

ISLA DE CALOR URBANA: EFECTO DE LOS PAVIMENTOS. INFORME DE AVANCE.

Correa E.N¹, Flores Larsen S.² y Lesino G.³

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda.

LAHV-INCIHUSA-CRICYT-CONICET

Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza.

Tel 0261 4287370. Fax: 0261 4287370

E-mail: encorrea@lab.cricyt.edu.ar

INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa. - CONICET

Universidad Nacional de Salta

Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital - Argentina

Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489 E-mail: seflores@unsa.edu.ar

RESUMEN: La distribución de la temperatura en el área urbana está influenciada la radiación solar absorbida por los materiales que la componen. Las propiedades termofísicas de dichos materiales, especialmente el albedo solar y la emisividad infrarroja, tienen un fuerte impacto en el balance energético de las ciudades. El componente urbano de mayor superficie horizontal expuesta a la radiación solar es el pavimento con un 20% de suelo urbano aproximadamente, el cual en la mayoría de los casos posee alta absorptividad y elevada capacidad térmica. Estas características hacen que su contribución al efecto de *isla de calor urbana* sea significativa, particularmente en climas áridos con elevados niveles de radiación.

En este trabajo se analizan cuantitativamente los fenómenos de transferencia de energía en distintos tipos de pavimento y la influencia de las condiciones climáticas a las que se encuentran expuestos, a fin de evaluar su participación en el efecto de *isla de calor urbana*. Para ello se utilizó el programa SIMEDIF y se compararon las predicciones de dicho programa con datos de temperatura medidos en pavimento de asfalto a varias profundidades. También se analizan y discuten las mediciones realizadas en pavimentos de hormigón.

Palabras clave: isla de calor, pavimentos, modelización.

INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire en zonas urbanas densamente construidas es mayor que la temperatura en los alrededores de la ciudad. Este fenómeno se conoce como *Isla de Calor Urbana* y entre los factores de influencia de mayor peso se encuentran la geometría urbana, la influencia del calor antropogénico y las propiedades térmicas de los materiales de construcción.

El incremento de la temperatura urbana tiene un efecto directo en el consumo de energía y en las condiciones de confort térmico de los espacios residenciales tanto en invierno como en verano: la mayor temperatura en el medio urbano en invierno tiene efectos positivos al reducir la carga de calefacción de los edificios, mientras que en verano el efecto es negativo, pues se incrementa la demanda de refrigeración y se reduce el potencial de enfriamiento pasivo durante la noche. Estudios llevados a cabo en la última década que correlacionan el consumo de energía con el efecto de *isla de calor* concluyen que para ciudades con más de 100 000 habitantes los consumos de energía en las horas pico se incrementan 1.5 a 2% por cada grado que se incrementa la temperatura. Además se favorece el aumento de la contaminación ambiental de dos maneras: directamente, dado que mayores temperaturas urbanas funcionan como catalizador de las reacciones de los gases de combustión presentes en la atmósfera generando mayor cantidad de smog, e indirectamente pues el aumento de consumo de energía hace que las plantas generadoras liberen mayores cantidades de gases de combustión (CO₂, CO, NO_x, SO_x, vapor de agua y metano), los cuales son responsables del calentamiento global o efecto invernadero y de la lluvia ácida.

Las características ópticas de los materiales usados para la construcción del medioambiente urbano, especialmente el albedo solar y la emisividad infrarroja tienen un impacto importante en el balance energético de las ciudades. En los últimos años se ha incrementado el interés por estudiar el comportamiento térmico-ambiental de diferentes materiales usados para la construcción a fin de caracterizar su impacto sobre la temperatura urbana. Dentro de este contexto los pavimentos constituyen un conjunto de componentes de indiscutible relevancia debido a que su incidencia cuantitativa sobre el área urbana es muy significativa. Por ejemplo, en tramas urbanas en cuadrícula tradicional, las calzadas vehiculares ocupan aproximadamente el 16% del suelo urbano, y 23% en tramas rectangulares típicas de conjuntos de viviendas sociales. La extensión de superficie horizontal expuesta a la radiación solar, sumadas a absorptividades y capacidades térmicas generalmente altas de los materiales utilizados tienen un

¹ Becaria CONICET

² Becaria CONICET

³ Investigador CONICET

impacto significativo en la intensidad de la *isla de calor urbana* y las consecuentes cargas térmicas de verano en edificios, particularmente en climas áridos con elevados niveles de radiación.

Este informe se encuentra enmarcado dentro de un trabajo de investigación cuyo objetivo principal es el estudio de la influencia de los componentes urbanos en el fenómeno de *isla de calor*, a fin de desarrollar un modelo que permita cuantificar el incremento de temperatura a partir de los componentes urbanos presentes en una trama de estudio. Para ello, se analiza la transferencia de energía en distintos tipos de pavimento, su relación con las propiedades físicas de los materiales que los componen y la influencia de las condiciones climáticas a las que se encuentran expuestos (temperatura ambiente, radiación, humedad, velocidad de viento y geometría del ambiente construido que los rodea). Las medidas experimentales obtenidas en campo se validaron para pavimento de hormigón mediante el programa de simulación SIMEDIF.

METODOLOGÍA : ASPECTOS EXPERIMENTALES

Con el objeto de evaluar el comportamiento de los pavimentos se llevaron a cabo dos series de mediciones en la Ciudad de Mendoza durante los meses de diciembre de 2002, febrero y marzo de 2003 en pavimento de hormigón y durante los meses de abril, mayo y junio de 2003 en pavimento de asfalto. Como el propósito del trabajo es analizar la influencia de los pavimentos en el efecto de *isla de calor urbana* se decidió realizar las experiencias en playas de estacionamiento, debido a que en estos lugares existe gran cantidad de superficie expuesta y baja influencia de otros factores que participan en dicho efecto, tales como el tránsito vehicular, la presencia de árboles y acequias, la geometría y propiedades termofísicas de los materiales que componen el cañón urbano, etc.

Los datos para el pavimento de asfalto fueron tomados de la playa de estacionamiento de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, ubicada en el centro de la ciudad. Esta playa durante las últimas horas de la tarde y la noche tiene fuerte afluencia vehicular, por lo que los sensores no pudieron localizarse en la zona central sino en el costado oeste de la misma, 40 m al norte del edificio de la universidad y 30 m al oeste de una hilera de álamos de aproximadamente 8m de altura.

Los datos del pavimento de hormigón fueron registrados en un estacionamiento de 100m x 100m, perteneciente al jardín maternal del CRICYT, en el Parque General San Martín en los alrededores de la ciudad de Mendoza. Los sensores se ubicaron en la parte central del estacionamiento, encontrándose la edificación más cercana al punto de medición a 150 m aproximadamente. El tránsito vehicular es prácticamente nulo y la presencia de árboles es dispersa en los alrededores de la playa. A unos 50 m se encuentra un tanque australiano de 40m de diámetro y 1.5 m de profundidad.

En ambos pavimentos (asfalto y hormigón) se realizaron dos perforaciones de 20 mm de diámetro y 32 cm de profundidad y se midió la temperatura a cuatro profundidades (superficial, 10 cm., 20 cm y 32 cm) mediante termistores debidamente calibrados. En un primer momento para la medición del pavimento de hormigón el sensor de temperatura superficial se introdujo en un orificio realizado inmediatamente debajo de la superficie, luego se pensó que era más conveniente ubicar dicho sensor sobre la superficie y se adicionó una cubierta para proteger al sensor de la radiación directa y permitir el intercambio convectivo alrededor del mismo, de este modo las mediciones de temperatura superficial tanto para el pavimento de asfalto como de hormigón se tomaron de esta manera a partir del mes de febrero. En el caso de las perforaciones a distintas profundidades, una vez colocado cada sensor se relleno el espacio restante con el mismo material que se removió durante la perforación. Para el registro de temperatura ambiente se colocaron dos termistores a 1m del suelo protegidos de la radiación directa mediante un tubo de PVC blanco de 7 cm de diámetro. Los datos de temperatura fueron tomados cada 5 minutos mediante tres data logger del tipo HOBO H8 con 4 canales externos (rango de operación: -20 a 70 C, rango de almacenamiento de temperaturas: -40 a 75C, tiempo de aproximación: +-1 minuto por semana, termistores TMC6-HB, diámetro 0.75 cm, precisión ± 0.4 a 20 C y resolución 0.20 a 20C). Los datos de radiación y velocidad de viento y humedad relativa fueron suministrados por la estación meteorológica del CRICYT, Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza.

MODELO TEÓRICO

Para simular el comportamiento del pavimento de asfalto se utilizó el programa SIMEDIF, cuya descripción y funcionamiento se encuentran detallados en los trabajos de Flores Larsen y Lesino (2001). Para ello, se definió un local con 0 renovaciones de aire, conectado con el exterior mediante una pared (el suelo) de cuatro capas y un metro cuadrado de área. En la Figura 1 se puede ver el esquema del modelo introducido en SIMEDIF.

Las hipótesis del modelo de SIMEDIF son las siguientes:

1. El flujo de calor a través de paredes es unidireccional.
2. La transferencia de calor entre las superficies de paredes es de naturaleza convectiva.
3. Convección y radiación de superficies son tenidas en cuenta en un coeficiente complejo de radiación-convección, es decir, se linealiza la radiación.
4. No se tienen en cuenta factores de forma para calcular el intercambio de energía radiante entre superficies.
5. Se supone conocida la distribución de temperaturas en el pavimento al momento de comenzar el cálculo.
6. La radiación solar que incide en una superficie es distribuida uniformemente en toda la superficie.

Los datos que deben ingresarse para el elemento PARED en SIMEDIF son el área de la pared, su absorptancia, el área de radiación y su correspondiente índice, el coeficiente global de convección-radiación, el número de capas y las propiedades de cada una de ellas (conductividad k , densidad ρ , calor específico c_p , espesor e y número de puntos N a simular en cada capa). SIMEDIF utiliza el método explícito de diferencias finitas para discretizar la ecuación de transferencia de calor, dividiendo cada capa en subcapas de espesor $e/(N+1)$ para nodos interiores y $e/2(N+1)$ para nodos superficiales. La temperatura de cada nodo en $t + \Delta t$ se calcula a partir de las temperaturas en los nodos contiguos y del aire en el tiempo t . Este conjunto de ecuaciones constituye un problema de valor inicial, por lo que para comenzar el cálculo es necesario introducir las condiciones iniciales (temperaturas en los nodos masivos y en los nodos aire).

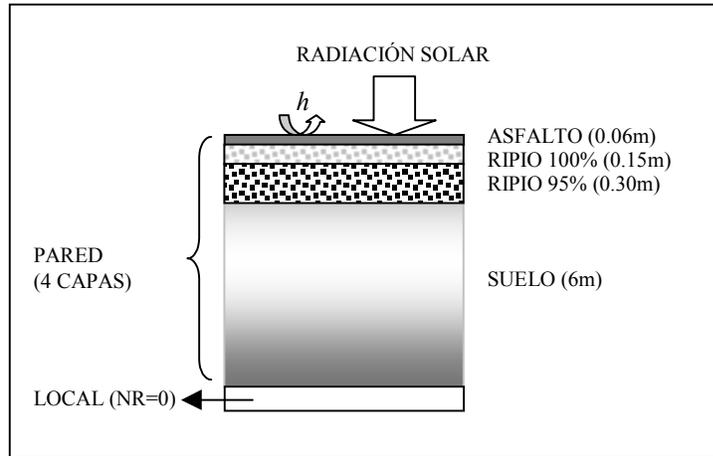


Figura 1: Esquema del local y la pared introducidos en SIMEDIF para realizar la simulación del pavimento de asfalto.

Los datos meteorológicos ingresados a SIMEDIF fueron la temperatura ambiente y la radiación solar sobre superficie horizontal medidas durante el período de monitoreo. Las variables de ajuste fueron el área de radiación de la superficie, el coeficiente global de convección-radiación h ($W/m^2\text{°C}$) y la temperatura inicial del suelo, para lo cual se partió de la temperatura media anual de la ciudad de Mendoza (18°C) y se consideró que en zonas urbanas este valor puede ser un algunos grados más alto.

RESULTADOS OBTENIDOS

Pavimento de asfalto

Del periodo de monitoreo (abril, mayo y junio de 2003) se seleccionó una serie de siete días para realizar la simulación horaria de las temperaturas de cada capa de pavimento. Las propiedades termofísicas y espesor de cada capa utilizados para ajustar los datos medidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Pavimento de asfalto.

<i>Materiales</i>	<i>Espesor [m]</i>	<i>K [W/m°C]</i>	<i>Cp [J/Kg °C]</i>	<i>ρ [kg/m3]</i>	<i>Nro. de puntos</i>
Asfalto	0.06	1	920	2115	1
Ripio 100% compactado	0.15	1.4	880	2000	2
Ripio compactado al 95%	0.30	1.4	880	2000	4
Suelo	6.00	0.52	810	2050	10

En SIMEDIF, la radiación $I_{absorbida}$ absorbida por una pared de área A_{pared} se calcula como el producto de la absorptancia α de la pared, la radiación incidente y el área sobre la cual incide la radiación ($A_{pared} I_{absorbida} = \alpha A_{radiación} I_{incidente}$). Dicha área puede ser diferente al área de pared, como en el caso de paredes sombreadas.

En el caso del asfalto se utilizó una temperatura inicial de 23°C , un coeficiente de absorción de 0.93 (obtenido de la bibliografía) y un área de radiación de 0.27m^2 , debido al sombreado irregular del área de medición. El coeficiente global de convección-radiación utilizado fue $16\text{ W/m}^2\text{°C}$, el cual se estimó a partir de la velocidad media de viento sensada en el periodo (2.75m/s) mediante expresión (Duffie y Beckman, 1991):

$$h = 5.7 + 3.8 v \quad (1)$$

en donde v es la velocidad media del viento en m/s y h es el coeficiente mencionado en $\text{W/m}^2\text{°C}$.

Los resultados del monitoreo y la simulación pueden analizarse en las Figuras 2 y 3. El periodo de monitoreo abarca una semana de días soleados, excepto los dos últimos que tuvieron menor radiación, con una temperatura ambiente entre 11°C y 29°C . Se

puede observar que, como es de esperar, en el interior del pavimento la amplitud térmica disminuye al aumentar la profundidad y el desfase con respecto a la temperatura ambiente es mayor (Figura 2), debido a la masa térmica del sistema. Las temperaturas en la superficie y en el interior del pavimento se ubican siempre por encima de la temperatura ambiente exterior, lo cual indica que existe absorción de radiación solar.

En la Figura 3 puede observarse el ajuste realizado mediante SIMEDIF de los datos medidos. La simulación ajusta los datos medidos en el orden de medio grado, observándose buena concordancia de la posición de máximos y mínimos y de desfaseaje.

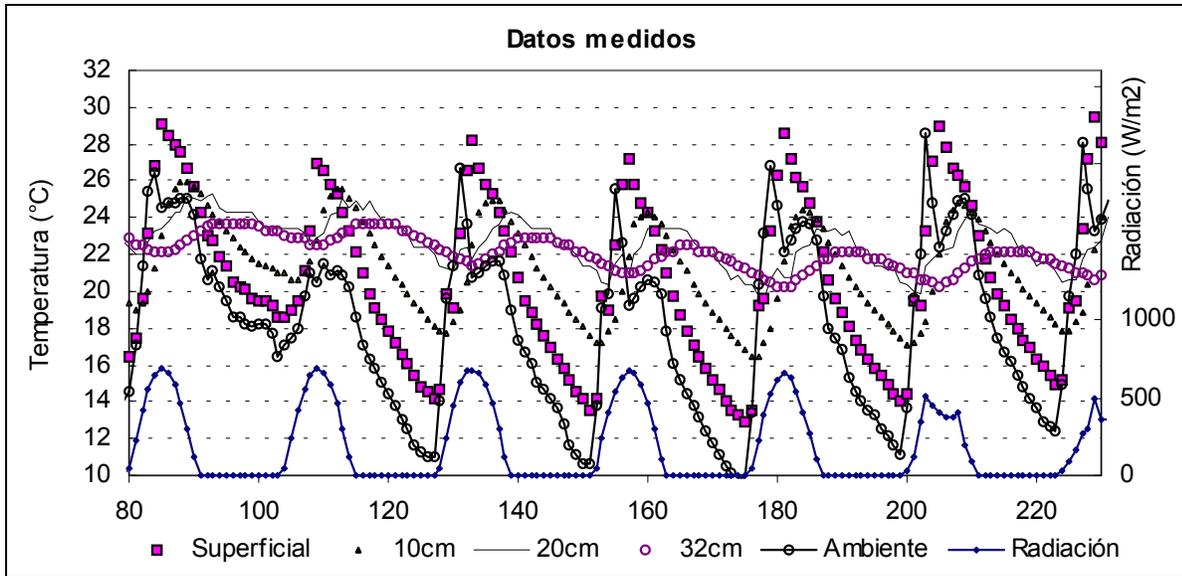


Figura 2: Radiación solar sobre superficie horizontal, temperatura ambiente, superficial, a 10cm, a 20cm y a 32cm de profundidad monitoreadas en el pavimento de asfalto para un período de siete días (promedios horarios).

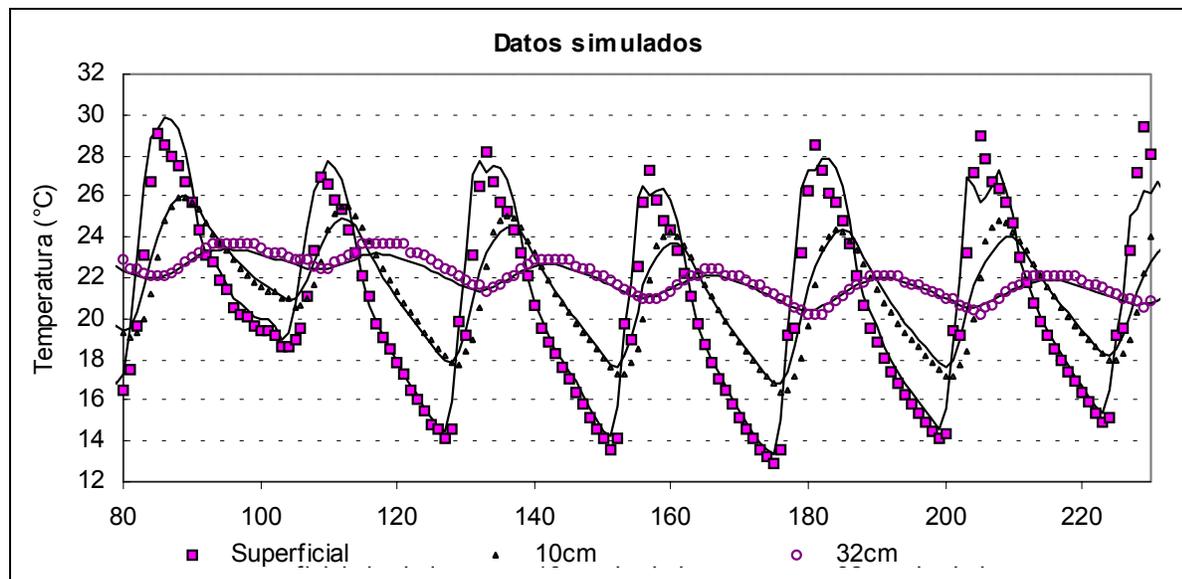


Figura 3: Temperatura superficial, a 10cm y a 32cm de profundidad simuladas para el pavimento de asfalto.

En la Figura 4 se simuló el comportamiento del asfalto considerando que no existen efectos de sombreado sobre el asfalto ($A_{radiación}=1m^2$). Se observa un fuerte incremento de la temperatura superficial, que alcanza una máximos de 45°C en las horas pico frente a los 28°C de máxima en la situación anterior, lo cual explica el efecto de los pavimentos en el incremento de la temperatura de la capa de la atmósfera en contacto con ellos.

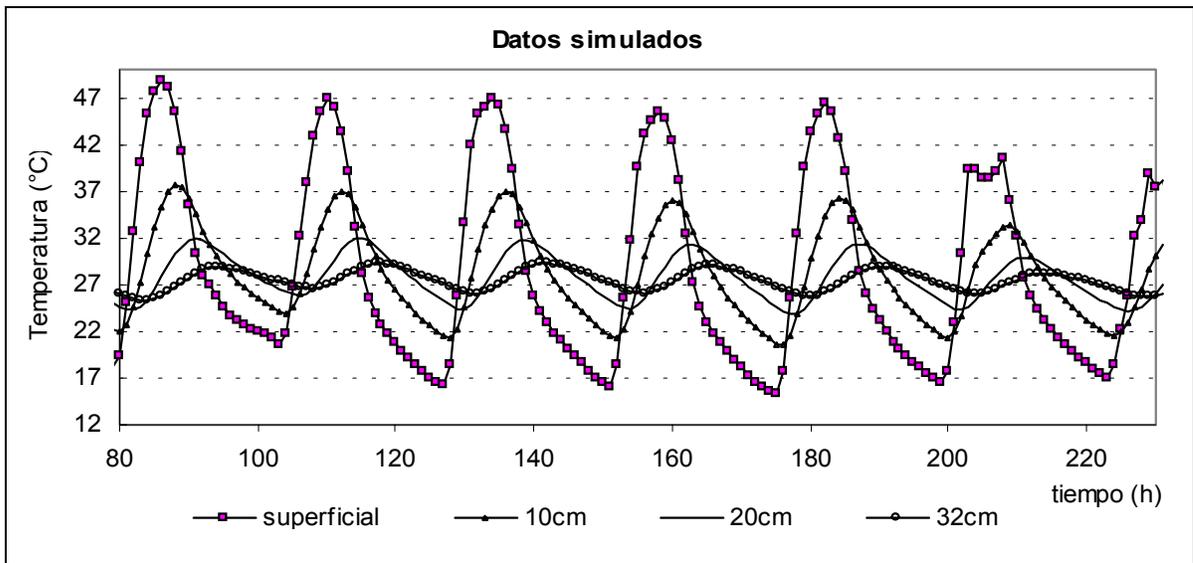


Figura 4: Temperaturas horarias simuladas mediante SIMEDIF para pavimento de asfalto sin sombreado.

Pavimento de hormigón

Del periodo de monitoreo (diciembre de 2002, febrero y marzo de 2003) se seleccionó una serie de diez días para realizar un análisis de las temperaturas medidas. La estructura de capas de este pavimento se analiza en la Tabla 2.

Tabla 2: Pavimento de hormigón.

<i>Materiales</i>	<i>Espesor [m]</i>	<i>K [W/m°C]</i>	<i>Cp [J/Kg °C]</i>	<i>ρ [kg/m3]</i>
Hormigón	0.10	1.73	880	2400
Ripio	0.15	1.4	810	2000
Suelo	6.00	0.52	2050	800

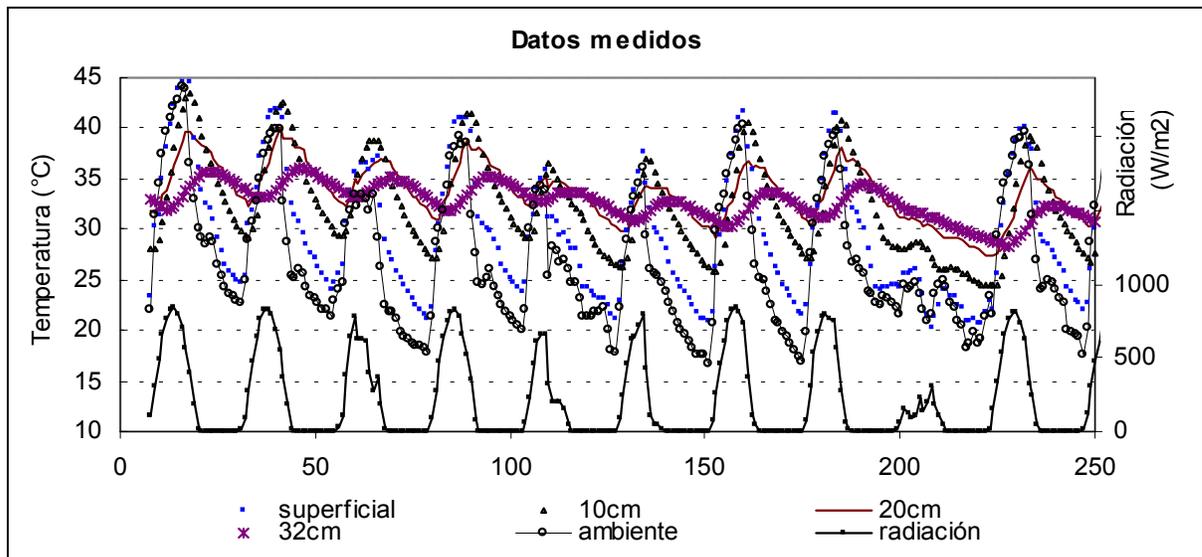


Figura 5: Datos medidos pavimento hormigón en el periodo completo (10 días).

En la Figura 5 se pueden observar los datos monitoreados de temperatura ambiente exterior, radiación solar sobre superficie horizontal, temperatura superficial, a 10cm, a 20cm y a 32cm de profundidad para el pavimento de hormigón. El periodo de monitoreo abarca una serie de diez días soleados, excepto el penúltimo que tuvo menor radiación, con una temperatura ambiente elevada (promedio de 28°C con picos de 44°C). Se puede observar que, como en el caso del asfalto, en el interior del pavimento la amplitud térmica disminuye y el desfase se hace más notorio al aumentar la profundidad.

La temperatura superficial del pavimento durante las horas de insolación es similar a la temperatura ambiente, lo cual es extraño si tenemos en cuenta las elevadas temperaturas del periodo de monitoreo. Si bien la absorptancia del hormigón (entre 0.55 y 0.8) es menor a la absorptancia del asfalto, la sola disminución del coeficiente de absorción y por lo tanto de la energía absorbida no es suficiente para explicar por qué la temperatura superficial no aumenta algunos grados por encima de la temperatura ambiente en las horas pico. Mediciones de velocidades de viento en el periodo de monitoreo entregan valores medios de 3.2 m/s, con lo que se concluye que las pérdidas convectivas tampoco son suficientes para explicar el efecto observado. Una explicación posible es el excesivo tamaño de la cubierta (30cm x 20cm) que se colocó encima del sensor para protegerlo de la radiación directa. Dicha cubierta modificó la temperatura superficial del pavimento en los alrededores del sensor al bloquear la incidencia de radiación solar. Para poder validar esta hipótesis es necesario realizar nuevas mediciones utilizando una cubierta más pequeña o bien el método empleado en primera instancia, que consistía en realizar una perforación muy cerca de la superficie del pavimento y colocar allí el sensor. En el futuro deben incorporarse al análisis medidas de humedad relativa ambiente y velocidad de viento sensadas en el lugar, como así también medidas de las absorptancias reales de los distintos pavimentos estudiados.

CONCLUSIONES

Los datos medidos indican la existencia de una fuerte influencia de la radiación solar incidente y la absorptividad de la superficie en el incremento de temperatura del pavimento. La temperatura superficial del pavimento es superior en todos los casos a la temperatura ambiente, lo cual explica el efecto de los pavimentos en el incremento de la temperatura de la capa de la atmósfera en contacto con ellos.

De los resultados obtenidos puede inferirse que el modelo unidimensional de SIMEDIF realiza un buen ajuste de los datos medidos en el pavimento de asfalto, inclusive teniendo en cuenta que las condiciones ambientales ingresadas en el programa fueron variables. Es de esperar que se obtengan los mismos resultados cuando se simulen nuevos datos del pavimento de hormigón.

En el futuro se tiene previsto estudiar el comportamiento de ambos pavimentos bajo iguales condiciones de contorno (localización y clima), evaluar el comportamiento de los dos pavimentos cambiando la reflectividad de sus superficies y medir y analizar el régimen de viento y las condiciones de humedad en los puntos de medición de las temperaturas a fin de modelizar su efecto en la transferencia de calor en pavimentos. También deben realizarse medidas para estudiar con más detalle el aumento de la temperatura media anual del suelo en zonas urbanas, que en el caso del pavimento de asfalto se estimó en 5°C por encima de la media anual de zonas rurales de Mendoza.

ABSTRACT: The solar radiation absorbed by the urban construction materials highly affects the temperature distribution in urban areas. The thermo physical properties of these materials, specially the albedo and the infrared emissivity, have an important impact in the energetic balance of cities. The pavements are quantitatively important urban components in what is referred to the horizontal surface exposed to the solar radiation (20% of the urban ground approximately) and generally they have a high absorptivity and a high thermal capacity, These characteristics made significant contributions to the *urban heat island* effect, particularly in arid climates with high radiation levels.

In this paper, the heat transfer in different types of pavements and the influence of climatic conditions in the *urban heat island* effect are analyzed. The simulations was made with SIMEDIF code, so predicted and measured temperatures at different levels inside an asphalt pavement were compared.

Keywords: heat island, pavements, modeling.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Incropera F, Dewit D (1990). Fundamentals of heat and mass transfer, Third Edition.
- Asaeda T, Vu Thanch Ca (1995). Heat Storage of Pavements and its effects on the Lower Atmosphere, Atmospheric Environment, Vol. 30, pp. 413-427.
- M. Santamouris et. Al. (2001). On The Impact Of Urban Climate On The Energy Consumption Of Buildings, Solar Energy Vol. 70, No. 3, pp. 201-216.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, pp.15-24.