al comportamiento propiamente de la retrorreflectividad, es importante destacar la oscilación que se aprecia en la Figura 2, la mayoría de las muestras poseen esta tendencia, pero sin retornar al valor máximo inicial. Esto se puede explicar debido a un efecto de ensuciamiento que mayoritariamente se presentó durante el ensayo, debido al desplazamiento gradual del adhesivo bituminoso. La acumulación progresiva de partículas de este material, afecta negativamente la retrorreflectividad del lente.

La línea recta en la sección inferior de las gráficas corresponde al valor establecido en la normativa nacional como retrorreflectividad mínima requerida para captaluces rojos, de 70 mcd/lx. Tal como se observa en la Figura 3, si bien es cierto la muestra 27 en 35 000 y 50 000 pasadas se encuentra cerca de este valor, se concluye que ninguna muestra incumple con los requerimientos mínimos, tanto inicialmente como a lo largo del ensayo.

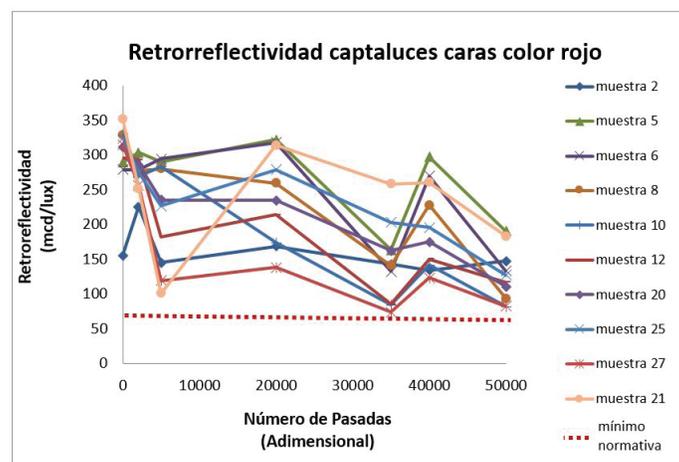


Figura 3. Comportamiento retrorreflexivo de las muestras de captaluces color rojo

En cuanto a las muestras de captaluces color amarillo, los resultados se presentan en la Figura 4, donde es fácil apreciar que los valores de retrorreflectividad, incluso al finalizar el ensayo, se encuentran significativamente por encima del requerimiento mínimo establecido de 167 mcd/lx. Aunque si bien es cierto, también se observa cierta oscilación, se puede asegurar que se da un ligero ensuciamiento debido al efecto del desplazamiento del bituminoso; sin embargo, esto no se manifiesta como una secuela importante que pueda afectar el desempeño del elemento retrorreflectivo de los captaluces color amarillo para este ensayo.

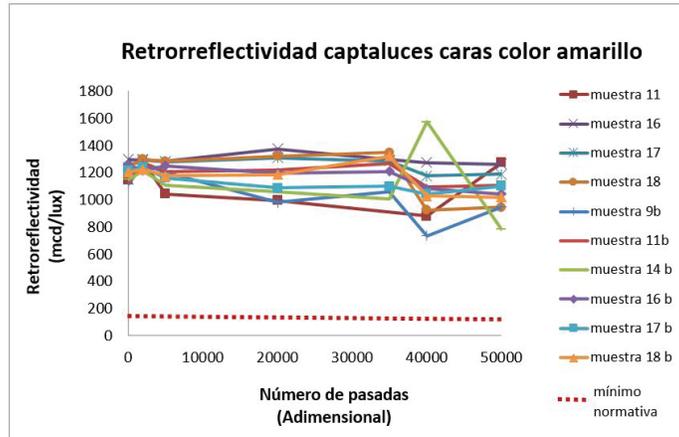


Figura 4. Comportamiento retrorreflectivo de las muestras de captaluces color amarillo

Finalmente, en la Figura 5 es posible observar el comportamiento de las muestras de captaluces color blanco, en comparación con el mínimo de retrorreflectividad establecido de 279 mcd/lx. En este caso se mostró una mayor uniformidad entre los datos, por lo que, la afectación debido a ensuciamiento y daños provocados por el HVS fueron mínimos. Se debe además aclarar que estas muestras solo cuentan con una cara retrorreflectiva, por lo que se obtuvo una menor densidad de datos. Una de las muestras más interesantes es la número 30, ya que su último valor, a pesar de parecer anómalo, no fue descartado por la prueba de Dixon, indicando así que es un comportamiento que debe ser considerado, es decir, que esta muestra fue la que sufrió la peor afectación en cuanto a ensuciamiento y cobertura del lente. En la Figura 6 es posible observar el estado de la muestra al finalizar el ensayo, corroborando así dicha tendencia obtenida.

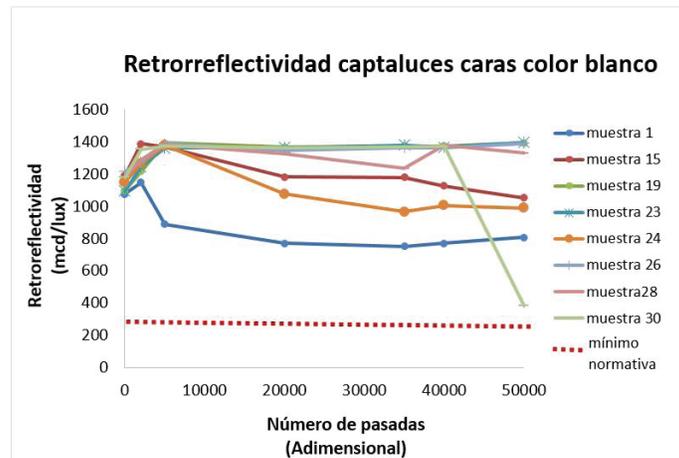


Figura 5. Comportamiento retrorreflectivo de las muestras de captaluces color blanco



Figura 6. Muestra número 30 al finalizar el ensayo

Tal como se evidenció anteriormente, la mayor afectación sobre la retrorreflectividad se dio como resultado del ensuciamiento provocado por el material bituminoso y el desplazamiento que este realiza sobre el lente, a pesar de ello los resultados de las mediciones estuvieron por encima del mínimo requerido para cada color. Es por ello que se elaboró un diseño estadístico de tipo factorial (2^4) con 16 de las muestras, que permitiera evaluar bajo dos niveles, los factores observados en la Tabla 2. Una vez elegidos estos factores, se estudió su efecto y su interacción para cada bloque de pasadas estudiadas: 0, 2000, 5000, 20 000, 35 000, 40 000, 50 000. Con base en lo anterior, fue posible obtener los siguientes resultados:

1. A partir de 20 000 pasadas se muestran ciertos factores que incidieron sobre la retrorreflectividad; estadísticamente se demostró que a partir de este número de pasadas afectan, la marca del adhesivo bituminoso y el impacto sobre los captaluces. En cuanto a las interacciones entre los factores, las combinaciones que representan la menor afectación de retrorreflectividad sobre las muestras y, por ello, las condiciones sobresalientes, son: la marca A de bituminoso en el tramo de velocidad constante, ante un impacto central; y en caso de emplear 3 ciclos térmicos previos a su colocación, se obtuvieron mejores resultados en el tramo de velocidad constante. Ambos resultados son consistentes con lo observado en la pista de ensayo.
2. Para la última medición de 50 000 pasadas se muestra que se disminuye el efecto del impacto sobre los captaluces y presentó un aumento en la significancia en factores: marca, posición (aceleración-desaceleración o velocidad constante) y cantidad de ciclos térmicos.
3. Los mejores resultados se presentan al tener la marca A bajo una condición de impacto central, con 1 ciclo térmico del adhesivo.

5. Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados de este primer experimento para estudiar el desempeño de los captaluces en la pista del HVS, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se observó que el polímero policarbonato PC del cual están fabricados los captaluces presenta alta resistencia a los impactos a los que se sometió durante el ensayo utilizando el HVS. Ninguna de las muestras sufrió un deterioro en su estructura física, sin embargo, el adhesivo presentó mayor vulnerabilidad.
- En las figuras 3, 4 y 5 se observa una oscilación de la retrorreflectividad de los captaluces, la cual se puede parcialmente explicar, a raíz de que el caucho de las llantas del HVS que pasan por encima de los captaluces provoca el desplazamiento de material bituminoso en momentos donde la temperatura ablanda el adhesivo. Por lo tanto, se observó que el desplazamiento del bituminoso afecta directamente el desempeño de la retrorreflectividad del captaluz al cubrirse parcialmente el lente, sin embargo, como se evidenció, las muestras cumplieron en todas las mediciones el mínimo de retrorreflectividad requerido según la normativa nacional actual.
- A nivel estadístico se demostró con una muestra de 16 captaluces que la velocidad con que se impacta el captaluz, la posición de impacto, los ciclos térmicos de precalentamiento del bituminoso y la marca del material, es decir, el origen del producto, sí son factores que afectan significativamente el desempeño del adhesivo y, por ende, del captaluz.

Al ser un primer estudio, se determinaron varias recomendaciones que involucran investigar diferentes consideraciones, las cuales se enumeran a continuación:

- Para los tomadores de decisiones, cuando el captaluz se encuentre en una condición de ensuciamiento por adhesivo u otros materiales, es recomendable realizar una limpieza del lente o de los lentes retrorreflectivos para que continúe prestando servicio, ya que estructuralmente el captaluz podría encontrarse en buen estado.
- Para los aplicadores y quienes toman decisiones, se recomienda realizar una valoración sobre la calidad del adhesivo a utilizar cuando las carreteras no cumplen con los anchos mínimos y una escogencia adecuada del tipo de adhesivo: flexible, rígido o epóxico en función del tipo de zona, para evitar que la temperatura del medio ambiente afecte la vida útil del sistema captaluz-adhesivo.
- Para los que realizan normativa e investigación, se deberá realizar una valoración para adecuar los requerimientos mínimos de retrorreflectividad para los diferentes colores de captaluces de la normativa nacional vigente, ya que se consideran relativamente muy bajos, en comparación con otros materiales o dispositivos retrorreflectivos.
- Es recomendable incorporar el tema de los ciclos de precalentamiento en las buenas prácticas de la normativa técnica nacional para el uso correcto de los adhesivos bituminosos.
- Se requiere documentar e investigar otros posibles deterioros prematuros y desprendimientos de los captaluces.

El estudio permitió abrir la oportunidad de una línea de investigación que podrá aportar en normativa técnica y, por ende, en un mejor desempeño de estos dispositivos que proveen seguridad vial en nuestras vías, sobre todo ante condiciones climáticas y geométricas adversas o de mala iluminación, por lo cual los captaluces complementan la demarcación horizontal ante estas condiciones.

6. Referencias

ASTM D 4280. (2008). *Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Raised Retroreflective Pavement Markers*. American Society for Testing and Materials.

Gutiérrez, H. (2008). *Análisis y diseño de Experimentos*. México: Mc Graw Hill.

INTECO. (2017). *INTE W38:2017 Captaluces retroreflectivos para pavimento*. Costa Rica: INTECO.

Morphy, T., & Lau, A. (2008). *Manejo de valores atípicos*. Estados Unidos: ASTM.

Stellfox, E. (2004). *Evaluation of Snowplowable, Retroreflective Raised Pavement Markers*. Maryland: Universidad de Maryland.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura del Transporte

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.

Coordinadora General - Programa de Infraestructura del Transporte

Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)

Ing. Javier Zamora Rojas, M.Sc.

Coordinador USVT

Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)

Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc.

Coordinadora UNAT

Unidad de Investigación en Infraestructura del Transporte (UIIT)

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.

Coordinadora UIIT

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)

Ing. Roy Barrantes Jiménez, M.Sc.

Coordinador UGERVN

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Ing. Erick Acosta Hernández

Coordinador UGM

Comité Editorial 2021:

- Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc., Coordinadora General PITRA.
- Ing. Raquel Arriola Guzmán, M.Sc. Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA.
- Rosa Isella Cordero Solano, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA.

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación: Licda. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

Evaluación del desempeño de los captaluces a partir de la retrorreflectividad y otros factores asociados

Palabras clave: captaluces, retrorreflectividad, retrorreflectómetro, HVS.

(506) 2511-2500

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr • www.lanamme.ucr.ac.cr