



MATERIALES FRÍOS EN LA ENVOLVENTE URBANO-ARQUITECTÓNICA COMO APORTE A LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. CASO CÓRDOBA.

**Arturo Maristany, Alicia Rivoira, Alejandro Asbert, Gastón Di Forte,
Marcelo Lambertucci, Marcela Palacios**

Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas CIAL. Instalaciones IIB. Introducción a la Tecnología A. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba. <http://cial.faudi.unc.edu.ar/> - cial@cial.unc.edu.ar - 0054 351 4334158 / 4333037.

Resumen: La edificación densa y la pavimentación de las ciudades se convierten en grandes absorbentes y acumuladores de calor, el cual es irradiado lentamente durante la noche y últimas horas del día. Este proceso implica, por la dificultad en la disipación del calor, un necesario aumento de la temperatura de la ciudad en relación al área suburbana o rural. Este fenómeno es descrito generalmente como “Isla de Calor”. El incremento de temperatura de una ciudad por efecto del fenómeno de isla de calor (ICU), y su influencia directa sobre las cargas térmicas para el acondicionamiento de edificios, se relaciona entre otros muchos aspectos con el calentamiento de las superficies que conforman la envolvente urbana. Es decir que el rol de la envolvente urbana desempeña un papel decisivo en la reducción de las ganancias térmicas y el sobrecalentamiento de una ciudad.

En el presente trabajo se presentan los primeros resultados de un estudio en marcha, cuyo objetivo es relevar y analizar los materiales usuales en la envolvente urbana de la Ciudad de Córdoba y su desempeño térmico y capacidad para mitigar los efectos del calentamiento urbano. La metodología utilizada, con adaptaciones a las posibilidades locales, es utilizada por otros equipos a nivel nacional e internacional, donde se aplica el concepto de “cool material” (materiales fríos), como aquellos más adecuados para la definición constructiva de la envolvente urbana. Se realiza una primera aproximación a los pavimentos urbanos, su relación con los materiales fríos y la adaptación climática y microambiental.

Palabras clave: Envolvente urbana. Comportamiento térmico. Materiales fríos.

1 Introducción.

Los pavimentos y superficies impermeables de la envolvente urbana representan una de las principales contribuciones al aumento de las temperaturas y la formación de la isla de calor. Para un espacio urbano tipo, los pavimentos y los techos se constituyen en el mayor porcentaje del área cubierta total, dato no menor cuando se observa que estas superficies son las que absorben la mayor carga térmica por estar más expuestas.

En estudios realizados para el área metropolitana de la Ciudad de Mendoza (Alchapar et al., 2012), (Alchapar et al., 2014) se detecta que gran parte de los revestimientos peatonales, revelan menor capacidad para mitigar los efectos de la isla de calor, en comparación con otras alternativas disponibles en el mercado local. Paralelamente en diversos trabajos a nivel nacional (Alchapar et al., 2011) e internacional (Santamouris et al, 2011) se demuestra que es posible mejorar el desempeño térmico de la envolvente mediante la selección adecuada de la

forma, color, composición y acabado del material y, conciliar prestaciones térmicas con requerimientos estéticos.

La importancia del uso de los colores claros ya era analizada y destacada por Givoni y Hoffman en 1968 (Synnefa et al, 2006) en mediciones realizadas en Israel, donde manifiestan que pequeños edificios con envolventes pintadas de blanco, presentan temperaturas 3°C más frescas en verano que aquellas pintadas de gris. Posteriormente, Simpson y Mc Pherson, en 1997, utilizando modelos a escala en Arizona, detectaron que cubiertas pintadas de blanco, presentaban temperaturas 30° menor que otras pintadas de color marrón.

Berg y Quinn (1978) reportan que en verano, pavimentos pintados de blanco, con reflectancia cercana al 0,55, registran temperaturas iguales a la temperatura del aire, mientras que pavimentos sin pintar y con reflectancia de 0,15 muestran temperaturas 11°C más cálidas que el aire. Santamouris (2011) indica que la temperatura del asfalto alcanza los 63°C, mientras que la temperatura de pavimentos blancos se acerca a 45°C, en la misma estación.

Incrementar la reflectancia solar de materiales de las cubiertas, solados y envolventes laterales, además de generar beneficios individuales en el ahorro de la energía, mejora el microclima de las zonas urbanas reduciendo la temperatura superficial del material y la temperatura ambiente de las ciudades (Santamouris et al., 2011). Pero incrementar la reflectancia solar es insuficiente. Ello debe ir acompañado por coeficientes de alta emitancia de los materiales, de modo de emitir rápidamente lo ganado. Los materiales que presentan estas características se conocen como materiales fríos.

De tal manera que los materiales fríos (cool materials) se caracterizan por dos aspectos principales: 1) alta reflectancia solar, capacidad de reflejar la radiación abarcando la totalidad del espectro y 2) alta emitancia infrarroja, capacidad del material de disipar rápidamente el calor absorbido. Ambas características permiten una baja absorción de la radiación y una rápida disipación de calor, dando como resultado una temperatura superficial baja, lo cual argumenta su designación como materiales fríos.

Queda claro e implícito que este tipo de análisis debe ser realizado, para que tenga aplicación local, para los materiales, sistemas y técnicas constructivas y condiciones ambientales de cada ciudad en particular, aspecto aún pendiente para la ciudad de Córdoba.

2 Metodología

2.1 Caso de estudio

En los últimos 20 años, las ciudades han ido modificando sus espacios públicos hacia entornos más amigables para el peatón y con menor circulación vehicular, con importantes beneficios, no sólo en lo estético y medioambiental, sino también en lo que se refiere a la salud de la población. Los trazados peatonales en el área céntrica, al liberar el flujo vehicular de las calles, logran mejorar no solo las condiciones de contaminación sonora y del aire, sino que se potencia el uso del espacio público como lugar de encuentro, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos. La Ciudad de Córdoba cuenta con casi tres kilómetros de este tipo de vías, ubicándose entre las tres primeras del país. Por este motivo se adopta como caso de estudio del presente trabajo los materiales utilizados como pavimentos en la red de peatonales del área central de la Ciudad. En este recorte del área urbana central, cualitativamente reconocible y diferenciada, se puede aislar el impacto del tránsito vehicular en las mediciones que se proponen realizar. En la selección de casos jugó un papel primordial la existencia en nuestra ciudad de una red peatonal, que ha sido objeto de diseño y reformulación en diferentes gestiones municipales, donde la definición de su materialidad no estuvo impactada por esta variable que hoy cobra relevancia en relación al fenómeno de la isla de calor. La gran cantidad de personas que se desplazan a diario, en una amplia franja horaria, justifica tomarlo

como caso de estudio y concentrar el análisis en los aspectos de la materialidad que impactan en el confort térmico.

La selección de los casos parte de la hipótesis que similares pavimentos en diferente situación espacial (urbano arquitectónica), como presencia de árboles o cobertura de sombra vegetal continua, o ausencia total de la misma, tiene impacto cuantificable en áreas comparables y definidas de la peatonal. Determinando no solo percepciones cualitativas diferenciadas por parte de los usuarios, sino además datos cuantificables en relación a la naturaleza de los materiales utilizados. Por otra parte similares situaciones en cuanto a estructura espacial, presentarían significativas diferencias en su comportamiento térmico debido a los materiales allí utilizados. Se determinan siete tramos de estudio con diferentes características de pavimento, orientaciones en relación al asoleamiento, límites que configuran el espacio y presencia de vegetación o equipamiento significativo. El sentido es analizar los materiales de pavimentos dentro de su contexto de uso. Los tramos, indicados en la figura 1, se corresponden con: calle 9 de Julio 100-200 (tramo 1), calle 9 de Julio 0-100 (tramo 2), calle Rivera Indarte 100-200 (tramo 3), calle Deán Funes 100-200 (tramo 4), calle Independencia 0-100 (tramo 5), calle Obispo Trejo 100-200 (tramo 6), calle Caseros 100-200 (tramo 7) y calle San Martín 200-300 (tramo 8).



Figura 1. Tramos de estudio – peatonales área central de Córdoba.

Fuente: elaboración propia – plano Google Maps

2.2 Instrumentación y técnica de medición

Para la realización del estudio se procedió a tomar mediciones de campo de temperatura superficial (T_{sup}), fotografías infrarrojas y reflectancia, de un conjunto de muestras definidas como características del sector en estudio. Paralelamente se relevaron las condiciones climáticas generales en el intervalo de medición.

Para la medición de las temperaturas se utilizaron alternativamente un termohigrómetro marca TESTO, modelo 635-2, con sonda de temperatura con triple sensor (termocuplas) y un sistema de adquisición de datos (datalogger) marca Onset, modelo HOBO de cuatro canales con termocuplas.

Las termografías fueron tomadas con una cámara termográfica marca TESTO®, modelo 875-1, con un rango espectral: 8 a 14 μm , (lejano infrarrojo), objetivo estándar de 32° x 23° y sensibilidad térmica, NETD<80mK a 30°C. Procesamiento de datos en Software Testo IRSoft.

Las mediciones de reflectancia fueron realizadas mediante un luxómetro marca Gossen, modelo Panlux. Se determinó la reflectancia por relación entre la radiación visible que llega a la superficie y la que emite. Esta técnica no es adecuada para medir la reflectancia global de la superficie a la radiación solar, pero se la considera suficiente para esta primera aproximación a la caracterización de los pavimentos analizados.

La emitancia de las superficies analizadas se calculó de manera indirecta a partir de la temperatura superficial medida, ajustando la emisividad de la cámara termográfica hasta que la temperatura detectada por ella correspondiera a la del termómetro de contacto. Para la realización de las termografías se tuvo en cuenta: Características de los pavimentos, propiedades radiantes de la superficie, factores climáticos e influencias del entorno. El método para la realización de las imágenes cualitativas es establecido por la Norma ISO 6781.

Las condiciones meteorológicas ambientales (temperatura ambiente, humedad y radiación solar) se registraron en el campus de la Universidad en las instalaciones del CIAL, mediante una estación meteorológica DAVIS. Las temperaturas de superficie de los pavimentos se tomaron entre las 12 y 15 horas, en invierno, en día soleado, con baja humedad relativa y vientos de baja velocidad o nulo.

3 Resultados

Las mediciones fueron realizadas en el periodo del día de mayor insolación. En la gráfica de la figura 2 se muestran los valores de radiación solar sobre plano horizontal, temperatura ambiente y humedad relativa. En el intervalo de medición se registró una temperatura ambiente promedio de 15,4°C, una humedad relativa del 33,5% y radiación solar media de 580 W/m².

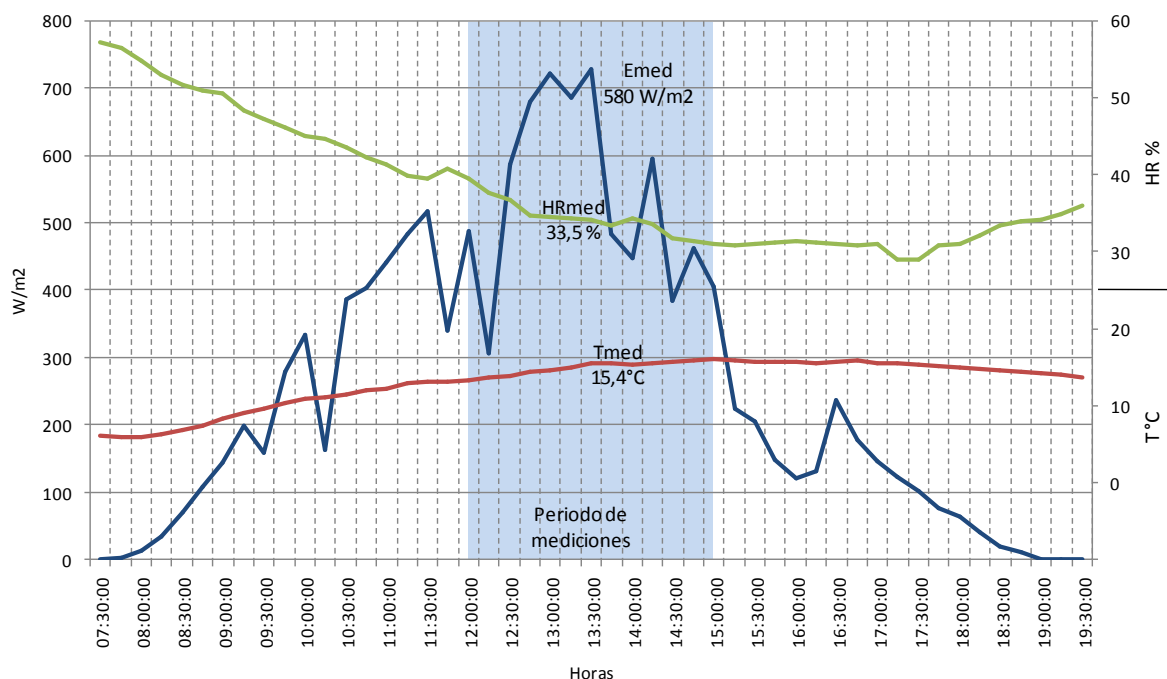










Figura 2. Datos de clima en el día de medición.

Fuente: elaboración propia

En la tabla 1 se indican los diferentes materiales relevados en cada tramo. Un detalle, y características de terminación, grano, color y envejecimiento o degradación de capa superficial. El envejecimiento y acumulación de suciedad causan modificaciones en las propiedades ópticas, y por lo tanto, en su aptitud para disminuir las temperaturas superficiales. (Alchapar y Correa, 2015)

Tabla 1. Principales materiales de pavimentos relevados

Tipo	Detalle	Terminación	grano	color	Estado de Conservación	Tramos
Laja natural		rugosa	fino	negro	Bueno	1 2 6
Mármol		pulida	fino	blanco	Cambios en el color. Desgastado. Opaco.	1 2 3 4 5 6
Granito natural		pulida	variado	rojiza	Desgastado.	1 2 3 6
Loseta cementicia		rugosa	fino	negro	Bueno	3 4 6
Adoquín granito natural		rugosa	variado	gris	Desgastado (especialmente las juntas)	5
Loseta calcárea		rugosa	fino	azul blanco	Regular	5
Pórfido patagónico		rugosa	fino	gris rojizo	Desgastado	7
Hormigón articulado		rugosa	variado	gris	Bueno	8

Fuente: elaboración propia

En las figuras 3 a 6 se muestran los resultados de las primeras mediciones realizadas a un conjunto de materiales característico desde el punto de vista térmico: mármol blanco, baldosa cementicia negra, granito rosado y hormigón articulado. Se indica en cada caso la temperatura superficial media alcanzada en el intervalo de medición, la reflectancia y la emitancia aproximada tomada de las termografías infrarrojas. Los histogramas de temperaturas superficiales permiten analizar el rango de temperaturas, diversos entre los materiales, y la

dispersión alrededor de la temperatura media. Sobre las termografías se indica el área del material tomada para el cálculo del histograma.

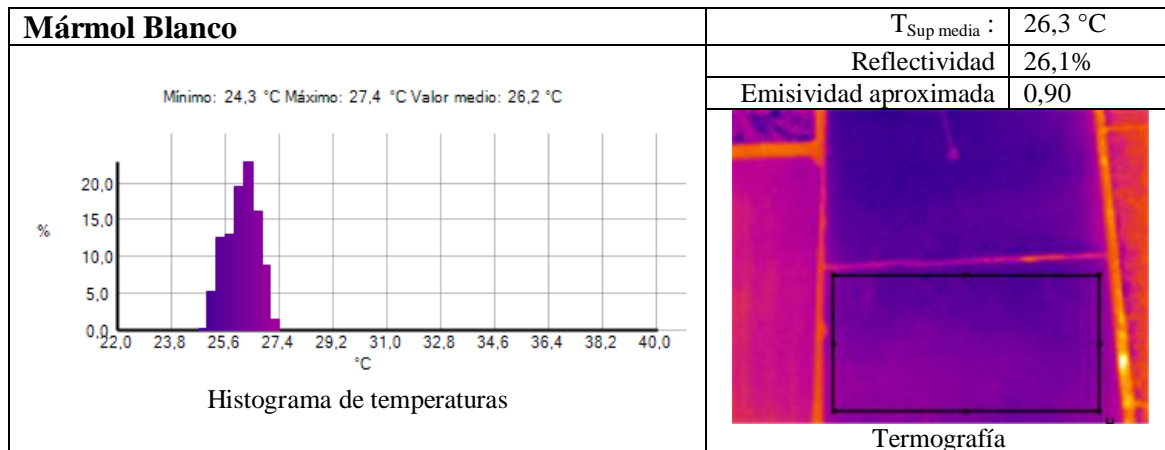


Figura 3. Termografía y valores relevados – Mármol blanco
Fuente: elaboración propia

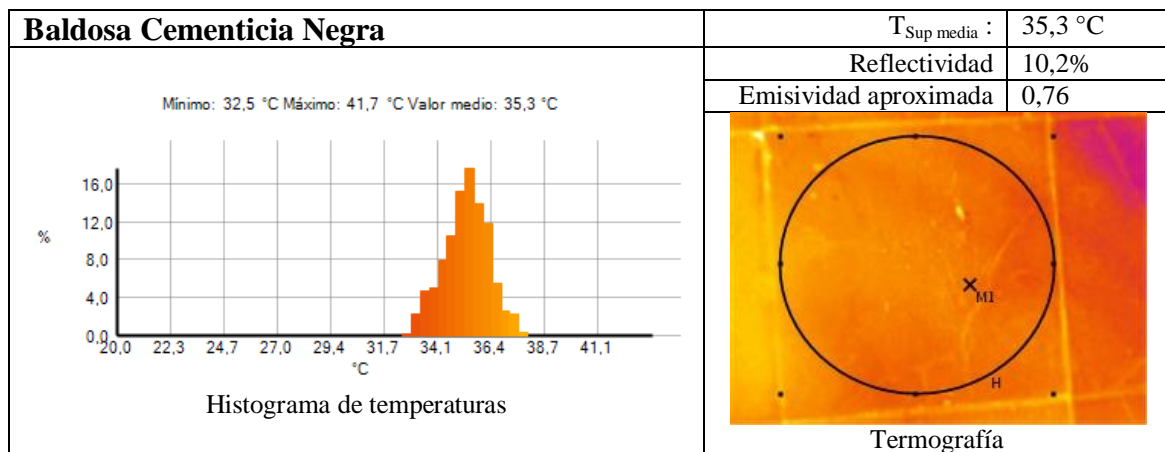


Figura 4. Termografía y valores relevados – Baldosa cementicia negra
Fuente: elaboración propia

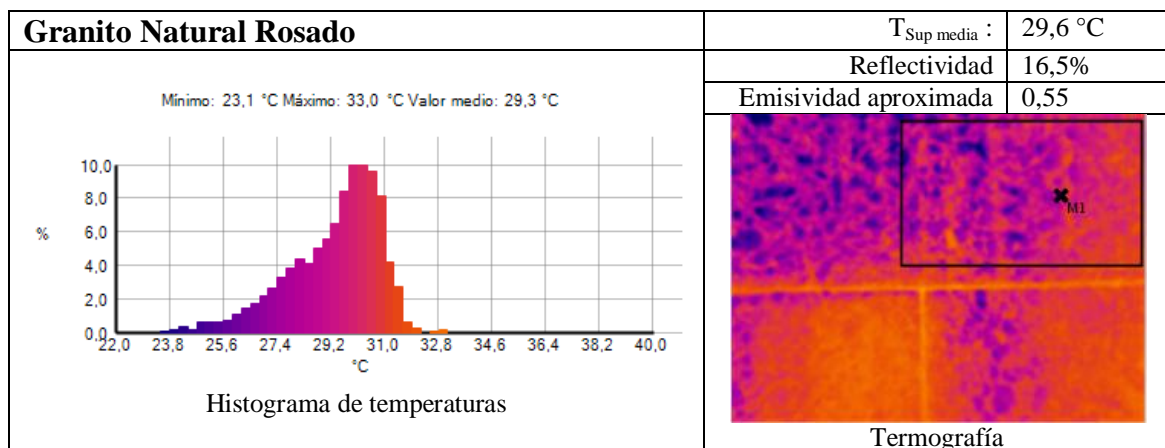


Figura 5. Termografía y valores relevados – Granito Natural Rosado
Fuente: elaboración propia

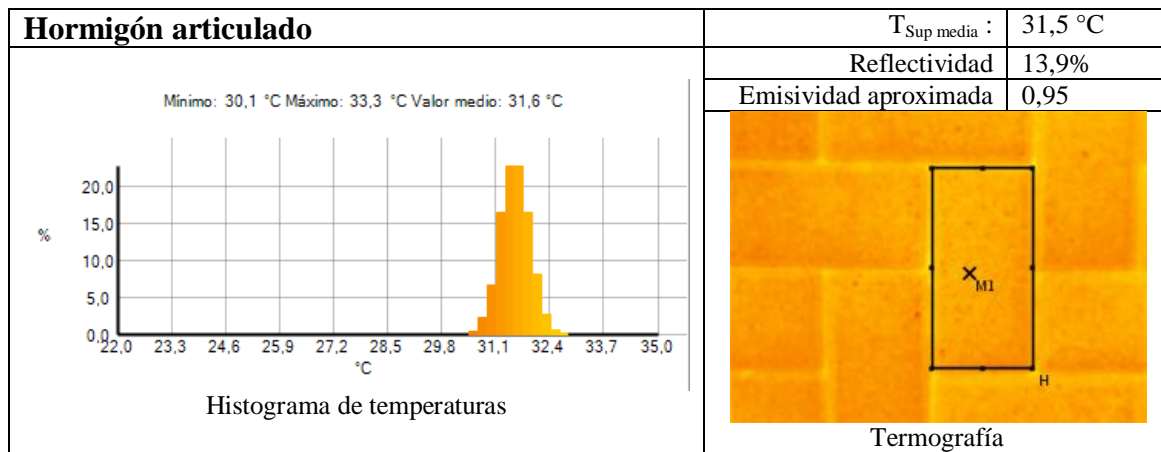


Figura 6. Termografía y valores relevados – Hormigón articulado
 Fuente: elaboración propia

4 Análisis y conclusiones.

Si se realiza un análisis comparado entre los cuatro materiales estudiados, figura 7, se observa que en relación a la temperatura superficial, tal como se esperaba, la temperatura de la baldosa cementicia negra registra la temperaturas media más elevada alcanzando los 35,3°C, el granito rosado 29,6°C, el hormigón articulado 31,5°C, mientras que el mármol blanco alcanza los 26,3°C. Se puede agregar además que dado su composición, con granos de diversos colores, el granito presenta mayor dispersión en las temperaturas superficiales, el histograma de la figura 5 muestra que las mismas varían entre 23 y 33°C.

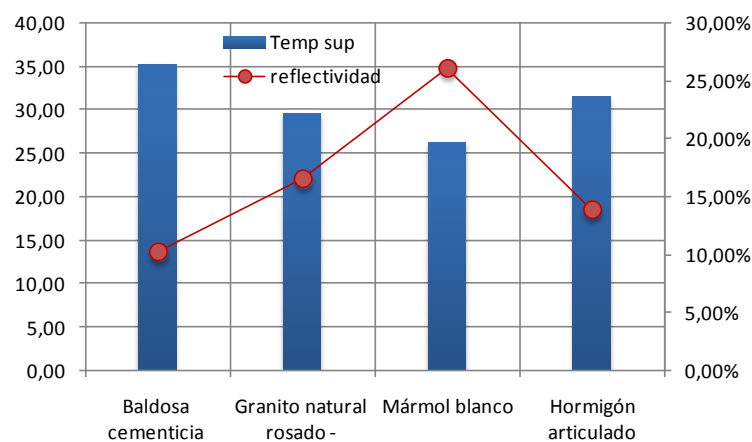


Figura 7. Grafico comparativo de TS y reflectancia.
 Fuente: elaboración propia

En relación a la reflectancia: Si bien el mármol blanco es el pavimento que registra el valor más alto, 26,1%, no es la esperada. Se estima que como afirman Alchapar y Correa (2015) el efecto del tiempo, la degradación del material y la suciedad pueden disminuir las propiedades térmicas del mismo. Se infiere entonces que, es oportuno seleccionar materiales, que además de alta reflectancia y emitancia, presenten buen envejecimiento, entendiendo éste como aquella situación que permita mantener en el tiempo sus propiedades térmicas. Sería deseable además, realizar mediciones en el material previo a su puesta en obra y comparar resultados. En la figura 8 se observa una total correspondencia entre la temperatura superficial y la reflectancia, las mayores reflectancias se corresponden con las menores temperaturas.

En relación a la emitancia se observa que no necesariamente una temperatura superficial baja está asociada a una emitancia alta. Este principio se visualiza en el mármol blanco ($\epsilon=0,90$),

pero en el hormigón articulado ($\epsilon=0,95$) la temperatura es alta debido a la reflectancia. Paralelamente el granito rosa ($\epsilon=0,55$) y la baldosa cementicia negra ($\epsilon=0,76$), con valores medios poseen temperaturas superficiales altas.

En la figura 8 se presenta la distribución de temperaturas en un intervalo de medición para tres materiales (mármol, granito y baldosa negra), en relación a la temperatura ambiente. Todos los materiales analizados, registran temperaturas significativamente más elevadas que la temperatura del aire. Ninguno de los materiales registró temperaturas iguales o menores. Las temperaturas promedio superficiales superaron a la temperatura del aire entre $11,6^{\circ}\text{C}$ (el mármol blanco), $15,2^{\circ}\text{C}$ (el granito rosa) y $18,8^{\circ}\text{C}$ (la baldosa cementicia negra). Estas mediciones deberán repetirse en la estación estival.

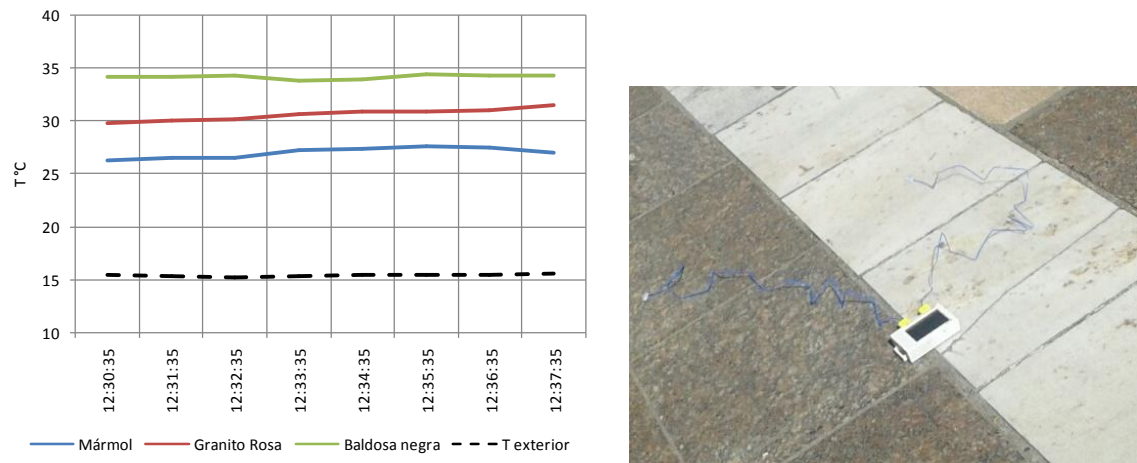


Figura 8. Temperatura superficial – relación entre materiales y temperatura ambiente
Fuente: elaboración propia

En el trabajo se verifica la hipótesis inicial, en relación a la gran diferencia prevista entre los comportamientos térmicos de cada uno de los materiales utilizados en los pavimentos del área central de la Ciudad de Córdoba. El estudio está en su etapa inicial, pero los resultados demuestran y justifican la necesidad de continuar y profundizar los mismos. Se considera necesario continuar con el resto de materiales relevados. Será también útil realizar mediciones nocturnas, de modo de poder establecer la relación entre la temperatura superficial y la temperatura del aire, con el objeto de revisar si las mismas se sitúan por debajo de la temperatura ambiente por la noche.

La mayor superficie de pavimentos del área estudiada, se compone de baldosa cementicia negra, que registra en las mediciones realizadas el comportamiento térmico más desfavorable, situación que será necesario estudiar en mayor profundidad, tratando de evaluar el impacto de su uso extensivo en el confort térmico de los espacios exteriores. Las piedras naturales como el mármol y el granito tienen mejor comportamiento térmico que las artificiales, seguramente será necesario analizar materiales artificiales con comportamiento similar a estas piedras naturales como alternativa de tratamiento.

Hasta las últimas intervenciones de renovación urbana en nuestra ciudad, sin duda la elección de los materiales y su uso no ha estado condicionada por las propiedades térmicas de estos, considerando posiblemente sólo una visión estético formal y/o económica. Es deseable, que la visibilización de esta variable como incidente en el fenómeno de la isla de calor, permita orientar las decisiones de diseño en el futuro.

5 Referencias.

- AKBARI, H., LEVINSON, R., STERN, S., “Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curve droofing assemblies,” *Solar Energy*, 2008, vol. 82, no 7, pp. 648-655.
- ALCHAPAR N. L., CORREA E. N., and CANTÓN M. A., “Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana,” *Ambiente Construído*, 2012, vol. 12, no. 3, pp. 107–123.
- ALCHAPAR N. L., CORREA E. N., and CANTÓN M. A., “Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones,” *Energy Build.*, 2014, vol. 69, pp. 22–32.
- ALCHAPAR N. and CORREA E., “Comportamiento térmico de revestimientos verticales, en la mitigación dela isla de calor urbana. índice de reflectancia solar,” *Av. en EnergiasRenov. y Medio Ambiente*, 2011, vol. 15, pp. 55–64.
- ALCHAPAR N. L, and CORREA E. N., “Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas,” *Informes de la Construcción*, 2015, vol 67, No 540.
- ISO 6781:1983, Thermal insulation -- Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes -- Infrared method
- KOLOKOTSA D.-D., SANTAMOURIS M., and AKBARI H., “Advances in the development of cool materials for the built environment,” *Adv. Dev. Cool Mater. Built Environ.*, 2013.
- SANTAMOURIS M., SYNNEFA A., and KARLESSI T., “Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions,” *Solar Energy*, 2011, vol. 85, no. 12, pp. 3085–3102,.
- SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., LIVADA, I., “A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment,” *Solar Energy*, 2006, vol. 80, no 8, pp. 968-981.