



ESTRATEGIAS DE MITIGACION DE LA ISLA DE CALOR EN CIUDADES DE ZONAS ARIDAS. EL CASO DE LOS MATERIALES.

Erica Correa (1), Noelia Alchapar (1) y M. Alicia Cantón (1)

(1) INCIHUSA. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. CONICET-CCT-Mendoza, Argentina –e-mail: ecorrea@mendoza-conicet.gov.ar, nalchapar@mendoza-conicet.gov.ar, macanton@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN

El incremento de la temperatura urbana conocido como “isla de calor” tiene un efecto directo en el consumo de energía y las condiciones de confort térmico de los espacios residenciales. A nivel internacional diversas estrategias de mitigación han sido propuestas y están siendo estudiadas a fin de determinar su efectividad y eficiencia en relación a los costos asociados a su implementación. Las mismas se sustentan en dos principios básicos: incrementar la cobertura vegetal de los espacios y trabajar sobre las propiedades termo-físicas de los materiales (techos, pavimentos y fachadas). De modo particular, para las ciudades de zonas áridas, donde el recurso hídrico está restringido, trabajar sobre los materiales se presenta como una estrategia de mitigación viable. Pero, para su implementación es necesario, por un lado generar conocimiento respecto de cuáles son los materiales disponibles regionalmente para la resolución de las envolventes, que resultan aptos en torno a disminuir las temperaturas urbanas; y por otra parte evaluar cuáles de las estrategias disponibles son costo efectivas en el contexto de cada ciudad. Es por ello que este trabajo presenta los resultados de la evaluación del comportamiento térmico de distintos materiales usados en la ciudad de Mendoza para la resolución de las envolventes horizontales. Se han evaluado 16 materiales de tejas, 4 materiales de membranas y 44 mosaicos para exteriores. Los materiales analizados fueron seleccionados a partir del relevamiento de distintas tramas urbanas representativas de la ciudad. Los resultados muestran que la composición y el color de los materiales es determinante en su desempeño térmico. Además, los materiales que mostraron peor desempeño térmico actualmente son preponderantes en la configuración de los espacios urbanos de la ciudad.

Palabras claves: materiales, comportamiento térmico, isla de calor urbana, mitigación, zonas áridas.

1 INTRODUCCIÓN

La urbanización es una tendencia mundial que resulta de la concentración de la población en las ciudades. En la actualidad más de la mitad de la población vive en ellas y si en los países desarrollados la población urbana parece estabilizada en un 75%, en aquellos en vías de desarrollo, donde actualmente no supera el 35%, se estima que en 2030 alcance el 50% de la población total (Worldwatch Institute, 2007, CEPAL, 1999). Esta gran concentración de personas y actividades convierte a las zonas urbanas en las áreas donde las transformaciones del medio natural han sido más acusadas, afectando al ambiente atmosférico y al clima.

La condición artificial del medio modifica, entre otros factores, el balance térmico de los espacios urbanos y como consecuencia la temperatura del aire circundante. Todo ello se traduce en un clima urbano característico, cuyo rasgo más destacable es la formación de una isla de calor, debido al aumento de la temperatura del aire en relación a las áreas no urbanas.

En E.E.U.U (Akabari, et. al 1992) demostró que aproximadamente el equivalente a 10 GW de la demanda de energía eléctrica se debe al uso de aire acondicionado por efecto de la isla de calor. Esta generación de energía adicional cuesta aproximadamente 1 millón de dólares por hora, y esto representa un costo incremental de la energía que pagan los consumidores es equivalente a 1 billón de dólares al año. Estudios llevados a cabo recientemente en Europa y E.E.U.U (Akabari et.al. 2007) indican que el impacto de modificar los valores de reflectancia solar de los materiales que componen las envolventes urbanas reduce las cargas de enfriamiento entre un 18 a 93% y la demanda de energía eléctrica en las horas pico causadas por el uso del aire acondicionado en los edificios entre un 11 a 27%, además mejora las condiciones internas de confort disminuyendo las horas de desconfort entre un 9 y un 100% y disminuye la temperatura de los espacios urbanos entre 1.2 y 3.4 °C . Estas reducciones son más importantes para edificios con poca o ninguna aislación (situación que presenta mayoritariamente el parque edilicio de la ciudades de nuestro país).

La ciudad de Mendoza, Argentina – conglomerado urbano próximo al millón de habitantes inserto en un contexto árido y sísmico- presenta una geometría urbana abierta, conformada por calles anchas fuertemente arboladas y una estructura edilicia del tipo piramidal. Es decir máxima concentración y verticalidad edilicia en el centro de la ciudad que se diluye hacia la periferia en donde se asientan los barrios residenciales conformando un entorno de baja densidad. La materialidad de las formas urban-edilicias es el resultado del uso de materiales tradicionales disponibles en el lugar, tecnologías asociadas al carácter sísmico del emplazamiento y las tendencias actuales de diseño en el campo de la arquitectura. Estas tendencias se apoyan en el surgimiento de nuevas técnicas y materiales de construcción y, persiguen lenguajes formales –en muchos casos- disociados de los valores intrínsecos a la arquitectura (Solá Morales et al., 2003). La conjunción de estos factores da lugar a una diversidad de expresiones resultantes de la concepción de edificios tanto básicos (ladrillo visto, hormigón armado) como líquidos (acero y vidrio), cubiertas planas y colores variados y, viviendas individuales del tipo compactas o abiertas, envolventes verticales que abarcan una amplio espectro de materiales - ladrillo visto, revoques texturados o lisos y cubiertas pesadas o livianas del tipo plana o inclinada de tejas. Respecto al ámbito urbano, los espacios de circulación vehicular comparten la materialidad que presentan la mayoría de las ciudades actuales - asfalto, concreto- y las circulaciones peatonales – veredas- muestran una gama amplia de materiales: cementicios y pétreos de colores claros en el pasado y con una fuerte tendencia al uso de colores oscuros en la actualidad.

La geométrica de la ciudad, la intensa forestación de los canales viales que disminuye la visión de cielo disponible y la materialidad de las envolventes da lugar a una isla de calor urbana que alcanza valores máximos de 10 °C. Esto produce en verano un incremento en los consumos de energía del orden del 20% debido a las necesidades de enfriamiento para obtener condiciones de confort en los espacios interiores del área metropolitana. (Correa, et. al., 2006).

Crear comunidades frescas requiere, entre otras cosas, bajar la temperatura superficial promedio de la ciudad de modo de disminuir la transferencia de calor desde la superficie al aire. A nivel internacional diversas estrategias de mitigación han sido propuestas y estudiadas a fin de determinar su efectividad y eficiencia en relación a los costos asociados a su implementación. (Doulou et al, 2004; Bretz et. al,

1997; Sinefa et. al, 2005). Una de ellas, se sustenta en trabajar sobre las propiedades termo-físicas de los materiales empleados en paramentos horizontales y verticales (techos, pavimentos y fachadas), lo cual contribuye a mejorar la eficiencia energética de los edificios y a mejorar las condiciones de confort de los espacios tanto interiores como urbanos. Su implementación requiere generar conocimiento respecto a cuáles son los materiales disponibles regionalmente para la resolución de envolventes y su aptitud para disminuir las temperaturas urbanas.

2 OBJETIVO

El presente trabajo tiene por objeto evaluar el comportamiento térmico y óptico de los materiales empleados en las envolventes horizontales del Área Metropolitana de Mendoza - tejas, membranas y mosaicos para pisos exteriores-. Los resultados obtenidos permitirán a diseñadores y hacedores de la ciudad conciliar expresiones formales con materializaciones eficientes que minimicen su impacto en las condiciones térmicas de la ciudad y en consecuencia colaboren a reducir los consumos de energía y la contaminación del espacio urbano.

3 METODOLOGÍA

3.1 Relevamiento de las unidades de análisis en la ciudad.

En esta primera etapa se decide caracterizar la materialidad de las envolventes en la zona correspondiente a la alta densidad edilicia de la ciudad. Para ello se seleccionó como muestra representativa la grilla compuesta por 64 manzanas en una cuadrícula de 8x8 ha, la cual se desarrolla en torno a la plaza central -Plaza Independencia-. A partir del relevamiento de la materialidad de las envolventes verticales y horizontales de cada una de las parcelas contenidas en la muestra, se estimó la composición porcentual de los materiales predominantes en la zona de alta densidad edilicia de la ciudad. Ver figura 1.

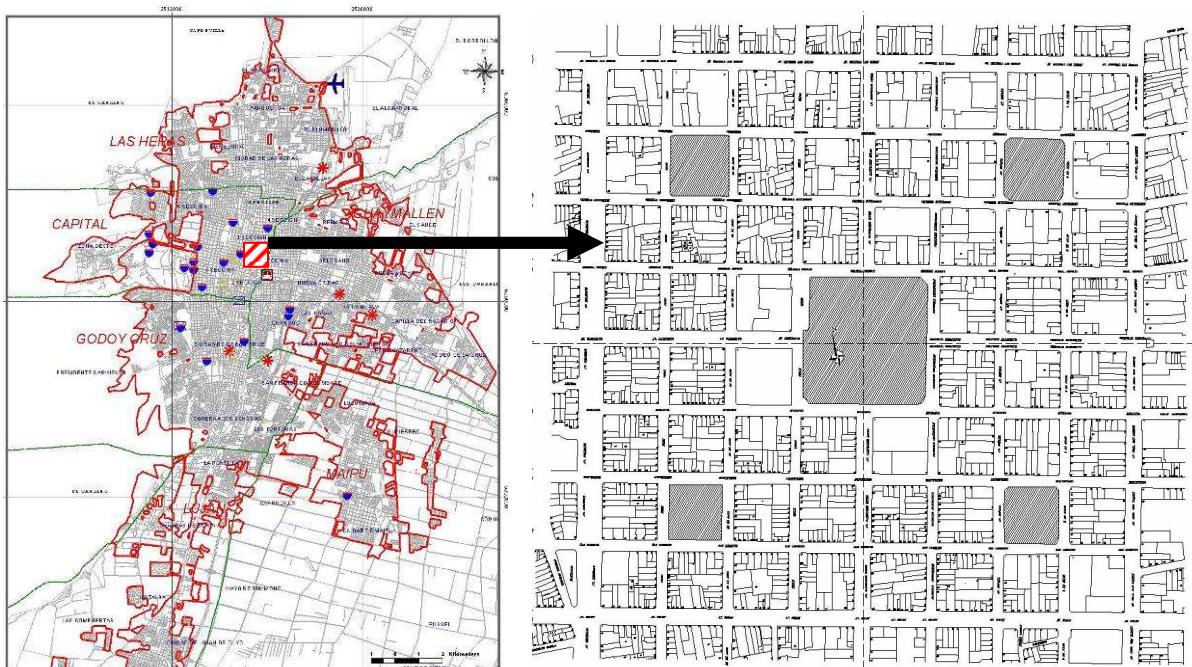


Figura 1. Localización y características del espacio muestral estudiado dentro del Área Metropolitana de Mendoza-AMM-

En lo que respecta a los pavimentos peatonales, y las superficies opacas y transparentes verticales, los resultados se muestran en la figura 2.

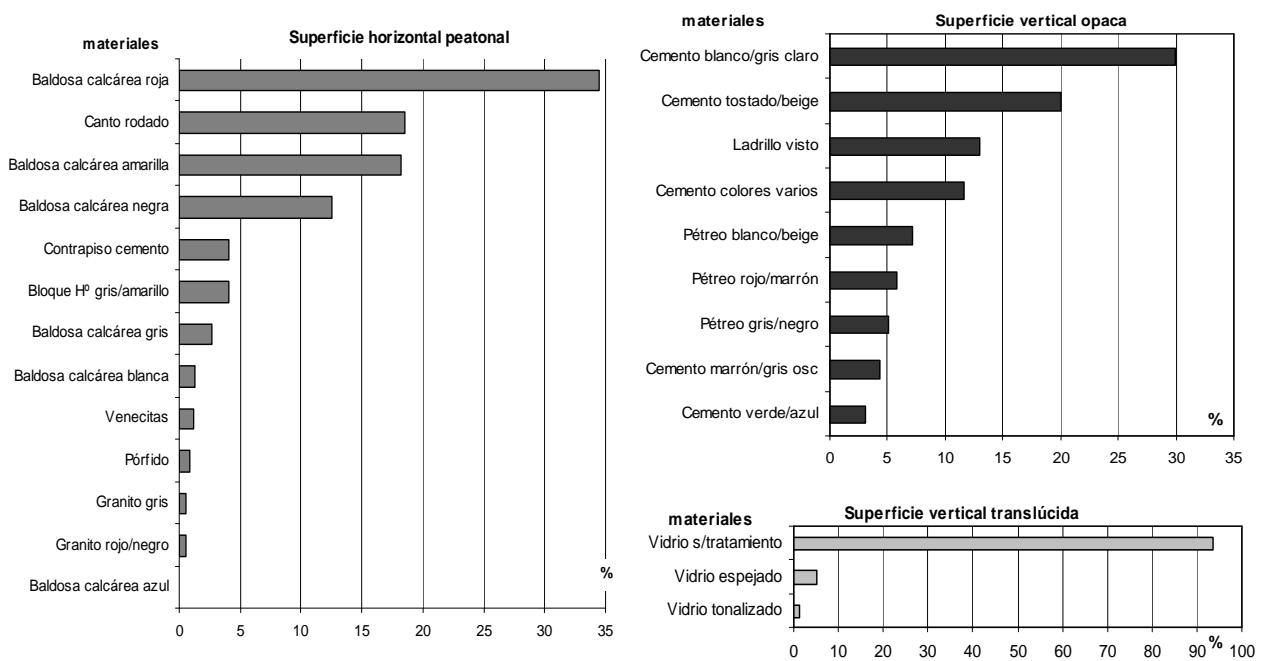


Figura 2. Materiales en las envolventes urbanas de la alta densidad edilicia del AMM Composición porcentual.

3.2 Monitoreo y evaluación del comportamiento térmico

Para una superficie expuesta al sol y aislada por debajo, la temperatura superficial de equilibrio T_s se obtiene a partir de:

$$(1-\alpha)*I = \varepsilon*\sigma*(T_s^4 - T_{sky}^4) + hc*(T_s - T_a) \quad (\text{eq.1})$$

Donde:

α = reflectividad solar u albedo de la superficie

I = radiación solar incidente sobre la superficie [W/m²]

ε = emisividad de la superficie

σ = Constante de Stefan-Boltzmann, $5.6685*10^{-8}$ [W/m²K⁴]

T_s = Temperatura superficial de equilibrio [K]

T_{sky} = Temperatura efectiva radiante de cielo

hc = Coeficiente de convección [W/m²K]

T_a = Temperatura del aire [K] (ASHRAE,1989)

Si consideramos que la mayoría de las superficies urbanas no metálicas presentan alta emisividad (Duffie et al., 1991). Resulta de la ecuación 1 que para conseguir alteraciones a gran escala el parámetro más fácil de modificar es el albedo, al mismo tiempo es necesario prevenir el uso de metales desnudos y recubrimientos de aluminio los cuales presentan baja emisividad.

Con el objeto de seleccionar los materiales disponibles regionalmente para las envolventes horizontales que resulten más adecuados en orden a disminuir las temperaturas urbanas, combatir la isla de calor y mejorar el grado de confort; se reunió un muestrario a partir de la disponibilidad de los fabricantes locales. En esta etapa inicial, el mismo estuvo compuesto por: 16 tejas, 4 membranas y 44 mosaicos para pisos exteriores.

Para estudiar el comportamiento térmico de los distintos materiales, éstos fueron dispuestos sobre una superficie horizontal de 7cm de espesor de poliestireno expandido ubicada en un predio del CCT-Mendoza (Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas), el cual está localizado en el borde oeste de la ciudad. Ver figura 3.



Figura 3. Evaluación térmica y óptica de los materiales en explanada.

Las variables medidas fueron emisividad, temperatura superficial, radiación solar sobre superficie horizontal y temperatura del aire. Las mediciones se realizaron durante el mes de febrero del año 2010. Considerando el periodo de calentamiento de los materiales, en intervalos de dos horas, desde las 9 AM hasta las 7 PM.

La emisividad del material se midió al mediodía solar, mediante el uso de un sensor de temperatura de termocupla tipo T asociado a un data logger hobbo U12, midiendo a intervalos de 2 segundos la temperatura del material y un termómetro IR Fluke 568 con ajuste de emisividad. De modo tal que la emisividad del material corresponde a aquella que hace coincidir la temperatura de la termocupla con la del termómetro IR (ASTM Standard, 2006). Para el caso de las membranas sin pintar se usaron emisividades de referencia disponibles en la bibliografía. (Akbari et al., 1997)

Para determinar de la temperatura superficial de cada uno de los componentes evaluados se utilizó una cámara infrarroja OMEGASCOPE tipo OS-XL. (Con emisividad seteada acorde a los valores registrados previamente). De acuerdo a la ecuación 1, y al estar aislada la cara posterior de los materiales medidos, la temperatura superficial del material refleja el comportamiento óptico del mismo, toda vez que los materiales estaban en iguales condiciones de exposición al sol, al viento, y a una misma temperatura del aire.

3.3 Clasificación de los materiales para el análisis de los resultados.

Para ser analizados y comparados los materiales fueron clasificados de acuerdo a las siguientes características:

Tejas:

- Forma: (colonial, francesa, romana);
- Color: (terracota, negro, gris);
- Acabado: (natural, mate, esmaltada, acrílico, brillante bicocción, brillante monococción, envejecida);
- Composición (cementicias, cerámicas). La figura 4 muestra brevemente la caracterización para este tipo de materiales.

La figura 4 muestra un trozo de la tabla de caracterización usada para el caso de las tejas evaluadas.

Membranas:

- Forma (cuadro grande; cuadro chico y lisa)
- Color: (aluminio, blanco, terracota);
- Acabado: (brillante, opaco de fábrica, pintura tersuave). La figura 5 muestra la caracterización para este tipo de materiales.

La figura 5 muestra la tabla de caracterización usada para el caso de las membranas evaluadas.

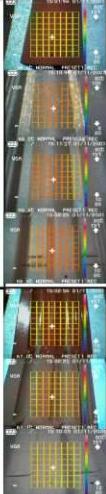
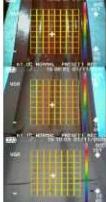
Materiales	Forma	Imagen	Nº	Color	Acabado	Composición	
						Cementicias	Cerámicas
Tejas	Colonial		T1	terracota	natural		x
			T15	negro	mate	x	
			T16	terracota	mate	x	
			T11	terracota	natural	x	
	Francesa		T3	terracota	esmaltada		x
			T2	terracota	natural		x
			T14	gris	natural	x	

Figura 4. Clasificación y caracterización de las tipologías de tejas disponibles en el mercado para el AMM, Argentina

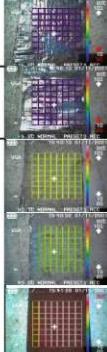
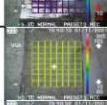
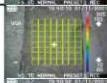
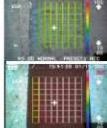
Materiales	Forma	Imagen	Color	Acabado
Membranas	Cuadro grande		M5	aluminio
	Cuadro chico		M4	aluminio
	Lisa		M1	blanco
			M2	blanco pintura "Tersuave"
			M3	terracota pintura "Tersuave"

Figura 5. Clasificación y caracterización de las tipologías de membranas evaluadas disponibles en el mercado en el AMM.

Pavimentos peatonales:

- Forma y sub-forma: (*recto* -cuadrado, dos panes, vainilla, diagonal-; *circular* -araña, abanico, andalucía-; *liso* - *mosaico*, *estrella*, *canto rodado*-;
- Color: (gris, amarillo, rojo, negro, gris multicolor, rojo multicolor, negro con multicolor, negro murcia, bordeau alicante, verde jade, negro con chispas crema, travertino, multicolor);
- Acabado: (pulido, prensado rústico, lavado texturado);
- Composición (cementicias, cemento-calcáreas, cemento-pétreas, graníticas). En la figura 6 se muestra un trozo de la tabla de caracterización usada para el caso de los pavimentos evaluados.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el caso del comportamiento térmico de los pavimentos peatonales la figura N° 7 muestra comparativamente las temperaturas promedio alcanzadas por cada uno de los materiales evaluados. De la observación de la curva vemos que la temperatura superficial promedio oscila entre los 44°C para el material más fresco que corresponde al granito liso mosaico pulido y los 61 °C para el más calido que corresponde al tipo cementicio pétreo negro murcia pulido (ver en la figura N° 8 la imagen y la curva térmica de ambos materiales en la misma se observa que las máximas temperaturas alcanzadas por el pavimento más frío ronda alrededor de los 52°C y 76 °C para el material más caliente.

Materiales	Forma	Imagen	Nº	Color	Proceso - acabado	Composición Base			
						Cementicias	Cement- calcáreas	Cement- pétreas	Graníticas
Pisos	Recto		P30	gris con multicolor	pulido			x	
			P24	bordeaux alicante	pulido			x	
			P32	verde jade	pulido			x	
			P33	negro 10 x10	prensado - rústico	x			
			P20	gris	prensado - rústico	x			
			P28	rojo con multicolor	pulido			x	
			P22	negro con chispas crema	pulido			x	
			P12	negro murcia	pulido			x	
			P7	negro	prensado - rústico	x			

Figura 6. Clasificación y caracterización de las tipologías de pavimentos peatonales evaluados disponibles en el mercado para el AMM, Argentina

La diferencia entre la temperatura superficial promedio de los materiales y la temperatura promedio del aire durante el periodo evaluado oscila entre los 9°C para el material más fresco y los 27 °C para el más caliente, esta diferencia es una medida del potencial de transferencia de calor por convección que cada una de las superficies ofrece, del mismo modo la medida de su temperatura superficial muestra en cierta medida su potencial de transferencia radiativa, siempre y cuando no trabajemos con materiales selectivos calientes.

Para el caso de los pavimentos peatonales de mayor difusión, vemos que la baldosa calcárea roja que representa alrededor del 34% del pavimento peatonal presente en la ciudad; presenta una temperatura promedio de 56 °C, con máximas de 68 °C y diferencias promedio con la temperatura del aire de 22 °C. El canto rodado gris (alrededor del 18%); presenta una temperatura promedio de 55 °C, con máximas de 71°C y diferencias promedio con la temperatura del aire de 21 °C. La baldosa calcárea amarilla (alrededor del 18%); presenta una temperatura promedio de 56 °C, con máximas de 67 °C y diferencias promedio con la temperatura del aire de 22 °C. Finalmente, La baldosa calcárea negra (alrededor del 13%); presenta una temperatura promedio de 61 °C, con máximas de 73 °C y diferencias promedio con la temperatura del aire de 27 °C.

Respecto del color si tomamos una misma forma y composición por ejemplo: Piso cementicio-pétreo recto cuadrado pulido y dejamos como variable el color vemos que el Gris con multicolor tiene una Temp. Promedio = 55 °C, el Bordeau alicante: Temp. Promedio = 56 °C, el Verde jade: Temp. Promedio = 58 °C y el Rojo con multicolor: Temp. Promedio = 58 °C. Podemos afirmar que en su tipo, el piso cementicio-pétreo recto cuadrado pulido rojo con multicolor es el color que mas eleva su temperatura.

En comparación al comportamiento verde jade su comportamiento es muy similar. Pero en cambio con el gris multicolor su temperatura es 3 °C mayor, y con respecto al Bordeau alicante la diferencia es igual a 2°C.

En algunos casos las diferencias son más notorias, por ejemplo: El piso cementicio recto cuadrado prensado-rústico gris se comporta térmicamente mejor que el negro. Su diferencia es de 4 °C –mayor en piso negro10x10, de 6 °C. Entre las alternativas de piso negro el piso que posee cuadros 10x10, se comporta mejor que el simil piedra.

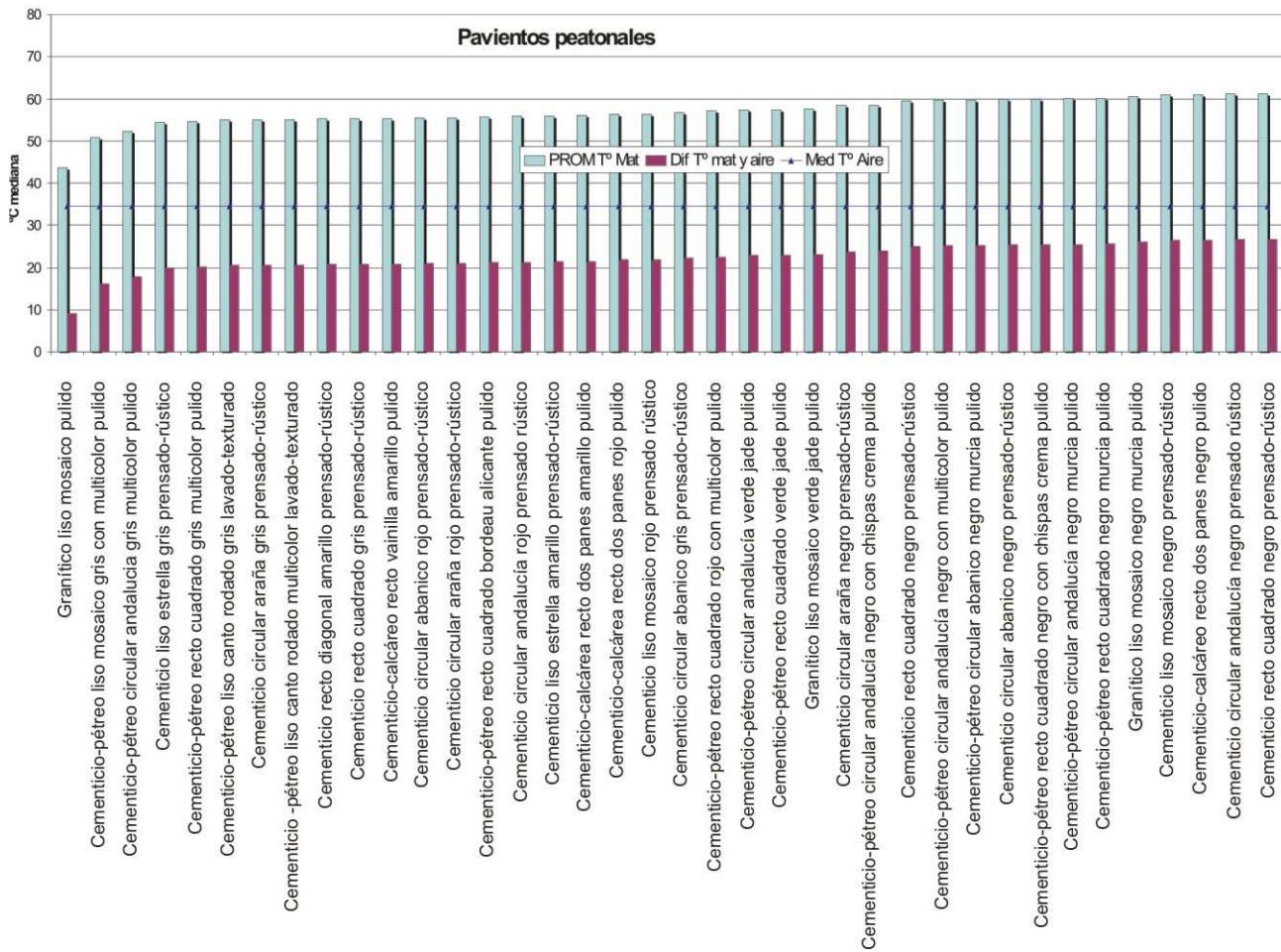
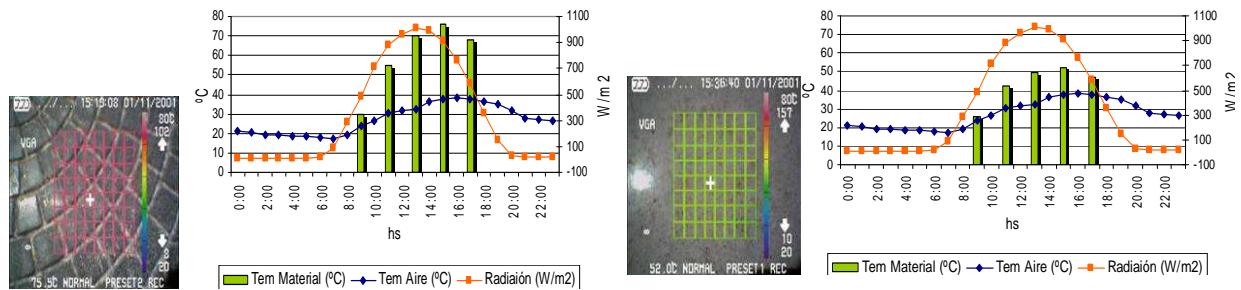


Figura 7. Temperaturas superficiales promedio de los pavimentos evaluados. Diferencia promedio entre la temperatura superficial y la temperatura del aire



Máxima °T. Cementicio pétreo, abanico, negro pulido

Mínima °T. Granito liso mosaico travertino pulido

Figura N 8. Comportamiento térmico del pavimento peatonal con mayor y menor temperatura superficial

Para el caso de las tejas evaluadas, la figura N°9 muestra las temperaturas superficiales promedio alcanzadas por las tejas evaluadas, se observa que la teja de menor temperatura superficial promedio alcanza los 48 °C (teja tipo cerámica colonial color terracota acabado natural) y 61 °C para la que presenta mayor temperatura superficial promedio (teja tipo cementicia negro mate). En lo referente a la diferencia respecto de la temperatura del aire; el material más fresco muestra una diferencia promedio de 13 °C mientras que para la teja de mayor temperatura esta diferencia supera los 26°C. (ver figura 9)

La figura N°10 muestra para ambos materiales la evolución de la curva de temperaturas cuyas máximas alcanzan los 59 °C para el caso de la teja que presenta menor temperatura superficial

promedio y 70 °C para la que presenta mayor temperatura superficial promedio, además se observa que las máximas nunca superan los 72 °C.

De acuerdo a su clasificación por forma las tejas coloniales de distintos colores y acabados alcanzan temperaturas entre los 48 y 56 °C, mientras que la francesa se mueve entre los 48 y 61 °C y las romanas entre 49 y 52 °C. Por ejemplo la teja francesa negro mate cementicia eleva su temperatura 5.5 °C más que la misma teja colonial. Es decir que para éste caso, se recomienda el uso de tejas colonial. La teja cerámica terracota natural romana eleva su temperatura 1,5 °C , sobre la teja francesa y en comparación con la colonial se eleva 4 °C . Es decir, que la teja romana alcanza valores mayores de temperatura en relación a las demás opciones con iguales características de composición, color y acabado.

Desde el punto de vista de la composición está claro que las tejas cerámicas muestran mejor desempeño térmico que las cementicias por ejemplo: La teja colonial terracota cerámica se comporta mejor que la cementicia. La diferencia de temperaturas entre ambas opciones supera los 8°C. Es decir que se recomienda el uso de tejas cerámicas. Respecto de los acabados las diferencias en el comportamiento son menos significativas sin embargo encontramos por ejemplo: La teja colonial terracota cementicia natural eleva su temperatura 2 °C por sobre la mate. Por lo tanto es recomendable el uso de acabado mate. La teja francesa terracota cerámica natural eleva su temperatura 2 °C sobre la teja esmaltada. Por lo tanto el comportamiento de la teja esmaltada es mejor. Cabe aclarar que el tratamiento superficial de esmaltado se va perdiendo con el paso del tiempo, hasta llegar a igualarse a una teja sin ningún tratamiento, como es el caso de la natural.

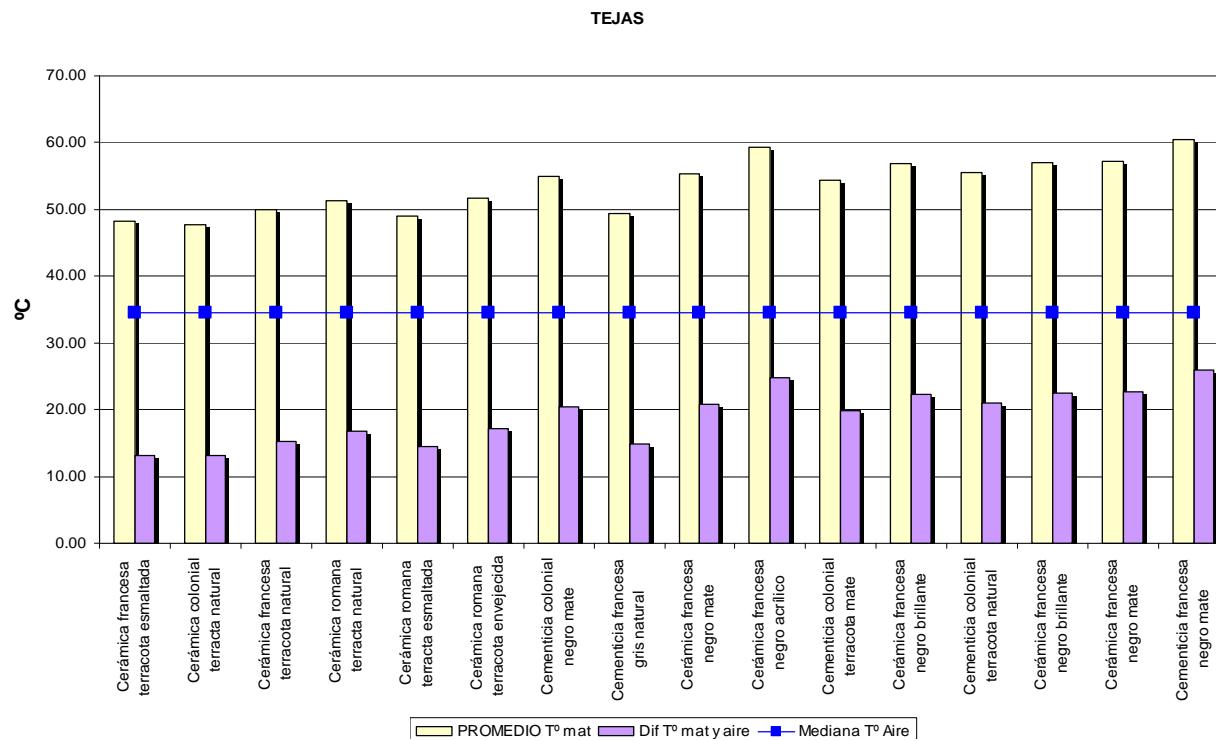
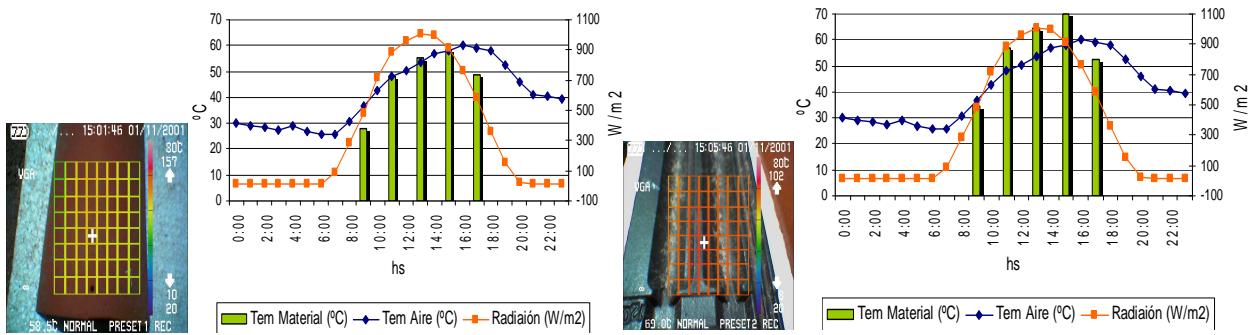


Figura N 9. Temperaturas superficiales promedio de las tejas evaluadas. Diferencia promedio entre la temperatura superficial y la temperatura del aire

Respecto del color, siempre las tejas negras presentan una temperatura superficial superior, sin embargo las diferencias en algunos casos no son tan notorias como era de esperarse, por ejemplo: teja colonial mate cementicia negra tiene un comportamiento muy similar a la terracota, su diferencia de temperatura no supera el 1 °C. Esto se debe a que ambos colores son oscuros. La diferencia que presentan es que la teja negra eleva su temperatura más rápidamente hasta que a las 15.00hs ambas se igualan y alcanzan su máxima temperatura.



Mínima °T. Teja colonial terracota natural brillante negro mate

Máxima °T. Teja cementicia brillante negro mate

Figura 10. Comportamiento térmico de la teja con mayor y menor temperatura superficial promedio

Para el caso de las membranas evaluadas el mejor comportamiento lo muestra la membrana aluminizada con entretejido de cuadros grandes, cuya temperatura no supera los 20 °C, es decir se comporta como un selectivo frío y en el otro extremo la membrana aluminizada lisa pintada color terracota (acabado impermeabilizante) alcanza una temperatura superficial media de 72 °C.

5 CONCLUSIONES

Si tomamos en cuenta que dentro de un espacio urbano tipo, los pavimentos representan el 40% del área cubierta y los techos el 22 % de la misma, podemos de los resultados obtenidos inferir el enorme impacto que una selección apropiada de los materiales representa en torno a la disminución de las temperaturas urbanas. Los resultados señalan además que sin grandes cambios en la resolución estética del techo o el pavimento, solo con la modificación de material que lo compone o con el acabado o la forma de un determinado material y color podemos reducir las temperaturas superficiales entre 3 y 7 °C, más aún las diferencias entre la mejor y la peor alternativa representa una disminución de 13 °C en la temperatura superficial media del techo y una disminución de hasta 17 °C en la temperatura superficial media del pavimento. Estos resultados si bien de carácter preliminar avalan la importancia de catalogar térmicamente los materiales disponibles regionalmente para la resolución de las envolventes a modo de transferir esta información a los responsables del desarrollo del hábitat en nuestra región.

6 REFERENCIAS

- Akbari H., Davis S., Dorsano S. Huang J. And Winert S., 1992. Cooling our Communities- US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
- Akbari, H., Bretz, S., Kurn, D.M., Hanford, J., 1997. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. Energy Build. 25, 117–126.
- ASHRAE, 1989. *Handbook Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
- ASTM Standard E 1933-99a; Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers; Copyright June 26, 2006
- Bretz, S.E., Akbari, H., 1997. Long-term performance of highalbedo roof coatings. Energy Build. 25, 159–167.
- CEPAL América Latina: Proyecciones de Población urbano – rural 1970 – 2025. Boletín Demográfico nº 63, enero/ 1999
- Correa, E.N , 2006. Tesis Doctoral. Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.
- Doulos, M. Santamouris, I. Livada Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Solar Energy 77 (2004) 231–249
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2^a Edición. Wiley-Interscience, New York.
- Solà-Morales Rubio, Ignasi Llorente Díaz, Marta Oliveras Samitier, Jordi Muntaner Martorell, Josep M. Ramon Graells, Antoni Rodríguez Pedret, Carme. "Introducción a la arquitectura. Conceptos fundamentales". Octubre, 2000 Ediciones UPC
- Synnefa , M. Santamouris, I. Livada, 2005. A study of the thermal performance of reective coatings for the urban environment. Solar Energy 80. 968–981.
- Worldwatch Institute, 2007. "State of the word. Our Urban Future". A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society.