

BOLETÍN TÉCNICO

PITRA-LanammeUCR

Volumen 12, N.º 1, Enero 2021

Evaluación del comportamiento térmico de un adhesivo bituminoso para captaluces

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

Con frecuencia se observan captaluces desprendidos en las vías debido a la falla del adhesivo, principalmente en zonas afectadas por altas temperaturas. Es por esto que, en cumplimiento de la tarea de velar por una adecuada inversión, desde el LanammeUCR se identificó la necesidad de estudiar los materiales bituminosos utilizados para la adherencia de captaluces. Se indagó además en la inversión que se realiza en este sentido y se determinó que, en nuestro país, la instalación de un captaluz ronda los tres mil quinientos colones, de acuerdo con los precios del último contrato por Conservación Vial de CONAVI. Dependiendo del diseño de la demarcación vial se colocan cada 10 m, es decir, en un kilómetro de una carretera de dos carriles, se instalan 300 captaluces aproximadamente, por lo que se estima un presupuesto para un kilómetro de alrededor de un millón de colones, sin considerar las intersecciones. Dado que Costa Rica presenta diferentes condiciones climáticas a lo largo de su territorio, es importante conocer cómo estas son capaces de afectar los materiales empleados para obtener una estructura vial adecuada y segura.

En un estudio efectuado en el 2014 por Wang et al se registraron las temperaturas en varias profundidades de una carpeta asfáltica, donde se pudo observar el comportamiento de calentamiento y de enfriamiento tal como se muestra en la Figura 1

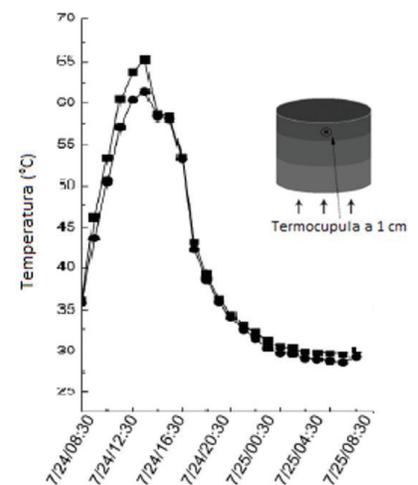


Figura 1. Ejemplo de perfil de temperatura de la sección superior de una carpeta asfáltica

Nota: Modificado a partir de Wang et al., 2014.

De previo al trabajo que se presenta a continuación, se publicó un boletín con resultados sobre la “Evaluación del desempeño de un material bituminoso utilizado como adhesivo de captaluces frente a diferentes pretratamientos térmicos”; evaluación que se realizó en dos etapas: 50 000 pasadas de rueda del Simulador de Vehículo Pesado, o en inglés Heavy Vehicle Simulator (HVS) sin cámara térmica y 10 000 pasadas con la fuente de radiación infrarroja de la cámara térmica del HVS. Al respecto, el presente boletín resume los resultados de la fase del ensayo donde se planteó conocer el efecto de la temperatura sobre el desempeño del adhesivo bituminoso aprovechando la instalación de la cámara térmica del HVS. Cabe aclarar que las 10 000 pasadas de rueda que se ejecutaron durante el registro de temperaturas no afectaron la propiedad de transferencia de calor del material estudiado. Posteriormente al registro del perfil de temperaturas, se extrapola el efecto del coeficiente de transferencia de calor del adhesivo obtenido a partir de los datos generados en el HVS para estimar un posible comportamiento del material estudiado en diferentes zonas del país; de esta manera se podría recomendar en cuáles zonas se puede o no utilizar este material para evitar el desprendimiento prematuro de captaluces.

2. Metodología

Para este experimento y posterior a la aplicación de 50 000 pasadas, se plantearon los siguientes pasos metodológicos, a partir de la instalación de la cámara térmica. En la Figura 2 se presenta un diagrama de la metodología:

Paso 1. En el ensayo se incorporaron los accesorios de la cámara térmica del HVS que permiten el aislamiento adecuado para conservar la temperatura interna.

Paso 2. De todos los captaluces instalados en la pista del HVS, se escogió 1 captaluz el cual fue adherido al pavimento con una muestra de un bloque de adhesivo bituminoso comercializado en el país de aproximadamente 150 g, la cual fue calentada a la temperatura recomendada por el fabricante (200 °C) utilizando una plantilla eléctrica.

Paso 3. Se colocaron sensores de temperatura en el bituminoso aproximadamente a 3 mm de profundidad, así como sensores de temperatura ambiente, con el objetivo de documentar los cambios de temperatura de la muestra y del ambiente.

Paso 4. Se encendió la cámara térmica del equipo a una temperatura indicada en el “set point” de 46 °C.

Paso 5. Una vez que se estabilizó la temperatura de la cámara térmica, se realizaron 10 000 pasadas con el eje de vehículo pesado del HVS.

Paso 6. Se obtuvo un perfil de temperaturas registradas en el adhesivo bituminoso mediante el registro de tiempos y temperaturas.

Paso 7. A partir del registro del perfil de temperaturas, se graficó el modelo de enfriamiento de Newton del adhesivo bituminoso en el periodo en que se suspende la aplicación de calor, para obtener el coeficiente de transferencia de calor del material.

Paso 8. Se realizó una predicción de temperaturas extremas en diferentes zonas de Costa Rica de acuerdo con el modelo desarrollado por el *Strategic Highway Research Program (SHRP)*, utilizado por Elizondo et al. (2013) para obtener las temperaturas máxima y mínima.

Paso 9. Con el coeficiente de transferencia de calor se aplica la Ecuación 1 correspondiente al modelo de enfriamiento de Newton para realizar la predicción del tiempo de enfriamiento del material adhesivo bituminoso en las distintas zonas del país a partir de las temperaturas máxima y mínima.

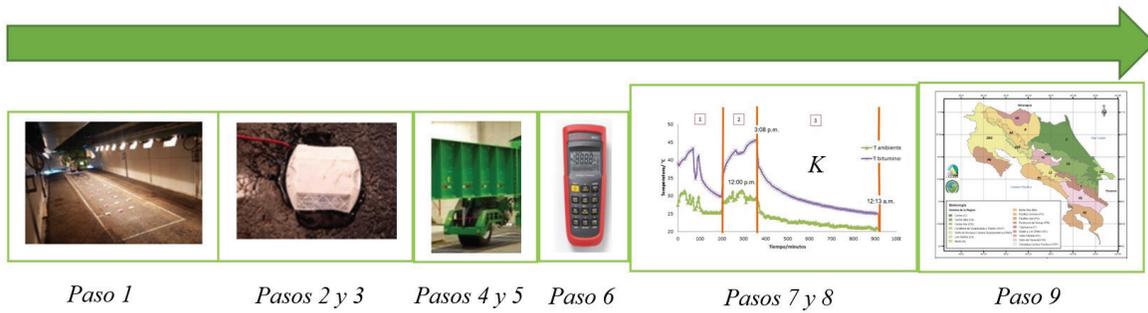


Figura 2. Resumen del diagrama metodológico empleado para la elaboración del ensayo

3. Resultados

El presente ensayo se realizó con el objetivo de conocer el comportamiento termodinámico del material bituminoso frente a la incidencia de una fuente de energía calórica, específicamente aportada por las lámparas de infrarrojo de la cámara del HVS. La colocación de termopares tanto en el ambiente como en la superficie del material a estudiar permitió realizar una observación de la diferencia de comportamiento entre ambos medios. En la Figura 3 se aprecia el comportamiento de los datos recolectados, los cuales dividiremos en tres secciones:

- 0-200 minutos: Esta sección se describió como zona de prueba (zona 1, Figura 3) en las que se abrieron constantemente las puertas para realizar distintas observaciones. Es importante destacar que, gracias a esta sección, se puede asegurar que el equipo presenta gran sensibilidad, las pérdidas calóricas son notables por lo que no se recomienda abrir las puertas una vez iniciado el ensayo.
- 200-365 minutos: denominada Zona de calentamiento, en donde se inició el ensayo aproximadamente a las 12:00 p.m., tanto la temperatura del medio dentro de la cámara térmica del HVS como la del bituminoso aumentaron, tal y como se observa en la zona 2 de la Figura 3. El aumento de temperatura en el material no es uniforme, sino que el perfil de temperatura mostrado en esta sección posee una tendencia logarítmica, la cual se debe al aporte de diferentes mecanismos de transferencia de calor, tanto conductivos, radiantes y convectivos. Es importante mencionar que el comportamiento mostrado por el presente ensayo se asemeja a perfiles mostrados para el calentamiento de superficies asfálticas en la sección superior mostrado en la Figura 1.
- 365-910 minutos: designada como Zona de enfriamiento (zona 3, Figura 3); al inicio de esta sección se realizó el protocolo de apagado del equipo y con ello las fuentes de radiación. En esta zona es posible observar como el bituminoso posee una gran capacidad de almacenamiento de energía, lo cual se refleja en el tiempo requerido para enfriarse de 45.2 °C a 25 °C en aproximadamente 9 horas.

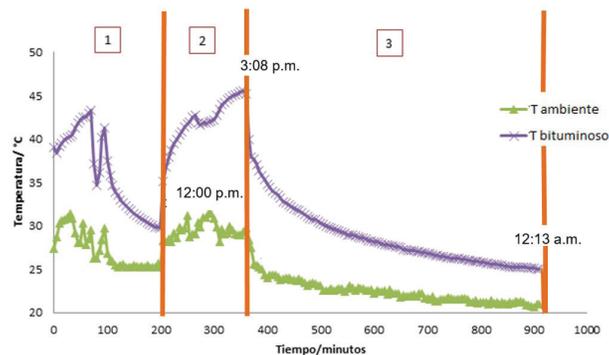


Figura 3. Perfil de temperaturas registradas en el adhesivo bituminoso

Las horas indicadas en la Figura 3 muestran el inicio y final de cada zona definida en el perfil de temperaturas registradas en el adhesivo bituminoso.

El fabricante del adhesivo bituminoso empleado para este experimento reporta en su ficha técnica cuatro diferentes datos para punto de ablandamiento proveniente de los diferentes lotes productivos: 123 °C, 110 °C, 119 °C y 120 °C; esto muestra a su vez que el origen de los diferentes lotes del material empleado marca una diferencia en sus propiedades. Además, aunque si bien es cierto las temperaturas reportadas como punto de ablandamiento son mayores a las empleadas en el experimento, es importante mencionar que durante la zona de prueba se notó cierto ablandamiento al tacto, es decir se mostró vulnerable a las temperaturas superiores a 40 °C, y en caso de que un vehículo impacte el material adhesivo podría no cumplir con la adherencia suficiente o desplazar material bituminoso al lente retrorreflectivo. Lo anterior muestra un indicio sobre el posible efecto de las temperaturas mayores durante tiempos prolongados para el material estudiado.

Dado que el ensayo se realizó en el LanammeUCR, en San Pedro de Montes de Oca, en condiciones ideales, se procedió a utilizar el modelo desarrollado por el SHRP, utilizado por Elizondo et al. (2013), para la predicción de temperaturas tanto mínimas (Ecuación 1) como máximas (Ecuación 2) del pavimento en diferentes zonas del país para un día promedio, a una profundidad de 3 mm y de acuerdo con la latitud de cada zona (Tabla 1, columnas 3 y 4).

$$T_{\min \text{ pav}} = T_{\min \text{ aire}} + 0,051 d + 0,000063 d^2 \quad (1)$$

$$T_{\max \text{ pav}} = T_{\max \text{ aire}} - 0,00618 Lat^2 + 0,2259 Lat + 24,4 \quad (2)$$

Donde,

$T_{\min \text{ pav}}$: Temperatura mínima del pavimento a una profundidad d , °C

$T_{\max \text{ pav}}$: Temperatura máxima del pavimento, °C

$T_{\min \text{ aire}}$: Temperatura mínima promedio del aire del registro de datos, °C

$T_{\max \text{ aire}}$: Temperatura máxima promedio del aire del registro de datos, °C

d : Profundidad a la cual se requiere calcular la temperatura en el pavimento, mm

Lat : Latitud

En virtud de que las temperaturas máximas del pavimento a 3 mm de profundidad fueron significativamente mayores a las empleadas en el ensayo y que, además, al contemplar la posibilidad de que estas temperaturas aumenten en la época seca, se procedió a construir un modelo que predijera el tiempo que tardaría el material bituminoso en enfriarse desde la temperatura máxima hasta 25 °C, según la zona. Es importante mencionar que para ello fue necesario partir del supuesto de que la temperatura máxima de la superficie de asfalto encontrada por el modelo SHRP sería igual a la del bituminoso.

Para obtener el coeficiente de transferencia de calor se emplea como referencia el modelo de enfriamiento de Newton, el cual se expresa en las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dT}{dt} = -k (T - T_a) \quad (3)$$

$$\ln (T - T_a) = -kt + \ln (T_o - T_a) \quad (4)$$

Donde,

T : Temperatura en cada momento, °C

T_a : Temperatura del ambiente, °C

t : Tiempo, min

k : Coeficiente de transferencia de calor, 1/min.

Se utilizó la Ecuación 4 para obtener la Figura 4 de especial manera se analizó la zona inicial de enfriamiento que se observa en la Figura 3 (correspondiente a la zona 3), permitiendo la obtención del coeficiente de transferencia de energía k al generar la regresión. En la Figura 4 se muestra el modelo obtenido de enfriamiento del adhesivo bituminoso estudiado, en el cual se observa que el coeficiente de transferencia tiene un valor de 0,0018 /min.

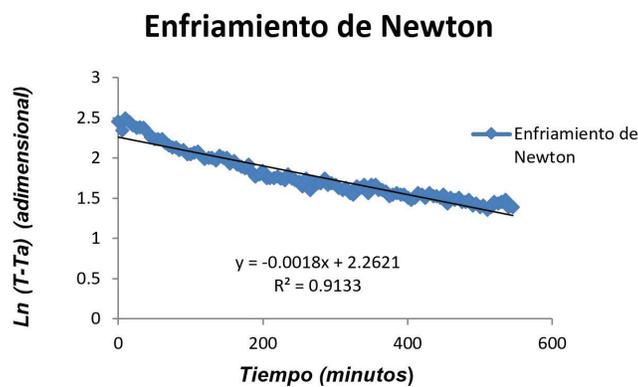


Figura 4. Modelo de enfriamiento de un adhesivo bituminoso, basado en el modelo de enfriamiento de Newton

Una vez obtenido el valor de k , es posible utilizar nuevamente la Ecuación 1 para realizar la predicción del tiempo de enfriamiento de las distintas zonas, obteniendo así los resultados mostrados en el Tabla 1, columna 5. Es importante mencionar que dichos resultados son valores aproximados ya que se generan a partir de modelos que emplean sus propios supuestos.

Tabla 1. Predicción de temperaturas extremas en diferentes zonas de Costa Rica

Zona	Temperatura mínima ambiente/ °C	Temperatura mínima / °C par profundidad = 3 mm	Temperatura máxima/ °C	Tiempo requerido para llegar a 25 °C /h
San José	17,0	17,15	52,53	13,81
Alajuela	18,0	18,15	54,54	15,30
Cartago	15,9	16,05	49,13	11,99
Heredia	18,0	18,15	53,84	15,12
Liberia	22,0	22,15	58,60	23,16
Nicoya	22,1	22,25	61,96	24,26
Puntarenas	23,0	23,15	58,54	26,64
Quepos	23,0	23,15	56,98	26,23
Golfito	22,0	22,15	56,89	22,72
San Isidro del General	18,0	18,15	51,97	14,63
Guápiles	22,0	22,15	58,06	23,02
Ciudad Quesada	18,0	18,15	52,17	14,68
Upala	21,0	21,15	57,33	20,43
Sarapiquí	23,0	23,15	56,02	25,96
Limón	21,3	21,45	56,04	20,74

Con base en estos resultados es posible observar que para muchas de las zonas del país se requiere más de un día para que el material regrese a 25 °C, lo cual es una condición imposible de alcanzar debido a que la radiación solar es cambiante en un periodo tan prolongado. Es por ello, que se puede asegurar que el enfriamiento no se realiza completamente; por el contrario, el material se encuentra en un constante calentamiento, por lo que los ciclos de temperatura se reflejarán como oxidación y envejecimiento en el material y con ello una posible disminución de su vida útil.

Finalmente, también es posible observar que las zonas con mayor temperatura máxima no son necesariamente las que tardan más en enfriar (como Nicoya), si no las que poseen una menor diferencia entre su temperatura mayor y menor diaria (como Quepos y Puntarenas); esto debido a que la transferencia de calor se ve favorecida en presencia de gradientes elevados de temperatura tanto en el material como con el ambiente. Es decir, a mayor diferencia de temperatura entre el material y el ambiente en temperatura mínima, más rápidamente se llevará a cabo el enfriamiento.

4. Conclusiones

- El coeficiente de transferencia térmico del material bituminoso obtenido en la muestra ensayada fue de 0,0018 /min.
- En algunas zonas del territorio nacional y con base en los modelos utilizados se puede concluir que el material bituminoso podría alcanzar hasta los 58 °C.
- Para zonas como Quepos y Puntarenas, mediante el modelo de enfriamiento empleado se puede asegurar que el tiempo de retorno a la temperatura inicial supera las 24 h, por lo que se podría presentar una afectación negativa sobre las propiedades adhesivas debido a esta condición. Es decir, se espera un envejecimiento prematuro del adhesivo bituminoso y por ende el desprendimiento de los capaluces de manera temprana.

- Se recomienda realizar un ensayo que involucre un mayor número de muestras de todos los posibles proveedores en el mercado nacional.

Finalmente, se recomienda realizar este estudio con datos de campo, para determinar la posible vida útil del material adhesivo bituminoso y evitar desprendimientos prematuros de los captaluces, lo cual mejorará la calidad de la seguridad vial en las carreteras nacionales en las diferentes condiciones climáticas del país.

5. Bibliografía consultada

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

Beem, V. (1976). *Patent No. 3,978,014*. Texas.

Elizondo, F., Badilla, G., Bonilla, E., & Rodríguez, E. (2013). *Zonificación climática de Costa Rica para la determinación del tipo de ligante asfáltico clasificado por grado de desempeño (PG)*. San José: Lanamme.

INTECO. (2017). *INTE W38:2017 Captaluces retroreflectivos para pavimento, requisitos e inspección*. San José: INTECO.

Robinson, P., & Hsu, C. (2011). *Practical Advances in Petroleum Processing*. Louisiana: Springer.

Thorpe, E. (2008). *Petroleum*. Harlow: Pearson.

Wang, S., Zhu, Q., YingNa, D., & PeiDong, S. (2014). Unidirectional Heat-Transfer Asphalt Pavement for Mitigating the Urban Heat Island Effect. *Journal of Materials in Civik Engineering*, 26 (5), 812-821.



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 comportamiento térmico de un adhesivo bituminoso para captaluces

Palabras clave: desprendimiento prematuro, adhesivo bituminoso, captaluces, coeficiente de transferencia de calor, HVS

(506) 2511-2500

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