

Resultados preliminares obtenidos del comportamiento térmico de pavimentos modificados para mejorar el medio ambiente urbano

Preliminary results obtained from the thermal behavior of modified pavements to improve the urban environment

Presentación: 4 y 5 de Octubre de 2022

Doctorando:

Pablo Cabrera

LEMaC - Centro de Investigaciones Viales - CICPBA - Facultad Regional La Plata - Universidad Tecnológica Nacional - Argentina
pacab_mta@hotmail.com

Director:

Gerardo Botasso

Codirectora:

Ana Castro Luna

Resumen

La energía solar radiante es energía limpia y un recurso inagotable para los seres humanos. La industrialización, el desplazamiento de la población rural a centros urbanos y la construcción de viviendas han provocado la sustitución creciente del suelo natural por otros de mezcla asfáltica u hormigón. Los pavimentos de las calles se calientan por la radiación solar, sobre todo en el verano, habiendo consecuencias en la estructura de los pavimentos y también en la temperatura medio ambiental, que en la ciudad es más elevada que en la región rural circundante creando lo que se denomina isla de calor urbano, ICU. El uso de materiales que presentan mayor reflectancia o albedo y alta emisividad enfrían el pavimento moderando la ICU. En este trabajo se analiza la influencia de cubrimientos claros de la superficie y de poros en el interior de un pavimento, sobre el comportamiento térmico de muestras calentadas con luz solar artificial.

Palabras clave: Energía Solar Térmica, Pavimentos de Mezcla Asfáltica, Isla de Calor Urbano, Pavimentos Fríos.

Abstract

Radiant solar energy is clean energy and an inexhaustible resource for human beings. Industrialization, the displacement of the rural population to urban centers and the construction of houses have led to the growing substitution of natural soil for others made of asphalt or concrete. The pavements of the streets are heated by solar radiation, there are consequences in the structure of the pavements and also in the environmental temperature which in the city is higher than in the surrounding rural region creating what is called urban heat island, ICU. The use of materials that present greater reflectance or albedo and high emissivity cool the pavement, moderating the ICU. In this work, the influence of clear surface coverings and pores inside the pavements is analyzed on the thermal behavior of samples heated with artificial sunlight.

Keywords: Solar Thermal Energy, Asphalt Mix Pavements, Urban Heat Island, Cold Pavements.

Introducción

La energía solar radiante es energía limpia y un recurso inagotable para los seres humanos. La industrialización, el desplazamiento de la población rural a centros urbanos y la construcción de viviendas han provocado la sustitución creciente del suelo natural por otros de mezcla asfáltica u hormigón.

En la ciudad, los pavimentos de las calles impiden la infiltración del agua de lluvia y, sobre todo, en la época estival se calientan por la incidencia de radiación solar, habiendo consecuencias sobre la temperatura medio ambiental, que en la ciudad es más elevada que en la región rural circundante creando lo que se denomina Isla de Calor Urbano, ICU (Yinghong, 2015).

Cuando la radiación solar incide en el pavimento, una porción de la misma (albedo) se refleja al ambiente. Por su color oscuro el pavimento de mezcla asfáltica absorbe una gran parte de la radiación solar incidente y la almacena como calor, donde el pavimento caliente, asemejando a un cuerpo negro, emite radiación al medio ambiente en la región del infrarrojo del espectro electromagnético. Otra parte del calor absorbido se transmite al interior del pavimento por conducción térmica y es proporcional a la conductividad del material. Un pavimento de baja conductividad térmica se calienta en la superficie, pero no transfiere ese calor al interior del mismo tan rápido como un pavimento de mayor conductividad. La diferencia de temperatura existente en la interfase pavimento-aire provoca un flujo de calor convectivo y representa la pérdida de calor de la superficie del pavimento por convección. Ese flujo de calor por convección desde la superficie de la muestra caliente al aire circundante modifica la temperatura medio ambiental. Un balance energético de un pavimento en contacto con el suelo es complejo para la evaluación de su desempeño ya sea experimental o recurriendo a simulación y modelado. Es por eso que, además de la reflectancia solar, se deben tener en cuenta parámetros tales como la emisividad, permeabilidad, conductividad térmica, capacidad calorífica, densidad del material compuesto, entre otros. La temperatura del aire, velocidad de viento, humedad relativa, la intensidad de la radiación solar incidente, son parámetros adicionales para tomar en consideración. (Alchapar et al, 2013).

El uso de materiales para obtener pavimentos claros que presenten alta reflectividad a la radiación solar y altos valores de emisividad, contribuye en gran medida a la reducción de la convección y ganancias térmicas en el medio ambiente urbano y a la mitigación del fenómeno de la isla de calor (Santamouris et al., 2011).

En este trabajo se analiza el comportamiento térmico de muestras de pavimento asfáltico denso, clásico y modificado superficialmente, y de pavimento asfáltico drenante clásico, usando luz artificial para calentarlas, para lo cual se mide durante tiempo prolongado la temperatura de la muestra a diferentes profundidades, también se mide el comportamiento de las muestras cuando la luz se apaga simulando la noche. Se analiza la influencia de poros en el seno del pavimento y de recubrimientos claros en la superficie sobre el comportamiento térmico de los pavimentos.

Desarrollo

Se analiza el comportamiento térmico de probetas de pavimento denso, CAC D R 12 AM-3, y de probetas de pavimento drenante, CAD 12 AM-3. La irradiación de las muestras, Fig. 1, se realiza utilizando lámparas Ultra Vitalux® cuyo espectro de emisión asemeja el de la radiación solar que alcanza a la tierra. La potencia que se obtiene utilizando cuatro lámparas es de 1200 W. La disposición de las lámparas en cuanto a la distancia que las separa de la superficie de la probeta de mezcla asfáltica utilizada se fija en 0,3 m, que corresponde a una irradiancia de 513 W/m² coincidiendo con el valor de irradiancia solar media en la ciudad de La Plata durante un día típico de febrero del año 2022, de acuerdo con la información suministrada por el Departamento de Sismología e Información Meteorológica-FCAG-UNLP.



Figura 1: Disposición de las lámparas de calentamiento y de la probeta analizada

Durante el período de calentamiento y enfriamiento de las probetas, se mide la temperatura de la muestra en función del tiempo, en diferentes puntos del interior de la misma, utilizando termocuplas tipo K y almacenadores de datos. Además se registra la variación de la temperatura del aire a 2 cm de la superficie durante el enfriamiento de las muestras. Se usa también una cámara termográfica Testo 865 con una resolución de infrarrojos de 320 x 240 píxeles y una visualización de diferencias en la temperatura de 0,1°C. Siguiendo la norma ASTM E 1933 – 99a 2006 se mide con la cámara termográfica la emisividad de cada muestra de pavimento.

Resultados

Las variaciones de la temperatura con el tiempo a diferentes profundidades en la probeta densa CAC D R 12 AM-3 y en la probeta drenante CAD 12 AM-3, se muestran en la Fig. 2 - a y b.

Es posible observar que la muestra drenante, CAD 12 AM-3, alcanza una temperatura superficial final mayor que la muestra densa, CAC D R 12 AM-3. Si además se comparan los valores de temperatura alcanzada a diferentes profundidades, se observa que son menores los obtenidos a 2 y 4 cm de profundidad en la muestra CAD 12 AM-3. Este comportamiento es coincidente con el de muestras de baja densidad y conductividad térmica como es el caso de la muestra CAD 12 AM-3 analizada.

Si se realiza una magnificación de las curvas de enfriamiento, se observa que aquellas correspondientes a las profundidades de 2 y 4 cm son sincrónicas en la muestra densa, denotando la mayor conductividad e inercia térmica de la misma.

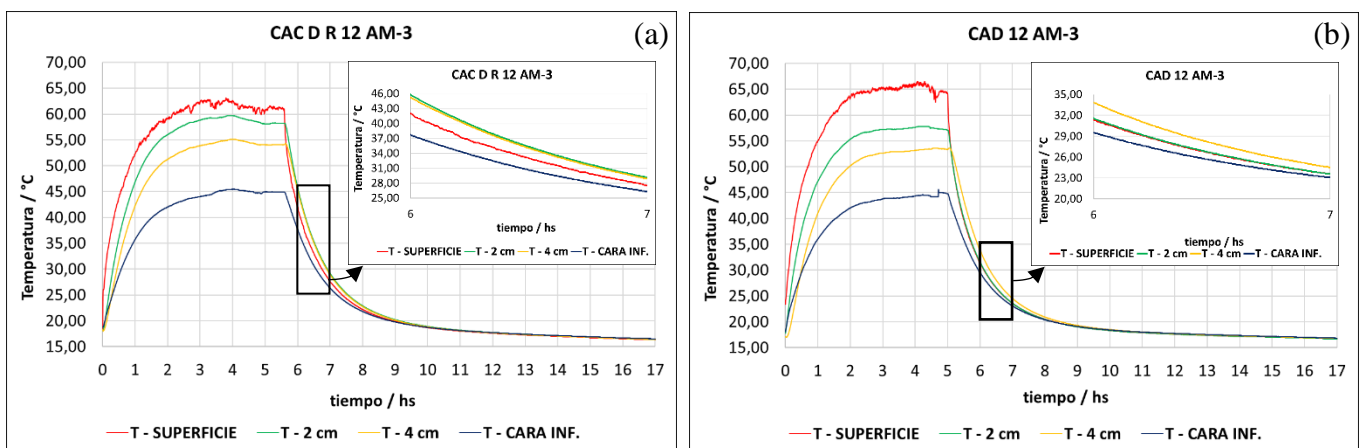


Figura 2: Variación de la temperatura de la probeta densa CAC D R 12 AM-3 (a), y de la probeta drenante CAD 12 AM-3 (b), durante el calentamiento y el enfriamiento

Un modo de disminuir la temperatura de la superficie del pavimento es aumentar la reflectancia de la radiación solar incidente. En la Fig. 3 - b, se muestra la variación de la temperatura durante el calentamiento y

enfriamiento cuando la muestra densa CAC D R 12 AM-3 tiene un recubrimiento superficial claro. En la Fig. 3 - a se muestra la variación de la temperatura durante el calentamiento y enfriamiento, en la muestra CAC D R 12 AM-3 sin recubrimiento. Se observa en la Fig. 3 - b una notable disminución de la temperatura superficial durante el calentamiento como consecuencia del mayor albedo por tener una cobertura clara. La cantidad de calor que es absorbida hacia el interior de la muestra cubierta superficialmente es menor, lo que se corresponde con valores de temperaturas inferiores a los de las muestras sin recubrimiento.

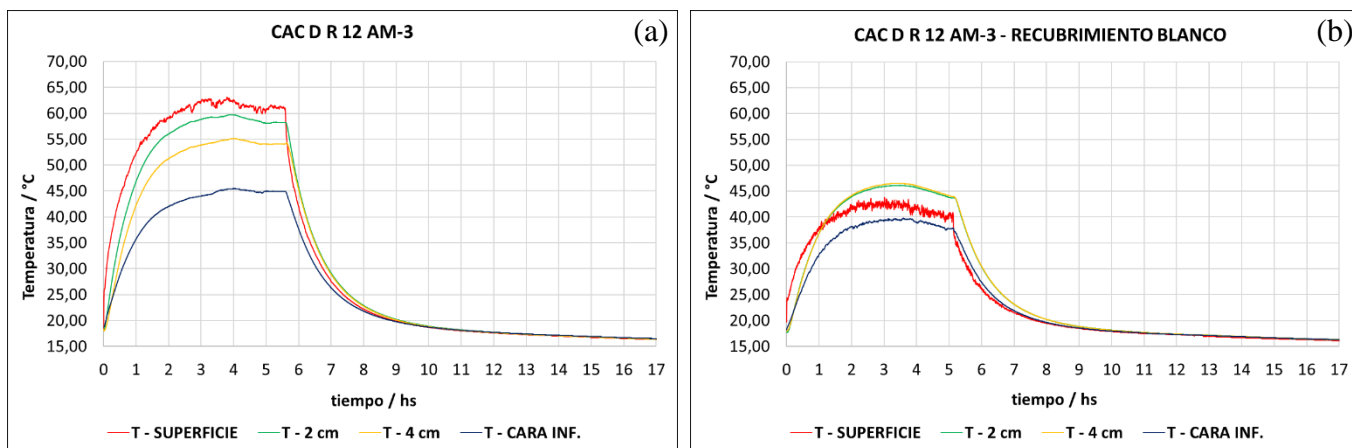


Figura 3: Variación de temperatura de la probeta densa CAC D R 12 AM-3 sin recubrimiento (a), y de la probeta densa CAC D R 12 AM-3 con recubrimiento claro (b), durante el calentamiento y enfriamiento

Si se comparan las curvas de enfriamiento, Fig. 3 - a y b, se observa que el enfriamiento de la muestra con cobertura clara transcurre más lentamente. Durante el enfriamiento, la capa de recubrimiento sigue actuando como una barrera térmica que resiste el paso del calor acumulado en la probeta, desde el interior de la misma al medio ambiente.

En la Fig. 4, durante el apagado de las lámparas, que es equivalente a la ausencia de luz solar, se muestra la variación de la temperatura del aire a 2 cm por encima de cada una de las muestras irradiadas. Se observa que durante las primeras 2 horas de enfriamiento, la curva de descenso de temperatura para la probeta CAD 12 AM-3, muestra valores mayores que los de la probeta densa, lo que podría ser atribuido a valores bajos de inercia térmica relacionados con la mayor porosidad, liberándose el calor acumulado durante el calentamiento, desde la probeta hacia el aire, fácilmente.

Además, si se comparan las temperaturas del aire a 2 cm para las probetas densas CAC D R 12 AM-3, se observa que durante la primera hora de enfriamiento la probeta densa sin recubrimiento posee mayores valores de temperatura por su menor albedo.

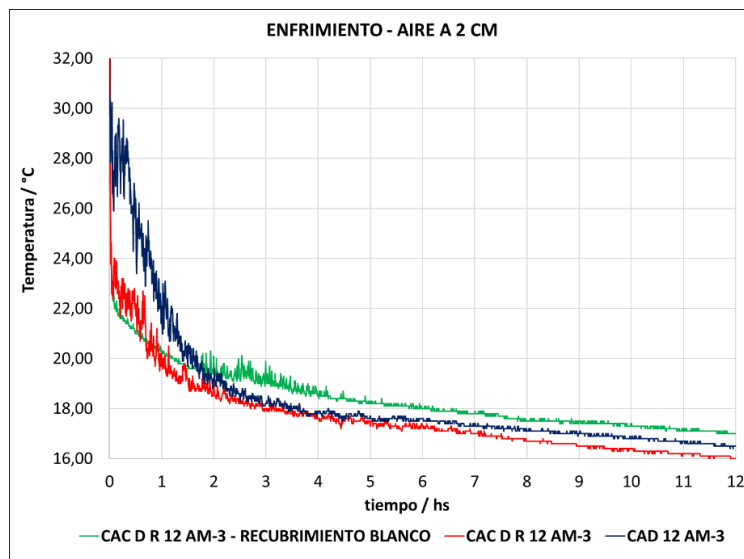


Figura 4: Variación de la temperatura del aire a 2 cm sobre las probetas irradiadas

La emisividad de una muestra (ϵ) caracteriza la capacidad de la superficie para emitir el calor previamente absorbido, lejos de sí misma. Se describe a través de un número que varía entre 0 y 1, representando la emisividad relativa a la de un cuerpo negro operando en condiciones similares.

Para determinar la emisividad de cada una de las muestras que se analizan se utiliza la cámara termográfica Testo con ajuste de emisividad, y una termocupla tipo K de Níquel Cromo - Níquel. De acuerdo con la norma ASTM E 1933 - 99a 2006, antes de llevar a cabo la medición se calienta cada muestra a 10°C por encima de la temperatura ambiente. Posteriormente se registran simultáneamente la temperatura superficial de la muestra bajo estudio con la termocupla tipo K, mientras que con la cámara termográfica se ajusta la emisividad hasta que la temperatura indicada por ella coincide con la registrada por la termocupla.

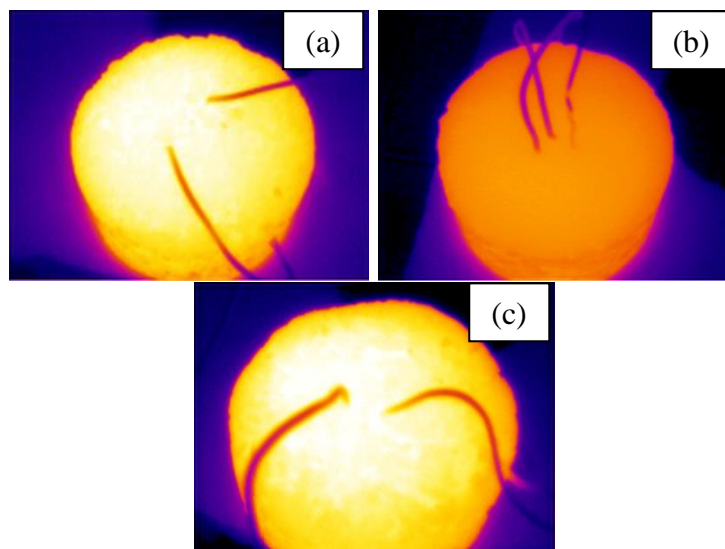


Figura 5: Imágenes termográficas de la muestra densa sin cobertura (a), con cobertura (b), y de la muestra drenante (c)

Resultados obtenidos	
Emisividad de la muestra densa	0,88
Emisividad de la muestra densa con cobertura clara	0,99
Emisividad de la muestra drenante	0,93

Conclusiones

1 - Cuando se calienta con luz solar artificial una probeta de pavimento asfáltico denso CAC D R 12 AM-3 y una probeta de pavimento asfáltico drenante CAD 12 AM-3, se alcanza una mayor temperatura en esta última.

2- Una probeta de mezcla asfáltica densa CAC D R 12 AM-3 con recubrimiento superficial claro, y mayor albedo alcanza menores temperaturas que la muestra descubierta.

3 - La emisividad de la muestra con recubrimiento superficial claro es mayor que la emisividad de la muestra sin recubrimiento.

4 - Durante el enfriamiento de las muestras calientes, el aire se mantiene a mayor temperatura en el caso de la muestra CAC D R 12 AM-3 con recubrimiento claro.

Agradecimientos

PC agradece a la beca doctoral otorgada por CONICET, AMCL es investigadora Científica CICPBA. Los autores agradecen el soporte financiero UTN-FRLP.

Referencias

- Alchapar, N., Correa, E., & Cantón, M. (2013). Solar reflectance index of pedestrian pavements and their response to aging. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1 (4), 281-285.
- Hassn A., Chiarelli A., Dawson A., Garcia A. (2015). Thermal properties of asphalt pavements under dry and wet conditions. *Materials Design*. doi: 10.1016/j.matdes.2015.11.116
- Santamouris, M., Synnefa, A., Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy* 84, 3085-3102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>
- Yinghong Q. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52, 445-450. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.177>