

POTENCIAL DE ENFRIAMIENTO PASIVO DE LOS MATERIALES DE LA ENVOLVENTE URBANA. ÍNDICE DE REFLECTANCIA SOLAR DE PAVIMENTOS PEATONALES Y TEJAS.

N. Alchapar¹, E. Correa², G. Lesino²

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda –INCIHUSA-CCT Mendoza-CONICET

Av. Ruiz Leal S/N. Parque Gral. San Martín. C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza .Tel. 0261-5244322 – Fax 0261-4287370

e-mail: nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: Las superficies selladas en el área urbana representan un enorme impacto en torno al aumento de las temperaturas, propiciando la formación de la isla de calor. En un espacio urbano tipo, donde los pavimentos constituyen el 40% y los techos el 22 % del área cubierta, mitigar los efectos negativos de la urbanización sobre los recursos energéticos y ambientales de las ciudades es uno de los desafíos que afronta la actual generación de científicos y profesionales.

Las cubiertas y pisos son las superficies opacas horizontales más expuestas, y por lo tanto, son los que absorben la mayor carga térmica de una estructura edilicia. El objetivo general de este trabajo es categorizar los distintos materiales presentes en la envolvente de acuerdo a su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas. Esta categorización se ha llevado a cabo mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980.

Se clasificaron 38 tipos de pavimento peatonales y 16 tipos de tejas de mayor difusión en el mercado local. Los resultados demuestran que una superficie con alta reflectancia solar y emitancia infrarroja que está expuesto a la radiación solar tendrá un mayor valor de SRI, y por lo tanto mayor eficiencia para mitigar los efectos negativos ICU, en comparación con una superficie similar con un menor albedo y emisividad. Es decir que es posible mejorar el desempeño térmico de la envolvente mediante la selección adecuada de la forma, color, composición y acabado de los materiales.

Palabras clave: índice de reflectancia solar, envolventes urbanas, isla de calor.

INTRODUCCIÓN

La isla de calor urbano, es al resultado de la disipación de los elementos verdes y de la prevalencia de materialidad oscura en la ciudad. Las islas de calor urbano alteran las condiciones de confort de los ocupantes y puede agravar enfermedades relacionadas con las olas de calor. Las altas temperaturas también aceleran la formación de smog y aumentan la demanda de aire acondicionado en el período estival. Este aumento en los consumos de aire acondicionado perjudica desde el punto de vista económico y ambiental, provocando caídas de tensión o apagones por esfuerzo de la red eléctrica. (<<http://eetd.lbl.gov/coolroofs/>>)

Es bien conocida la crisis energético-ambiental que afecta nuestro planeta como consecuencia de la forma irresponsable en que se han utilizado los recursos naturales durante el último siglo. Dentro de este contexto, las ciudades son responsables de absorber tres cuartas partes de los recursos mundiales y su mantenimiento y construcción representa un 33% de la energía consumida y el 50% de los residuos generados (Girardet, 2001). Es por ello que la optimización del uso de los recursos en el ámbito de las mismas representa un objetivo de considerable impacto.

Si bien la energía usada en la edificación es función del clima y del uso previsto, también lo es de las características arquitectónicas de la ciudad, la cual a su vez modifica el clima local, generando un microclima. Particularmente el Gran Mendoza, presenta un efecto de isla de calor cuyas máximas alcanzan los 10 °C, tanto en invierno como en verano, con un valor medio de 6°C a lo largo de todo el año. (Correa E. N., De Rosa C, Lesino G; 2007).

Específicamente en nuestro país durante el periodo 2005-2009, la venta de equipos de aire acondicionado creció 100 % respecto del verano 2005 (INDEC, 2010). Tendencia que acompaña el aumento en la facturación energética eléctrica residencial. El sector residencial tiende a igualar sus consumos con los principales usuarios eléctricos: el sector industrial. (Fig. 1).

¹ Becaria CONICET

² Investigadora CONICET

El incremento en el consumo de energía asociado al endurecimiento de las condiciones climáticas a -escala macro-causadas por el cambio climático y a -escala micro- causadas por los efectos de la urbanización, pone de manifiesto la importancia de conocer cuál es el potencial de las propiedades ópticas de la materialidad de la envolvente urbana como herramienta de enfriamiento en el área Metropolitana de Mendoza.

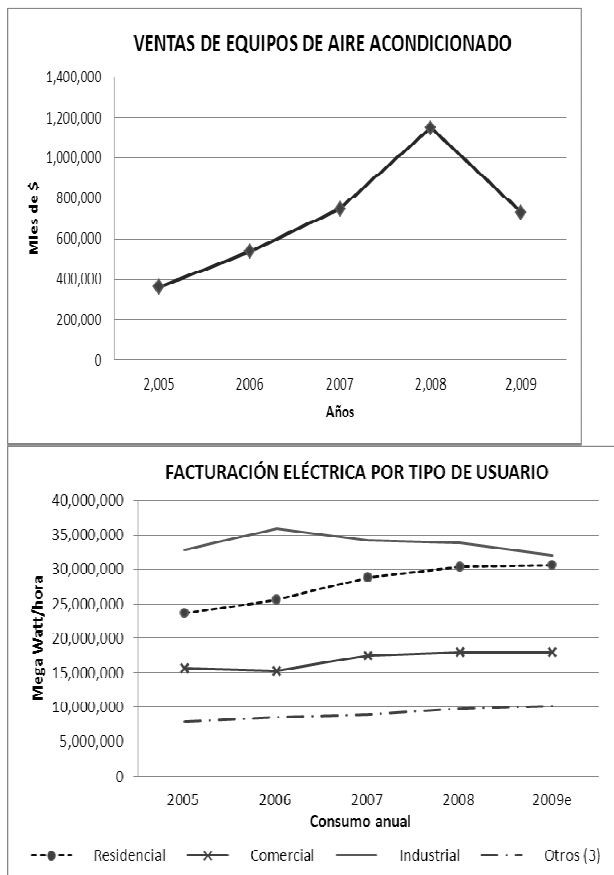


Figura 1: Venta de equipos de aire acondicionado y facturación energética por tipo de usuario a nivel nacional, durante el período 2005-2009.³

Los materiales utilizados en la envolvente edilicia y estructura urbana desempeñan un papel muy importante en el balance térmico de una ciudad. Ellos absorben la radiación solar e infrarroja y disipan parte del calor acumulado a través de procesos de convección y radiación hacia la atmósfera, aumentando la temperatura ambiente. (Santamouris M. et al., 2011). El rendimiento térmico de los materiales está determinado principalmente por sus características ópticas y térmicas. El albedo y emisividad térmica, son los factores más importantes. (Doulos M., Santamouris M., Livada I.; 2004).

El trabajo que aquí se presenta clasifica un conjunto de materiales (tejas - pavimentos peatonales), usados en las envolventes de la ciudad de Mendoza, Argentina, de acuerdo al método descrito por la norma ASTM E1980-11. Se calcula el Índice de Reflectancia Solar (SRI) de los materiales seleccionados basado en la medida de su reflectividad solar, su emisividad térmica y su temperatura superficial. De este modo, además, es posible comparar internacionalmente los resultados del funcionamiento de los materiales utilizados a nivel local y regional, y al mismo tiempo generar conocimiento en torno a la estandarización de los materiales regionales sentando las bases para propiciar una futura certificación energética tanto a nivel urbano como edilicio.

METODOLOGÍA

Selección y clasificación de materiales

A partir del relevamiento de la materialidad de las envolventes horizontales del área metropolitana mendocina se detectaron con mayor frecuencia 9 tipos de revestimientos peatonales. En donde más del 80% del total está compuesto, en primer lugar, por baldosas calcáreas: roja (30%), amarilla (25%), negra (13%), gris (9%). En segundo lugar el revestimiento de canto rodado: color gris (18%). Luego se encuentran en un porcentaje menor los graníticos pétreos negros y de tonalidades rojizas.

³Otros, incluye los siguientes usuarios: obras sanitarias, alumbrado público, tracción eléctrica, riego agrícola, oficial, consumo de distribuidores y electrificación rural.

Fuente: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Energía.

Con respecto a las cubiertas, se evidencia el uso predominante de las tejas cerámica coloniales y francesas por sobre las cementicias, en especial en color terracota y en menor medida negro.

Resulta importante destacar que las nuevas tendencias de diseño arquitectónico y urbano, evidencian preferencias por la selección de tonalidades oscuras, tanto en pavimentos como en cubiertas; donde las tejas cementicias negras son la tendencia actual.

El muestrario de materiales del parque edilicio local, se compone por: 16 revestimientos para cubiertas (tejas) y 38 pavimentos peatonales. Los mismos fueron colocados sobre una superficie horizontal de 7cm de espesor de poliestireno expandido, que actúa de límite adiabático respecto de la conductividad del material hacia la tierra, dentro de un predio del Centro Científico y Tecnológico de Mendoza.

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

- Pavimentos peatonales: de acuerdo a su 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); y composición (cementicias, cemento-calceas, cemento-pétreas, graníticas).
- Tejas: según su forma (colonial, francesa, romana); color: (terracota, gris, negro); acabado: (natural, mate, esmaltada, acrílico, brillante bicocción, brillante monococción, envejecida); y composición (cementicias, cerámicas).

Instrumentación y descripción de la experiencia

Luego de período de ensayos durante la época estival del año 2010 y 2011, se obtuvieron los registros de albedo, emisividad y temperatura superficial correspondiente a las 13:00hs utilizados para calcular el SRI de acuerdo a lo establecido por la norma de referencia en la que se sustenta la investigación. El valor máximo de radiación solar registrado corresponde a 1006 W/m², con una temperatura media de aire 35.3°C; y Humedad Relativa del 23.4%. Con velocidades de viento máximas cercanas a los 2 m/s.

La cámara IR Fluke Ti 55 detecta la radiación infrarroja de onda larga en el rango de 7.5 a 14 micras dentro del espectro electromagnético. Con este instrumento se obtuvieron imágenes térmicas que registran el calor radiante de cada material. En las fotografías termográficas cada píxel contiene un valor de temperatura determinado. El software Smart-View 2.1, a través de algoritmos, asigna un color específico que corresponde a un valor de temperatura en las coordenada x-y de la imagen. La energía radiante registrada por la cámara infrarroja no sólo es función de la temperatura del objeto, sino que también de su emisividad. La misma fue seteada previamente de acuerdo al valor medido para cada material in situ. (Fig. 2)

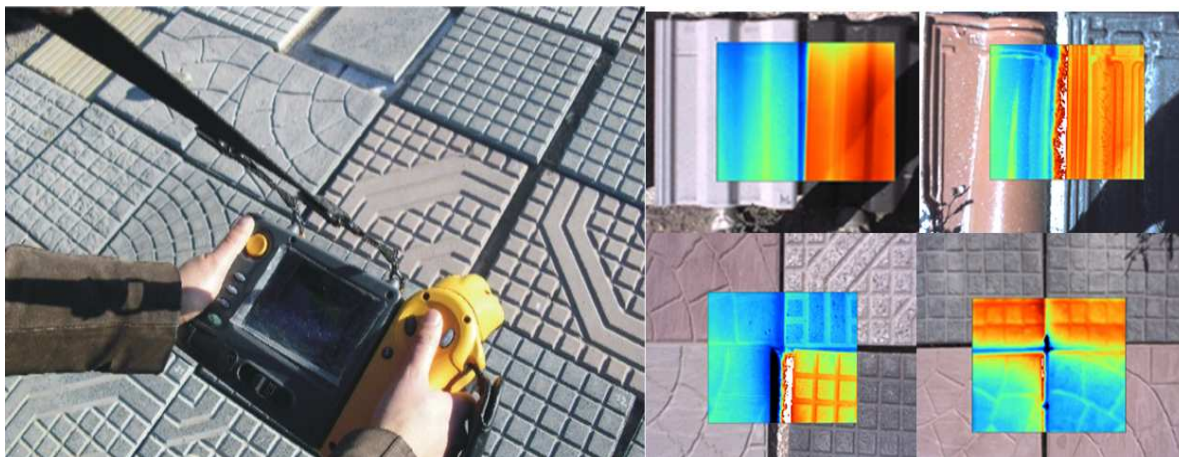


Figura 2: Evaluación térmica de materiales en el predio y ejemplos de las imágenes registradas por la cámara IR.

Para el cálculo de emisividad (ϵ) se empleó un sensor de temperatura de termocupla tipo T asociado a un data logger hobbo U12, el mismo fue programado en registros de medición de temperatura superficial en intervalos de 2 segundos. El valor del flujo radiante emitido por el material es comparado con el dato que registra 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 determinar el valor del albedo ($\hat{\alpha}$), se utilizó un albedómetro tipo Kipp&Zonen C3. Éste instrumento registra la radiación solar recibida sobre superficie horizontal y la radiación solar reflejada, de éste modo se determina por diferencia, el albedo de cada revestimiento.

La conductividad térmica de cada material se ha despreciado, ya que sus espesores son semejantes y además se trabaja con límite adiabático respecto de la conductividad a tierra (superficie de poliestireno expandido).

El Rol de los Materiales Fríos

Si un material frío se aplica en una envolvente edilicia, esto se traduce en una disminución de las cargas de calor que penetran hacia el interior del edificio y al entorno urbano. Por lo tanto, éstos materiales contribuyen con la reducción de la temperatura ambiente, ya que la intensidad convectiva de calor desde una superficie más fría es más bajo. En el gráfico se indican los principios básicos de comportamiento térmico de un material frío. (Fig. 3).

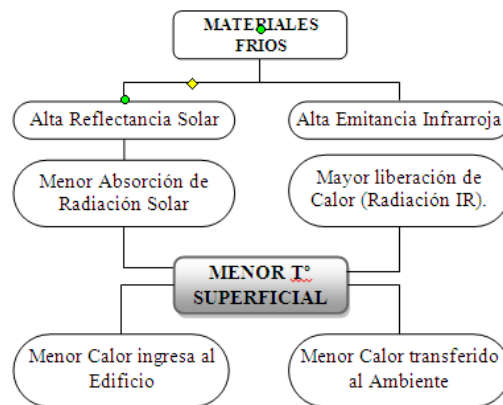


Figura 3: Principios básicos de materiales fríos. (Santamouris, M. et al., 2011).

Cálculo de Índice de Reflectividad Solar (SRI)

El Índice de Reflectividad Solar se obtiene bajo la norma ASTM E1980. Éste es un indicador que incorpora la reflectancia y la emitancia en un único término que representa la temperatura de una superficial horizontal, o de baja pendiente ($< 9.5^\circ$), de una material opaco expuesto al sol. Permitiendo una comparación directa entre superficies con diferentes propiedades ópticas (albedo y emisividad). (ASTM Standard 2011). Se calcula utilizando ecuaciones basadas en datos previamente definidos y medidos de reflectancia y emitancia solar, y se expresa como un valor (0,0 a 1,0) o como porcentaje (0% a 100%).

El Índice de Reflectancia Solar (SRI) estima la capacidad de una superficie de reflejar la radiación recibida. Se define mediante el cálculo de una superficie estándar o patrón negra (T_b) con una reflectancia de 0.05 y una emitancia 0.90, cuyo valor de SRI es igual a 0%; y una superficie patrón blanca equivalente a 100% de SRI, con una reflectancia 0.80 y una emitancia 0,90.

Para una superficie expuesta al sol y aislada por debajo, la temperatura superficial de equilibrio T_s se obtiene a partir de (ASTM E1980-11):

$$\alpha = \text{absortancia solar} = 1 - \text{reflectancia solar.}$$

$$I = \text{radaición solar (Wm}^{-2}\text{).}$$

$$\varepsilon = \text{emisividad térmica.}$$

$$\sigma = \text{constante de Stefan Boltzmann (Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{).}$$

$$T_s = \text{temperatura superficial estado estacionario (K).}$$

$$T_{sky} = \text{temperatura de cielo (K).}$$

$$h_c = \text{coeficiente convectivo (Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{).}$$

$$T_a = \text{temperatura de aire (K).}$$

$$T_b = \text{temperatura superficial de patrón negra (K).}$$

$$T_w = \text{temperatura superficial de patrón blanca (K).}$$

$$(1) \quad T_s = 309.07 + \frac{(1066.07 \alpha - 31.98\varepsilon)}{(6.78\varepsilon + h_c)} - \frac{(890.94\alpha^2 + 2153.8\alpha\varepsilon)}{(6.78\varepsilon + h_c)^2}$$

El índice de Reflectividad Solar se define como:

$$(2) \quad SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w}$$

Cálculo de Patrones ($T_b - T_w$)

Las temperaturas superficiales de los patrones se obtuvieron mediante el uso de la ecuación 1, bajo condiciones ambientales locales. El patrón negro (T_b) alcanza una temperatura superficial de 87.3°C , y la temperatura del patrón blanco (T_w) equivale a 37.4°C .

RESULTADOS

Comportamiento térmico y el SRI de Materiales.

Luego de obtener los valores de temperatura superficial de los patrones, se determinaron los índices de reflectividad solar (SRI) de las muestras relevadas (revestimientos peatonales y tejas). Los datos se calcularon mediante el uso de la ecuación 2. (Tabla 1-2).

REV. PEATONALES		\hat{a}	ϵ	Ts (°C)	SRI	REV. PEATONAL		\hat{a}	ϵ	Ts (°C)	SRI
P01	Cementicio circular abanico gris prensado-rústico	0.45	0.90	66.9	40.9	P20	Cementicio recto cuadrado gris prensado-rustico	0.49	0.90	64.3	46.1
P02	Cementicio circular araña negro prensado-rustico	0.41	0.95	68.7	37.3	P21	Cementicio-pétreo circular andalucía verde jade pulido	0.43	0.95	67.3	40.1
P03	Cementicio circular andalucía rojo prensado-rústico	0.46	0.95	65.4	43.9	P22	Cementicio-pétreo recto cuadrado negro con chispas crema pulido	0.38	0.95	70.0	34.6
P04	Cementicio circular abanico rojo prensado-rústico	0.49	0.90	64.8	45.1	P23	Cementicio-pétreo circular andalucía negro murcia pulido	0.39	0.90	70.6	33.4
P05	Cementicio circular abanico negro prensado-rústico	0.38	0.95	70.2	34.2	P24	Cementicio-pétreo recto cuadrado bordeaux alicante pulido	0.48	0.90	65.1	44.5
P06	Cementicio-pétreo liso canto rodado gris lavado-texturado	0.49	0.90	64.8	45.1	P25	Cementicio-pétreo liso mosaico gris con multicolor pulido	0.59	0.85	59.4	55.9
P07	Cementicio recto cuadrado negro prensado-rústico	0.34	0.95	72.5	29.6	P26	Cementicio-pétreo circular andalucía negro con multicolor pulido	0.39	0.90	70.3	34.0
P08	Cementicio circular araña gris prensado-rústico	0.48	0.90	65.0	44.7	P27	Cementicio circular andalucía negro prensado-rústico	0.33	0.98	72.5	29.6
P09	Cementicio circular araña rojo prensado-rustico	0.47	0.90	65.9	42.9	P28	Cementicio-pétreo recto cuadrado rojo con multicolor pulido	0.46	0.90	66.4	41.9
P10	Cementicio-pétreo circular abanico negro murcia pulido	0.38	0.95	70.2	34.2	P29	Granítico liso mosaico negro murcia pulido	0.36	0.90	72.1	30.4
P11	Cementicio-pétreo circular andalucía negro con chispas crema pulido	0.39	0.90	70.5	33.6	P30	Cementicio-pétreo recto cuadrado gris multicolor pulido	0.50	0.90	64.0	46.7
P12	Cementicio-pétreo recto cuadrado negro murcia pulido	0.37	0.95	70.9	32.8	P31	Granítico liso mosaico verde jade pulido	0.43	0.90	68.0	38.7
P13	Cementicio-pétreo circular andalucía gris multicolor pulido	0.56	0.85	61.3	52.1	P32	Cementicio-pétreo recto cuadrado verde jade pulido	0.36	0.90	72.3	30.0
P14	Cementicio recto diagonal amarillo prensado-rústico	0.47	0.90	65.6	43.5	P33	Cementicio recto cuadrado negro prensado-rustico	0.35	0.95	71.6	31.4
P15	Cementicio liso mosaico rojo prensado-rústico	0.45	0.95	66.2	42.3	P34	Granítico liso mosaico travertino pulido	0.75	0.80	49.7	75.4
P16	Cementicio-pétreo liso canto rodado multicolor lavado-texturado	0.48	0.90	65.3	44.1	P35	Cementicio-calcareo recto dos panes negro pulido	0.33	0.95	73.3	28.0
P17	Cementicio liso estrella amarillo prensa-rústico	0.46	0.90	66.1	42.5	P36	Cementicio-calcareo recto dos panes rojo pulido	0.45	0.90	66.8	41.1
P18	Cementicio liso estrella gris prensado-rústico	0.51	0.90	63.3	48.1	P37	Cementicio-calcareo recto dos panes amarillo pulido	0.46	0.90	66.2	42.3
P19	Cementicio liso mosaico negro prensado-rústico	0.35	0.95	71.9	30.8	P38	Cementicio-calcareo recto vainilla amarillo pulido	0.46	0.90	66.1	42.5

Tabla 1: Enumeración de los pavimentos estudiados con sus respectivos códigos asignados, temperaturas superficiales (Ts) en grados Celsius, albedo (\hat{a}), emisividad (ϵ), e Índice de Reflectancia Solar (SRI) en porcentajes.

TEJAS		\hat{a}	ϵ	Ts (°C)	SRI	TEJAS		\hat{a}	ϵ	Ts (°C)	SRI
T01	Cerámica Colonial terracota natural	0.64	0.90	55.4	63.9	T09	Cerámica Romana terracota natural	0.58	0.90	59.0	56.7
T02	Cerámica Francesa terracota natural	0.60	0.90	58.0	58.7	T10	Cerámica Romana terracota envejecida	0.58	0.94	58.7	57.3
T03	Cerámica Francesa terracota esmaltada	0.64	0.90	55.4	63.9	T11	Cementicia Colonial terracota natural	0.50	0.95	63.3	48.1
T04	Cerámica Francesa negra brillante bicocción	0.50	0.95	63.2	48.3	T12	Cementicia Francesa negro mate	0.44	0.95	66.8	41.1
T05	Cerámica Francesa negra brillante monococción	0.48	0.98	64.1	46.5	T13	Cementicia Francesa negra acrílica	0.40	0.95	68.8	37.1
T06	Cerámica Francesa negra mate	0.49	0.98	63.5	47.7	T14	Cementicia Francesa gris natural	0.63	0.90	55.8	63.1
T07	Cerámica Francesa negra mate	0.48	0.95	64.3	46.1	T15	Cementicia Colonial negra mate	0.53	0.95	61.1	52.5
T08	Cerámica Romana terracota esmaltada	0.67	0.85	53.8	67.2	T16	Cementicia Colonial terracota mate	0.57	0.95	59.0	56.7

Tabla 2: Enumeración de las tejas estudiadas con sus respectivos códigos asignados, temperaturas superficiales (Ts) en grados Celsius, albedo (\hat{a}), emisividad (ϵ), e Índice de Reflectancia Solar (SRI) en porcentajes.

SRI de Casos Extremos.

Del total de los revestimientos peatonales estudiados, el material que favorece en mayor medida la mitigación de la Isla de calor Urbana es el Granítico liso mosaico travertino pulido -P34- con una temperatura superficial de 49.7°C y un SRI igual a 75.40%; en segundo y tercer lugar se ubican el Cementicio-pétreo liso mosaico gris multicolor pulido -P25- y el Cementicio-pétreo circular andalucía gris multicolor pulido -P13. Es decir, que el circular eleva 1.9 °C más que el piso de la misma tonalidad pero de forma lisa, con una diferencia de reflectancia superior al 18%.

Los pavimentos que menos contribuyen en la reducción de las cargas térmicas de la ciudad son en orden ascendente: el Cementicio-calcáreo recto dos panes negro pulido -P35- con una temperatura superficial de 73.3°C y un SRI de 28%; luego se encuentra el Cementicio recto cuadrado negro prensado-rústico -P07-; y el Cementicio circular andalucía negro prensado-rústico -P27 con idéntico comportamiento. En estos últimos revestimientos la diferencia se encuentra en sus propiedades ópticas: el -P07- posee un albedo de 0.34 y una emisividad de 0.95, en cambio, en el -P27- el albedo es 0.33 y la emisividad de 0.98.

En adición, en los dos casos extremos analizados -P35-P34-, el pavimento granítico travertino -P34-, posee 47.4% más de capacidad para mitigar los efectos de la Isla de calor que el cementicio-calcáreo negro -P35-. Su diferencia térmica es de 23.06°C. El mayor nivel de reflectividad es alcanzado por la opción más fría -P34- con un albedo de 0.75. (Fig.4).

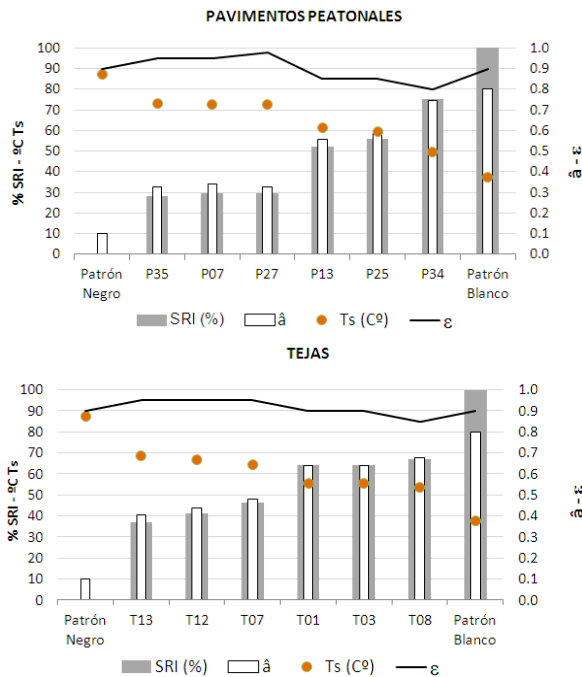


Figura 4-5: Índice de Reflectividad Solar de Pavimentos Peatonales y Tejas. (Se graficaron solo los tres materiales que poseen mayor y menor habilidad para disminuir la ICU).

En el caso de los materiales para cubierta, se detectan tres tipos de tejas con mayores capacidades para disminuir las cargas de calentamiento, ellas son: la teja Cerámica Romana terracota esmaltada -T08- con una temperatura superficial de 53.8°C y SRI igual a 67.2%; en segundo y tercer lugar se encuentra la teja Cerámica Francesa terracota esmaltada -T03-, y la Cerámica Colonial terracota natural -T01.

Los revestimientos de cubierta que contribuyen a la formación ICU son: la teja la Cementicia Francesa negra acrílica -T13- con una temperatura superficial de 68.8°C y SRI de 37.1%; la Cementicia Colonial terracota mate -T12-; y por último la teja Cerámica Francesa negra mate. (Fig.5)

Entre los casos extremos, la teja cerámica romana terracota esmaltada -T08-y la cementicia colonial terracota mate -T13-, se evidencia una diferencia de temperatura superficial que alcanza los 15°C, con 30.1 % más de reflectividad solar para la teja romana. La teja más fría -T08-, se caracteriza por 0.67 de albedo y una emisividad de 0.85.

SRI de materiales relevados en la ciudad.

En figura 6-7 se grafican los comportamientos térmicos y características ópticas de los materiales (pisos-tejas) detectados con mayor frecuencia en el área metropolitana provincial, estableciendo el valor de SRI para cada caso. En comparación a alternativas estudiadas que muestren un comportamiento más eficiente en torno a disminuir las cargas de calor dentro de la ciudad.

Entre los pavimentos peatonales de mayor difusión, la baldosa que representa el 30% del pavimentos presente en la ciudad, es la calcárea roja -P36. Ésta baldosa alcanza una temperatura superficial de 66.8 °C, con un índice de reflectividad igual a 41.1%. Su albedo es de 0.45 y la emisividad de 0.980. En segundo lugar, se ubican las calcáreas amarillas (presentes dentro de la ciudad en un 25%), son los revestimientos calcáreos que consiguen un comportamiento más eficiente. En sus dos formas: dos panes -P37- y vainilla -P38-, poseen temperaturas de 62.2° y 61.1° respectivamente, con un índice solar de 42% en ambos casos; y α=0.46.

La temperatura superficial del canto rodado gris -P06- es de 64.8 °C, con un albedo de 0.49 y un SRI de 45.1%; está presente en el área metropolitana mendocina un 18%. Finalmente, con 13% de frecuencia, se relevó la baldosa calcárea negra -P35-, con un índice de 28%, albedo de 0.33 y emisividad 0.95. Alcanzando un valor térmico superior a los 73°C.

Entre los pavimentos estudiados las alternativas con mayor capacidad para mitigar las cargas de calor, son: el Granítico liso mosaico travertino pulido -P34-, el Cementicio-pétreo liso mosaico gris con multicolor pulido -P25-, el Cementicio-pétreo circular andalucía gris multicolor pulido -P13-, y el Cementicio lis o estrella gris prensado-rústico -P18. Los mismos, poseen porcentajes de reflectividad solar superiores al 48%. (Fig.6).

Las tejas detectadas con mayor frecuencia en el área urbana de Mendoza son las cerámicas terracota francesa esmaltada -T03-y colonial natural-T01. Las mismas presentan idéntico comportamiento térmico: el SRI no supera el 64%, con albedo de 0.64 y emisividad de 0.90.

Entre las tejas de color negro de mayor difusión dentro del AMM, presenta mayor habilidad para disminuir las cargas térmicas la teja natural colonial-T4- y la brillante -T11-cerámica. Las mismas poseen una temperatura superficial de 63.2°C y 63.3°C, respectivamente. Con un valor de SRI superior al 48%.

Con respecto al acabado superficial, el comportamiento de las tejas con terminación esmaltada o natural brindan mayor eficiencia que la terminación mate o envejecida; tanto para el color negro como para el terracota.

Entre las muestras estudiadas la opción con mayor capacidad para mitigar las cargas de calor, es la teja cerámica terracota romana -T08. Entre las alternativas cementicias, la teja más eficiente es la francesa gris natural -T14. Ésta última, posee un SRI igual a 63.1%, una temperatura superficial inferior a los 56°C, albedo de 0.63 y emisividad de 0.90. (Fig.7).

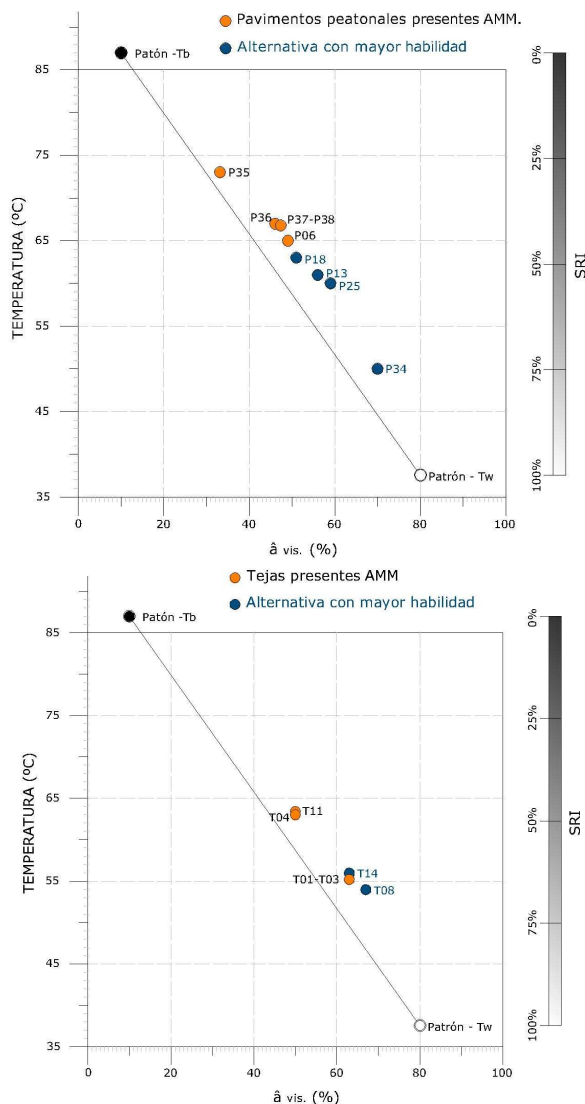


Figura 6-7: Índice de Reflectividad Solar (SRI), según temperatura superficial (°C) y albedo (%) de pavimentos peatonales y tejas, respectivamente.

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados han permitido clasificar un conjunto de materiales usados en las envolventes a nivel local y regional, demostrar el rol que ocupan los materiales en el equilibrio térmico de una ciudad y dotar a diseñadores de una herramienta útil para la selección de los revestimientos.

El aumento de la temperatura superficial de un material expuesto al sol está inversamente correlacionado con los niveles de albedo y de reflectancia solar (SRI) medidos. Por lo tanto, los materiales con valores más altos SRI resultan ser la opción más adecuada. Lo mismo ocurre con la emisividad, mientras mayor es la emisividad de una superficie, menor es su temperatura de estado estacionario, debido a que las superficies con baja emisividad no pueden irradiar efectivamente al cielo, y por tanto, permanecen calientes.

Gran parte de los revestimientos peatonales presentes en el AMM, revelan menor capacidad para mitigar los efectos ICU, en comparación con otras alternativas disponibles en el mercado local. Dentro de los pisos más utilizados en la ciudad, la baldosa calcárea rojo-P36- posee un índice de reflectividad de 41.1%, mientras que la opción más eficiente (travertino -P34-) posee un 75.4 % de habilidad para disminuir las cargas térmicas.

Respecto a los materiales de cubiertas, el desempeño térmico resulta del efecto combinado de la composición y el color. Las tejas de composición cerámica en las tonalidades claras poseen mayores prestaciones que las cementicias. Por ejemplo en las tejas romanas, la cerámica -T01- muestra un índice de 64% respecto a la cementicia- T11- (48%). El mismo fenómeno se observa en las tejas de tonalidad oscura: la composición cerámica posee mayor habilidad respecto al mismo color en la composición cementicia.

Finalmente, en referente a los acabados, los materiales naturales y esmaltados evidencian un desempeño más eficiente que los mates y envejecidos.

Las conclusiones expuestas demuestran 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.

REFERENCIAS

- ASTM Standard E 1933-99a. (2006). Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers.
- ASTM Standard E 1980-11. (2011). Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.
- Correa E. N., De Rosa C, Lesino G. (2007). Acondicionamiento Térmico de los Espacios. Estudio del Potencial de Enfriamiento Evaporativo adiabático dentro del área metropolitana de Mendoza, Argentina. AVERMA. Avance en Energía Renovables y Medio Ambiente. 01.113-01.120.
- Doulos M., Santamouris M., and Livada I. (2004). Passive Cooling of Outdoor urban spaces. The Role of Materials. *Solar Energy*, 77, 231-249.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. <<http://www.indec.mecon.ar/>>.
- Girardet, H. (2001). *Creando Ciudades Sostenibles*. Valencia: Ed. Tilde.
- Lawrence Berkeley National Laboratory -LBNL. Cool Roofs Materials Database. <<http://eetd.lbl.gov/coolroofs/>>.
- Santamouris M. et al. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*. En prensa.

ABSTRACT: Sealed surfaces in urban areas represent a huge impact around the rising temperatures and they lead to the formation of the heat island. In an urban type space, where the floors are 40% and 22% of the roof area covered, mitigate the negative effects of urbanization on energy and environmental resources of cities is one of the challenges facing by the current generation of scientists and professionals.

The roof and floors are the horizontal opaque surfaces most exposed, therefore they absorb the most heat load of a building structure. The main objective of this paper is to categorize the different materials present in the envelope according to their ability to lower urban temperatures. This categorization has been carried out by calculating the Solar Reflectance Index (SRI) according to ASTM e1980.

There were 38 pedestrian pavement types and 16 types of tiles classified present in the local market. The results show that an area with high solar reflectance and infrared emittance exposed to sunlight have a greater value of SRI, therefore it is more efficient to mitigate the negative effects UHI, compared to a similar area with a lower albedo and emissivity. This means that you can improve the thermal performance of the envelope with the proper selection of the shape, color, composition and finishing materials.

Key Words: solar reflectance index, urban envelope, heat islands.