

REFLECTIVIDAD SOLAR DE REVESTIMIENTOS HORIZONTALES EN LA ENVOLVENTE URBANA Y SU CAPACIDAD PARA MITIGAR LA ISLA DE CALOR.

N. L. Escalón Alchapar¹, E. Correa Cantaloube² y G. Lesino²

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV-INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Científico y Tecnológico – CCT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5244322 – Fax 0261-5244001. e-mail: nalchapar@mendoza-conicet.gov.ar

Recibido: 4-11-11; Aceptado: 28-11-11.

RESUMEN.- 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, a fin de procurar ciudades más sostenibles. El objetivo general de este trabajo es categorizar los distintos materiales presentes en la envolvente urbana de acuerdo a su habilidad para contribuir a la disminución de las temperaturas de la ciudad, mitigando el efecto de la Isla de Calor Urbana (ICU) y sus consecuencias sobre los consumos energéticos de los edificios y el confort térmico de los espacios urbanos. Esta categorización se ha llevado a cabo mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980. Este trabajo en particular clasifica distintos tipos de pavimentos peatonales y materiales utilizados en techos, que son de amplia difusión en el mercado local para la ciudad de Mendoza, Argentina. Los resultados demuestran que a igualdad de calidad estética y prestación, es posible mejorar el desempeño térmico de la envolvente mediante la selección adecuada de la forma, color, composición y acabado del material, generando una herramienta válida para apoyar decisiones de diseño urbano y edificio sustentables. Además, su categorización de acuerdo al Índice de Reflectancia Solar (SRI) permite comparar los resultados obtenidos para los materiales utilizados a nivel local y regional con otros a nivel internacional. Al mismo tiempo la estandarización de los materiales regionales pretende sentar las bases para una futura certificación energética edilicia y urbana.

Palabras claves: Índice de Reflectancia Solar, Envolventes Urbanas, Isla De Calor, Mitigación, Estandarización.

ENVELOPING URBAN AND ITS ABILITY TO MITIGATE THE HEAT ISLAND. USE OF SOLAR REFLECTANCE INDEX.

ABSTRACT.- Mitigate the negative effects of urbanization on energy and environmental resources of cities are one of the challenges facing the current generation of scientists and professionals, to ensure more sustainable cities. The overall objective of this paper is to categorize the different materials present in the urban envelope according to their ability to contribute to lower temperatures in the city, mitigating the effect of Urban Heat Island (UHI) and its impact on buildings' energy consumption and thermal comfort of urban spaces. This categorization has been carried out by calculating the Solar Reflectance Index (SRI) according to ASTM E1980. Particularly, this work classifies different types of pedestrian pavements and materials of roofs, which are widely used in the city of Mendoza, Argentina. The results show that for the same aesthetic quality and performance, it is possible to improve the thermal behavior of the envelope with the proper selection of the shape, color, composition and finishing material, generating a valid tool for supporting decisions of urban design and sustainable building. In addition, the categorization according to Solar Reflectance Index (SRI) allows comparing the results obtained for materials to local and regional level with other international. At the same time, the standardization of regional materials intended to lay the foundations for future urban energy certification and building industry.

Keywords: Solar Reflectance Index, Enveloping Urban Heat Island Mitigation, Standardization.

1. INTRODUCCIÓN

Propiciar el enfriamiento pasivo y evitar la acumulación de calor, resulta una alternativa eficiente para mitigar el efecto de isla de calor urbana, (Muselli M., 2010). 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. (Doulos et al, 2004; Bretz et. al, 1997; Sinefa et. al, 2005).

De modo particular, en ciudades localizadas en zonas áridas o semiáridas, cómo es el caso de la ciudad de Mendoza, Argentina, trabajar sobre las propiedades ópticas de las superficies horizontales (techos y pavimentos) y verticales (fachadas), representa un enorme potencial en orden a la

1. Becaria CONICET
2. Investigadora CONICET

disminución de las cargas de enfriamiento y la mejora del confort de los espacios urbanos. En lo que refiere a sus envolventes la superficie de la ciudad se compone de un mosaico de diferentes materiales. En el espacio urbano tipo, donde los pavimentos representan el 40% de la envolvente cerca del 15% corresponde a los revestimientos peatonales (veredas) y 22 % a techos (Correa et al, 2010).

Reflectancia solar y emitancia térmica de los materiales son factores importantes que afectan la temperatura superficial y del aire cerca de la superficie. Superficies con baja reflectancia solar, absorben una mayor fracción de la energía solar incidente. Una fracción de esta energía se conduce al interior de la tierra y los edificios, una fracción se transmite por convección al aire (conduciendo a un incremento de la temperatura del aire) y una fracción se irradia hacia el cielo.

Para condiciones equivalentes, menor será la emisividad de una superficie mayor su temperatura de estado estacionario. Es decir, superficies con baja emisividad no pueden efectivamente irradiar al cielo y, por tanto permanecen calientes.

Es por ello que la de determinación de la reflectancia solar, la emitancia térmica y la temperatura relativa de las superficies con respecto a la temperatura de referencia de un patrón blanco y negro (definido como Índice de Reflectancia Solar, SRI), pueden ayudar a diseñadores y consumidores a elegir los materiales adecuados para hacer eficiente el consumo de energía de sus edificios y comunidades. El trabajo que aquí se presenta clasifica un conjunto de materiales usados en las envolventes de la ciudad de Mendoza, Argentina, de acuerdo al método descrito por la norma ASTM E1980.

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.

2. OBJETIVO

El objetivo general de éste trabajo es categorizar los distintos materiales presentes en la envolvente urbana de acuerdo a su habilidad para contribuir a la disminución de las temperaturas de la ciudad, mitigando el efecto de la Isla de Calor Urbana (ICU) y sus consecuencias sobre los consumos energéticos de los edificios y el confort térmico de los espacios urbanos. Esta categorización se ha llevado a cabo mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980. Este trabajo en particular clasifica distintos tipos de pavimentos peatonales y materiales utilizados en techos, que son de amplia difusión en el mercado local.

3. MÉTODO

3.1. Unidad de análisis.

El Área Metropolitana Mendocina (AMM) está compuesta por una dimensión vertical, definida por la altura de la masa arbórea y las fachadas edilicias, y por una dimensión horizontal, correspondiente a la extensión de la red de acequias, circulaciones (peatonales-vehiculares) y cubiertas; dentro de ésta última dimensión se enmarca el informe, específicamente dentro de la trama de circulación peatonal y cubiertas de techo.

A lo largo de la historia, el crecimiento urbano a se ha desarrollado de forma piramidal, concentrándose la mayor densidad en el sector fundacional, correspondiendo al micro centro y va decreciendo progresivamente hacia la periferia de la ciudad. En figura 1 se circunscribe la zona relevada, cuya superficie es de 8 Ha cuadradas.

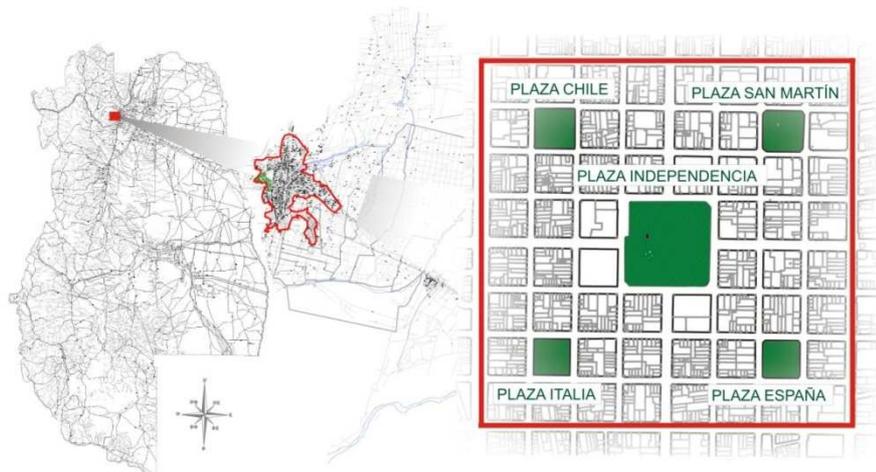


Fig. 1: Localización y características del espacio muestral, dentro del Área Metropolitana de Mendoza (AMM).

El Gran Mendoza presenta un serio problema de macrocefalia, en donde el área metropolitana tiene un crecimiento residencial no planificado de distribución dispersa y excéntrica (Furlani de Civit, 1996). A lo largo de

la historia, el crecimiento urbano a se ha desarrollado de forma piramidal, concentrándose la mayor densidad en el sector fundacional, correspondiendo al micro centro y va decreciendo progresivamente hacia la periferia de la ciudad.

La muestra representativa seleccionada, corresponde al sector de alta densidad edilicia y está integrada por las cinco plazas principales de la ciudad: Independencia, Chile, San Martín, España e Italia, abarcando una cuadrícula de 8x8has., que suman un total de 64 manzanas.

La zona comprende los siguientes cañones urbanos:

- En sentido Norte-Sur.: San Marín (SM), 9 de Julio (9J), España (ES), Patricias Mendocinas (PM), Mitre (MI), Chile (CH), 25 de Mayo (25M), Perú (PE) y Belgrano (BE).
 - En sentido Este-Oeste: Las Heras (LH), Necochea (NE), Gutiérrez (GU), Espejo (ESP), Sarmiento (SA), Rivadavia (RI), Montevideo (MO), San Lorenzo (SL) y Colón (CO).
- (figura 1).

En los 18 canales viales relevados, 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%) y blanca (5.7%). Ocupa el segundo lugar el revestimiento de canto rodado: color gris. El resto de los materiales se encuentran en un porcentaje mucho menor.

En esta etapa se seleccionaron 38 revestimientos peatonales de acuerdo a su disponibilidad en el mercado local, frecuencia de uso y tecnologías.

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%) y blanca (5.7%). En segundo lugar el revestimiento de canto rodado: color gris. El resto de los materiales se encuentran en un porcentaje mucho menor. (figura 2).

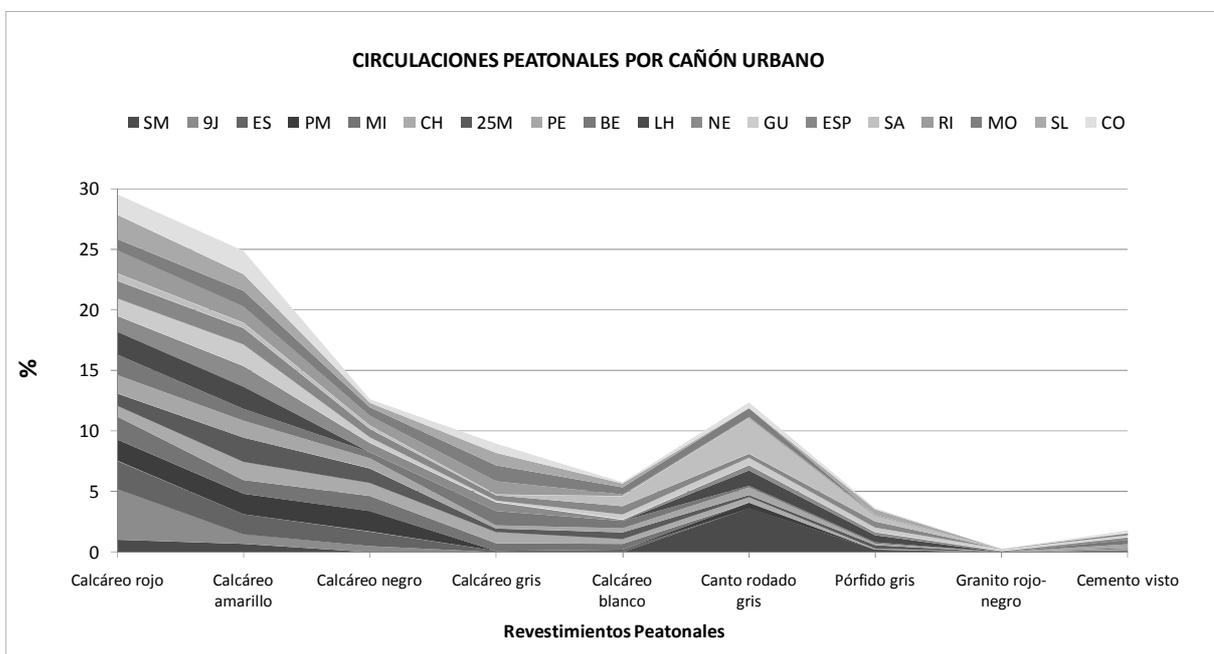


Fig. 2: Materialidad de las circulaciones peatonales según cañón urbano. Composición porcentual.

3.2. Selección y clasificación de materiales.

Con el objeto de desarrollar estrategias pasivas para reducir el consumo anual de energía asociado a las cargas de enfriamiento y mejorar las condiciones de confort en los

espacios urbanos; se seleccionó un muestrario de materiales representativos del parque edilicio local. El mismo está compuesto por 16 revestimientos para cubiertas (tejas) y 44 pavimentos peatonales. (figura 3).



Fig. 3: Evaluación térmica y óptica de los materiales en el predio.

Estos materiales fueron dispuestos sobre una superficie horizontal de 7cm de espesor de poliestireno expandido, en un predio del CCT de Mendoza, localizado al oeste de la ciudad. Las variables medidas fueron emisividad, albedo, temperatura superficial, radiación solar sobre superficie horizontal, temperatura del aire, e Índice de reflectancia Solar (SRI).

Los mosaicos fueron clasificados 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-calceáreas, cemento-pétreas, graníticas).(tabla 1).

Las tejas se caracterizaron según su forma (colonial, francesa, romana); color: (terracota, gris, negro); acabado: (natural, mate, esmaltada, acrílico, brillante bicocción, brillante monococción, envejecida); y composición (cementicias, cerámicas). (tabla 2).

Tabla 1: Clasificación de pavimento peatonal según su forma y sub-forma, color composición y acabado.

| TABLA DE CLASIFICACIÓN | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|----------|---------|--|-----------------------|---------|-----------|--|--------|--|-----------|--|--------|
| FORMA | | | COLOR | | COMPOSICIÓN - ACABADO | | | | | | | | |
| RECTO | Cuadrado | CIRCULAR | Mosaico | | | Rústico | | | | | | | |
| | Dos Panes | | | | | | Araña | | Pulido | | | | |
| | Vainilla | | | | | | Abanico | | | | Texturado | | |
| | Diagonal | | | | | | Andalucía | | | | | | Pulido |
| | | | | | | | Estrella | | | | | | |
| | Canto Rodado | | | | | | | | | | | | |

Tabla 2: Clasificación de tejas según su forma, color composición y acabado.

| TABLA DE CLASIFICACIÓN | |
|------------------------|-------|
| FORMA | COLOR |
| Colonial | |
| Francesa | |
| Romana | |
| COMPOSICIÓN - ACABADO | |
| Cerámica | |
| Natural | |
| Mate | |
| Esmaltada | |
| Brillante bicocción | |
| Brillante monococción | |
| Envejecida | |
| Cementicia | |
| Natural | |
| Mate | |
| Acrílica | |

3.3. Monitoreo Térmico de Materiales.

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 305.49°K; y Humedad Relativa del 23.4%.

Con velocidades de viento máximas cercanas a los 2 m/s. (figura 4).

La temperatura superficial se obtuvo mediante el uso de una cámara IR Fluke Ti 55. La energía radiante registrada por la cámara infrarroja no sólo depende de la temperatura del objeto, sino que también de su emisividad la cual fue seteada de acuerdo al valor medido para cada material.

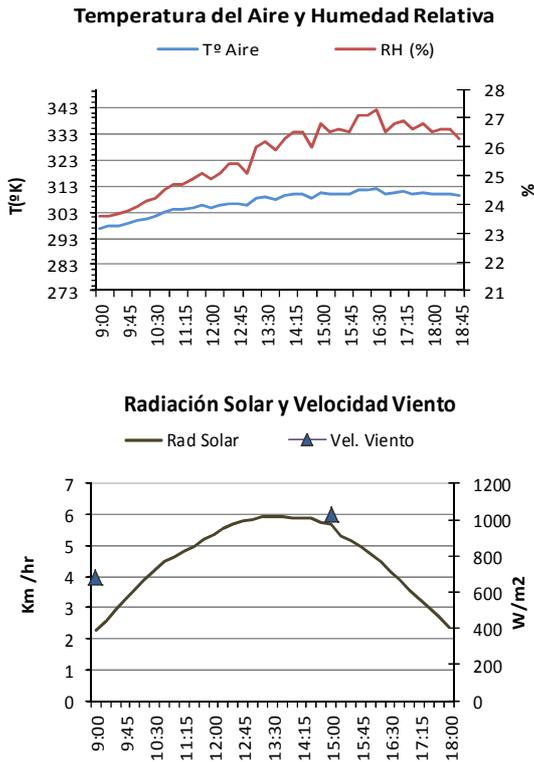


Fig. 4: Radiación solar, velocidad de viento, temperatura del aire y humedad correspondientes al día evaluado.

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. (fig. 5).

En este estudio la conductividad térmica de cada material se ha despreciado considerando que sus espesores son semejantes y además se trabaja con límite adiabático respecto de la conductividad a tierra (ya que se encuentran apoyados sobre una plancha 7 cm. de poliestireno expandido).



Fig. 5: Evaluación térmica con la cámara IR Fluke Ti 55.

3.4. Cálculo de emisividad y albedo

El rol de la emisividad en termografía es indiscutible, ya que evidentemente el uso de emisividades teóricas durante un estudio termográfico arrojará una información incompleta y en ciertos casos errónea. (Avdelidis N. P., Moropoulou A. 2003). La emisividad de un material varía de acuerdo a su tratamiento superficial, es por ello que para la confección de éste trabajo fue necesario medir cada material in situ para alcanzar una alta precisión. (figura 6).

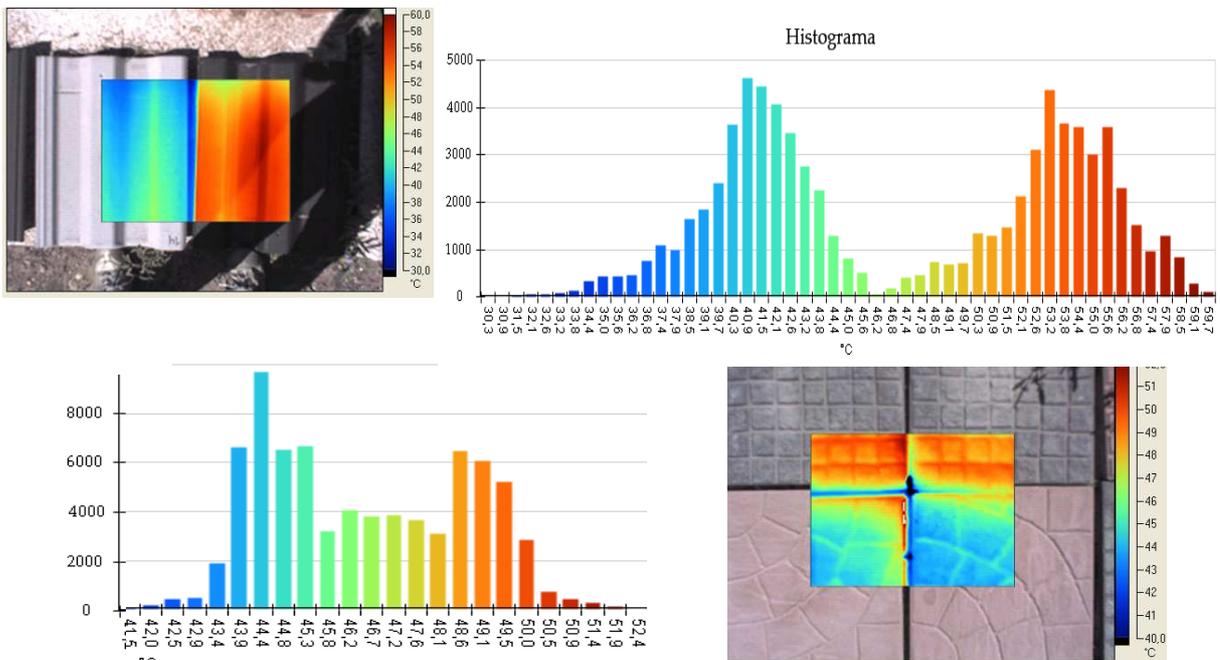


Fig. 6: Ejemplos de las imágenes registradas por la cámara IR y su distribución de temperaturas.

3.5. 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 SRI cuantifica el calor que acumularía un material en relación a una superficie patrón blanca y una negra, bajo condiciones ambientales estándar. Se define como patrón negro a un material con una reflectancia de 0.05 y una emitancia 0.90, cuyo valor es igual a 0; y el patrón blanco equivale a 1 (o 100%), con una reflectancia 0.80 y una emitancia 0,90.

Este método se utiliza para superficies con emisividades mayores a 0.01 y temperaturas superficiales menores a 150°C.

Tabla 4: Código asignado, temperatura superficial (°K), albedo, emisividad y SRI por pavimento peatonal evaluado.

| REV. PEATONALES | α | ϵ | T_s | SRI | REV. PEATONAL | α | ϵ | T_s | SRI |
|---|----------|------------|--------|-------|--|----------|------------|--------|-------|
| P01 Cementicio circular abanico gris prensado-rústico | 0.21 | 0.90 | 340.05 | 33.15 | P20 Cementicio recto cuadrado gris prensado-rustico | 0.20 | 0.90 | 337.45 | 38.99 |
| P02 Cementicio circular araña negro prensado-rustico | 0.20 | 0.95 | 341.85 | 29.10 | P21 Cementicio-pétreo circular andalucía verde jade pulido | 0.14 | 0.95 | 340.45 | 32.25 |
| P03 Cementicio circular andalucía rojo prensado rústico | 0.20 | 0.95 | 338.55 | 36.52 | P22 Cementicio-pétreo recto cuadrado negro con chispas crema pulido | 0.13 | 0.95 | 343.15 | 26.18 |
| P04 Cementicio circular abanico rojo prensado-rústico | 0.24 | 0.90 | 337.95 | 37.87 | P23 Cementicio-pétreo circular andalucía negro murcia pulido | 0.10 | 0.90 | 343.75 | 24.83 |
| P05 Cementicio circular abanico negro prensado-rústico | 0.15 | 0.95 | 343.35 | 25.73 | P24 Cementicio-pétreo rectocuatradobordeaualicant e pulido | 0.14 | 0.90 | 338.25 | 37.19 |
| P06 Cementicio-pétreo liso canto rodado gris lavado-texturado | 0.26 | 0.90 | 337.95 | 37.87 | P25 Granítico liso mosaico gris con multicolor pulido | 0.22 | 0.85 | 332.55 | 50.00 |
| P07 Cementicio recto cuadrado negro prensado-rústico | 0.19 | 0.95 | 345.65 | 20.56 | P26 Cementicio-pétreo circular andalucía negro con multicolor pulido | 0.11 | 0.90 | 343.45 | 25.51 |
| P08 Cementicio circular araña gris prensado-rústico | 0.25 | 0.90 | 338.15 | 37.42 | P27 Cementicio circular andalucía negro prensado-rústico | 0.07 | 0.98 | 345.65 | 20.56 |
| P09 Cementicio circular araña rojo prensado-rustico | 0.26 | 0.90 | 339.05 | 35.39 | P28 Cementicio-pétreo recto cuadrado rojo con multicolor pulido | 0.13 | 0.90 | 339.55 | 34.27 |
| P10 Cementicio-pétreo circular anabanico negro murcia pulido | 0.16 | 0.95 | 343.35 | 25.73 | P29 Granítico liso mosaico negro murcia pulido | 0.14 | 0.90 | 345.25 | 21.46 |
| P11 Cementicio-pétreo circular andalucía negro con chispas crema pulido | 0.15 | 0.90 | 343.65 | 25.06 | P30 Cemneticio-pétreo recto cuadrado gris multicolor pulido | 0.19 | 0.90 | 337.15 | 39.66 |
| P12 Cementicio-pétreo recto cuadrado negro murcia pulido | 0.12 | 0.95 | 344.05 | 24.16 | P31 Granítico liso mosaico verde jade pulido | 0.16 | 0.90 | 341.15 | 30.67 |
| P13 Cementicio-pétreo circular andalucía gris multicolor pulido | 0.22 | 0.85 | 334.45 | 45.73 | P32 Cementicio-pétreo recto cuadrado verde jade pulido | 0.16 | 0.90 | 345.45 | 21.01 |
| P14 Cementicio recto diagonal amarillo prensado-rústico | 0.16 | 0.90 | 338.75 | 36.07 | P33 Cementicio recto cuadrado negro prensado-rustico | 0.09 | 0.95 | 344.75 | 22.58 |
| P15 Cementicio liso mosaico rojo prensado-rústico | 0.13 | 0.95 | 339.35 | 34.72 | P34 Granítico liso mosaico travertino pulido | 0.32 | 0.80 | 322.85 | 71.80 |
| P16 Cementicio-pétreo liso canto rodado multicolor lavado-texturado | 0.12 | 0.90 | 338.45 | 36.74 | P35 Cementicio-calcáreo recto dos panes negro pulido | 0.13 | 0.95 | 346.45 | 18.76 |
| P17 Cementicio liso estrella amarillo prensa-rústico | 0.15 | 0.90 | 339.25 | 34.94 | P36 Cemneticio-calcáreo recto dos panes rojo pulido | 0.15 | 0.90 | 339.95 | 33.37 |
| P18 Cementicio liso estrella gris prensado-rústico | 0.14 | 0.90 | 336.45 | 41.24 | P37 Cemneticio-calcáreo recto dos panes amarillo pulido | 0.16 | 0.90 | 339.35 | 34.72 |
| P19 Cementicio liso mosaico negro prensado-rústico | 0.11 | 0.95 | 345.05 | 21.91 | P38 Cementicio-calcáreo recto vainilla amarillo pulido | 0.17 | 0.90 | 339.25 | 34.94 |

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):

$$T_s = 309,07 + \frac{(1066,07 \alpha - 31,98 \epsilon)}{(6,78 \epsilon + h_c)} - \frac{(890,94 \alpha^2 + 2153,8 \alpha \epsilon)}{(6,78 \epsilon + h_c)} \quad (1)$$

Dónde:

- α =absortancia solar= 1- reflectancia solar
- I = flujo solar. $W.m^{-2}$.
- ϵ = emisividad térmica
- σ = constante de Stefan Boltzmann. $5.66961 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$.
- T_s = temp. superficial en estado estacionario. K.
- T_{sky} = temp. de cielo. K.
- h_c = coeficiente convectivo. $W.m^{-2}.K^{-1}$, and
- T_a = temperatura de aire. K.
- T_b = temperatura superficial patrón negro. K.
- T_w = temperatura superficial patrón blanco. K.

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

3.6. Obtención de Patrones

Mediante el uso de la ecuación 1 se calcularon las temperaturas superficiales de los patrones, bajo condiciones ambientales locales (tabla 3).

Tabla 3: Valores de SRI de superficies patrones

| PATRONES | α | ϵ | T_s (K°) | SRI |
|----------|----------|------------|------------|------|
| NEGRO | 0.05 | 0.9 | 354.8 | 0% |
| BLANCO | 0.8 | 0.9 | 310.3 | 100% |

3.7. Cálculo de SRI en Materiales

Una vez obtenido los patrones se determinaron los índices de reflectancia solar (SRI) para cada revestimiento. (peatonales y cubiertas). (tablas 4 y.5).

El índice de Reflectividad Solar se define como:

Tabla 5: Código asignado, temperatura superficial (°K), albedo, emisividad y SRI por teja evaluada.

| TEJAS | α | ϵ | T_s | SRI | TEJAS | α | ϵ | T_s | SRI |
|---|----------|------------|--------|-------|---|----------|------------|--------|-------|
| T01 Cerámica Colonial terracota natural | 0.31 | 0.90 | 328.55 | 58,99 | T09 Cerámica Romana terracota natural | 0.21 | 0.90 | 339.95 | 50,90 |
| T02 Cerámica Francesa terracota natural | 0.26 | 0.90 | 331.15 | 53,15 | T10 Cerámica Romana terracota envejecida | 0.16 | 0.94 | 331.85 | 51,57 |
| T03 Cerámica Francesa terracota esmaltada | 0.29 | 0.90 | 328.55 | 58,99 | T11 Cementicia Colonial terracota natural | 0.23 | 0.95 | 336.45 | 41,24 |
| T04 Cerámica Francesa negra brillante bicocción | 0.15 | 0.95 | 336.35 | 41,46 | T12 Cementicia Francesa negro mate | 0.11 | 0.95 | 339.95 | 33,37 |
| T05 Cerámica Francesa negra brillante monococción | 0.12 | 0.98 | 337.25 | 39,44 | T13 Cementicia Francesa negra acrílica | 0.14 | 0.95 | 341.95 | 28,88 |
| T06 Cerámica Francesa negra mate | 0.14 | 0.98 | 336.65 | 40,79 | T14 Cementicia Francesa gris natural | 0.21 | 0.90 | 328.95 | 58,09 |
| T07 Cerámica Francesa negra mate | 0.12 | 0.95 | 337.45 | 38,99 | T15 Cementicia Colonial negra mate | 0.11 | 0.95 | 334.25 | 46,18 |
| T08 Cerámica Romana terracota esmaltada | 0.22 | 0.85 | 326.95 | 62,58 | T16 Cementicia Colonial terracota mate | 0.16 | 0.95 | 332.15 | 50,90 |

4. RESULTADOS

4.1. Comparación entre casos extremos en revestimientos peatonales.

Del total de los revestimientos peatonales estudiados, el material que favorecen en mayor medida la mitigación de la Isla de calor Urbana es el Granítico liso mosaico travertino pulido -P34- con una temperatura superficial de 322.85°K y un SRI igual a 71.80%; en segundo y tercer lugar se ubican el Cementicio-pétro liso mosaico gris con multicolor pulido -P25- y el Cementicio-pétro circular andalucía gris multicolor pulido -P13.

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 354.8°K y un SRI de 18.76%;

luego se encuentra el Cementicio recto cuadrado negro prensado-rústico -P07-; y finalmente Cementicio circular andalucía negro prensado-rústico -P27. (figura 7).

Es decir, que entre los dos casos extremos analizados el pavimento granítico travertino, posee 53% más de capacidad para mitigar los efectos de la Isla de calor que el cementicio-calcáreo negro. Su diferencia térmica es de 23.06°K.

4.2. Comparación entre casos extremos en tejas.

En el caso de los materiales para cubierta, se detectan tres tipos de tejas con mayores capacidades para disminuir las cargas de calentamiento en la ciudad, ellas son: la teja Cerámica Romana terracota esmaltada -T08- con una temperatura superficial de 326.95°K y SRI igual a 62.58%; 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 341°K y SRI de 28.88%; la Cerámica Romana terracota natural -T09-, y por último la Cementicia Colonial terracota mate -T12. (fig. 8). La teja cerámica romana terracota esmaltada eleva 15°K menos que la cementicia colonial terracota mate; alcanzando 33.7 % de reflectividad solar.

4.3. Análisis del comportamiento térmico y el SRI en revestimientos peatonales según clasificación.

- **Diferencia de color:** Al comparar los revestimientos peatonales rectos, dos panes de mayor difusión dentro del AMM (baldosa calcárea) de color: rojo -P36- negro -P35- y amarillo -P37-, se obtiene como resultado que el piso negro -P35- es el que alcanza mayores temperaturas. Su temperatura es 6.5 °K mayor que el calcáreo rojo, y 7.1°K mayor que el amarillo. El piso negro obtiene un índice de 18.76%, mientras que las baldosas roja y amarilla alcanzan valores 33.37% y 34.72% respectivamente. Es decir, que las opciones amarillas y roja no presentan significativas diferencia de temperatura superficial entre sí.

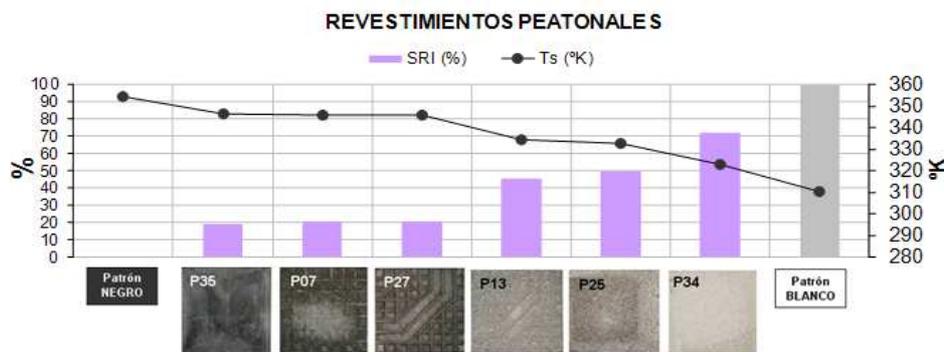


Fig. 7: Índice de Reflectividad Solar de Revestimientos Pevtonales. (Se graficaron solo los tres materiales que poseen mayor y menor habilidad para disminuir la ICU respectivamente).

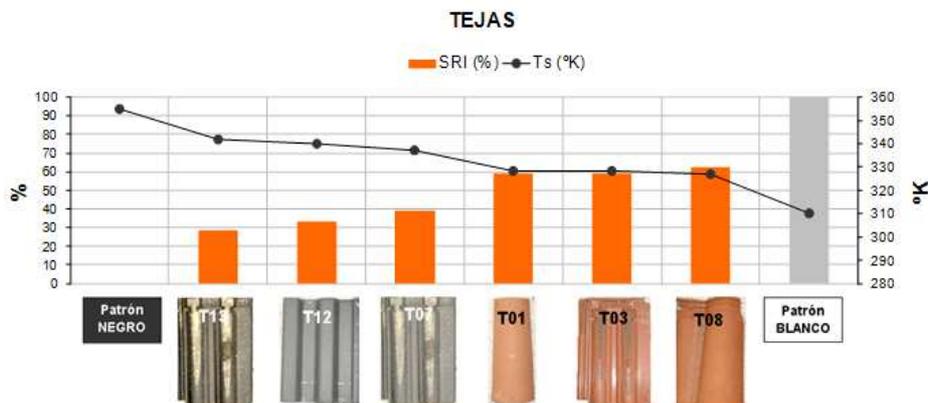


Fig. 8: Índice de Reflectividad Solar de Tejas. (Se graficaron solo los tres materiales que poseen mayor y menor habilidad para disminuir la ICU respectivamente).

Se detectó dentro del AMM en segundo lugar en orden de frecuencia el canto rodado. Al comparar el piso Cementicio-pétreo canto rodado gris lavado-texturado, de color gris -P6-, con el Cementicio-pétreo multicolor lavado-texturado -P16-, el primero alcanza una temperatura de 337.95°K, mientras que el multicolor registra 338.45°K, demostrando que en este pavimento la diferencia del color no condiciona sustancialmente su comportamiento térmico. Los valores de SRI son de 36.74%, para el primer caso y de 37.87% en el segundo.

Entre los pisos lisos mosaicos graníticos, se estudiaron 4 casos de diferentes colores: travertino -P34-, gris multicolor

-P25, verde jade -P31-, y negro murcia -P29. Se observó que el negro murcia registra las mayores temperaturas. Su valor es 22.4 °K mayor que en el travertino, 12.7°K mayor que en el revestimiento gris, y 4.1 °K mayor que en color verde jade. El piso travertino alcanza un índice de reflectancia de 71.8%, mientras que el negro murcia no supera los 21.01%. (fig. 9).

- **Diferencia de forma:** Se observa que el piso negro cementicio tipo prensado rústico circular araña -P2-, eleva menos su temperatura con relación al revestimiento recto cuadrado -P7- y al liso mosaico -P19-. Para un mismo color y acabado, la diferencia supera los 3.8°K.

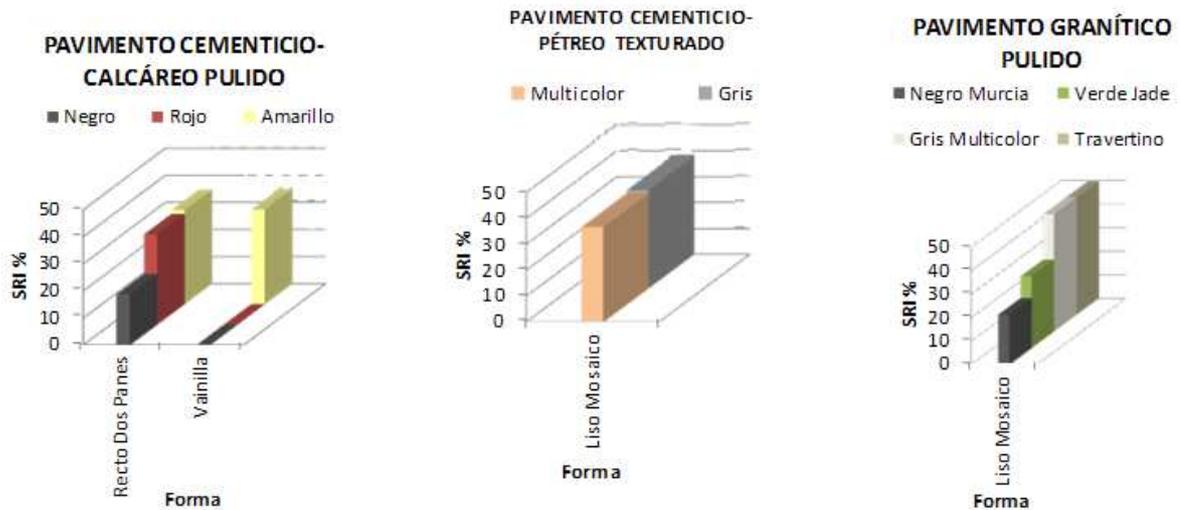


Fig. 9: Índice de Reflectancia Solar de Pavimentos Peatonales según color composición, agrupados de acuerdo a su composición y acabado.

Con un valor de reflectividad comprendido entre el 20% y el 29% en la opción más favorable. (figura 10).

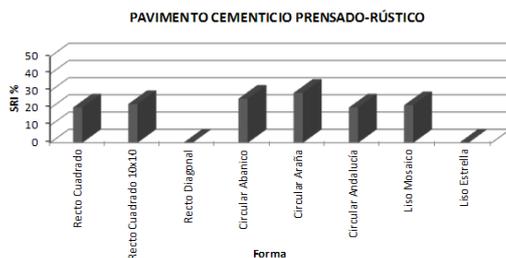


Fig. 10: Índice de Reflectancia Solar de Pavimentos Cementicios Negros prensado-rústico, de acuerdo a su forma.

4.4. Análisis del comportamiento térmico y el SRI en tejas según clasificación.

- Diferencia de composición: Las tejas cerámicas muestran mejor desempeño térmico que las cementicias, por ejemplo: La teja colonial terracota cerámica -T01- se comporta mejor que la cementicia -T16-. La diferencia de temperaturas entre ambas opciones supera los 3.6°K. La cerámica posee un Índice de Reflectancia Solar de 59%, mientras que la cementicia alcanza el 50%.

- Diferencia de acabado: En el caso de las tejas francesas, se evidencia la habilidad del material cerámico para disminuir las cargas de calentamiento. La teja cerámica negra mate -T06-eleva menos su temperatura, que la cementicia negra mate -T07-. La diferencia de temperatura alcanza los 3.3°K y un índice que no supera el 40.29%, en la opción más fría.

La teja romana terracota cerámica natural -T09- eleva su temperatura 5.2 °K por sobre la esmaltada -T08-. La Reflectancia solar en la opción esmaltada supera el 62%. (figura 11).

- Diferencia de color: Siempre las tejas negras presentan una temperatura superficial superior. Dentro de las de color terracota y gris se observa, que en la teja francesa mate

cementicia terracota -T14- alcanza los 328.95°K, mientras que la temperatura de la gris se encuentra 2.2°K por debajo. El valor del indicador es de 58.09% en la gris y de 53.15% en la terracota.

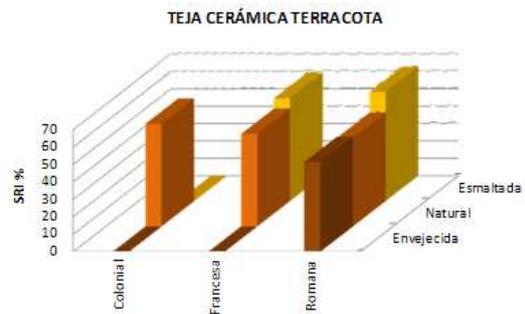


Fig. 11: Índice de Reflectancia Solar de Tejas Cerámicas Terracota, de acuerdo a su forma y acabado.

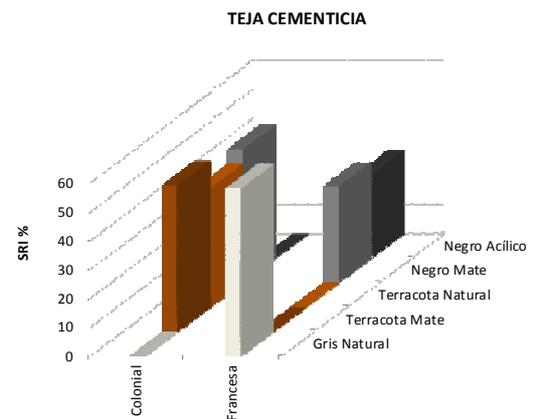


Fig. 12: Índice de Reflectancia Solar de Tejas Cementicias, de acuerdo a su forma, color y acabado.

- Diferencia de forma: De acuerdo a su clasificación por forma las tejas romanas de distintos colores y acabados alcanzan temperaturas promedio de 326 y 332°K, mientras que la colonial comprende un rango entre los 328° y 334°K ; y las francesas 328 y 341°K. Por ejemplo la teja francesa

negro mate cementicia -T12- eleva su temperatura 5.7 °K más que la colonial -T15-. Obteniendo niveles de SRI iguales a 33.37% en la francesa y de 46.18% en la colonial. (figura 12).

5. CONCLUSIONES

La elección de los revestimientos adecuados, no debe ser una decisión tomada al azar. Resulta ser una valiosa estrategia para disminuir las cargas de calentamiento en cubiertas o solados.

Es decisiva la selección del color, ya que para una misma composición, acabado, forma y textura, se detectaron porcentajes de reflectividad que oscilan entre un rango los 53 y 72% en los revestimientos peatonales, y de 53 a 58% en las tejas.

Si las exigencias de diseño, y/o proyecto requieren la incorporación de revestimientos negros, conviene elegir los pavimentos peatonales pétreos, en lugar de los rústicos, ya que la rugosidad reduce el total de la energía reflejada (Chimkla P., Hagishima A., Tanimoto J., 2004). Lo mismo sucede en la cubierta, donde se debe optar por tejas de acabado esmaltado o natural en lugar de las mates. 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.

Entre los pavimentos claros, como travertino o amarillo, se recomienda la utilización de acabados pulidos, como el Granítico travertino cuya temperatura superficial. La existencia de chispas claras dentro de los mosaicos graníticos, contribuye a disminuir las temperaturas superficiales, entre muestras de un mismo color. Por el contrario, en las tejas los acabados envejecidos aumentan las cargas de calentamiento del material.

De acuerdo a la composición, entre los revestimientos cementicios de color amarillo, se recomiendan los cementicios monolíticos, en lugar de los que poseen una capa calcárea en su superficie. En las tejas cerámicas se detectó un mejor comportamiento que las cementicias, en todos los casos estudiados.

Respecto de la forma, vemos que a pesar de mantener constante la composición del material, su color, textura y acabado, se obtuvieron disminuciones de temperatura de

3.8°K para revestimientos de configuración circular. En las tejas se recomienda la utilización de la tipología romana en lugar de la colonial o francesa, ya que se alcanzan diferencias de porcentajes de reflectividad solar mayores al 13%.

Los resultados indica la importancia de contar con catálogos que cuantifiquen el comportamiento térmico y ambiental de los materiales disponibles regionalmente, para la resolución de los espacios urbanos como una herramienta para el desarrollo sustentable del hábitat.

REFERENCIAS

- Astm Standard E1933-99a. (2006). Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers.
- Astm Standard E1980-11.(2011). Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.
- Avdelidis N. y Moropoulou. (2003). A. Emissivity Considerations in Building Thermography. *Energy and Buildings*, **35**, 5, 663 - 667.
- Bretz, S. y Akbari, H. (1997). Long-term performance of highalbedo roof coatings. *Energy Build.* 25, 159-167.
- Chimkla P., Hagishima A. y Tanimoto J. (2004). Computer Systemto Sopport Albedo. Calculation in UrbanAreas. *Building and Enviromet*, **39**, 9, 1213-1221.
- Correa E., Alchapar N. y Canton A. (2010). Estrategias de Mitigacion de la Isla de Calor Urbano en Ciudades de Zonas Áridas. El Caso de los Materiales. Encuentro Nacional de Tecnología de Ambiente Construído. ENTAC.RS.
- Doulos, Santamouris M., Livada I. (2004). Passive Cooling of Outdoor Urban Spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77, 231–249.
- Furlani de Civit, M. (1996). Renovación del Territorio. Concepto y Contenido. *Boletín de Estudios Geográficos*, **92**. Mendoza, Instituto de Geografía. FFyL., Un. Cuyo.
- Muselli, M. (2010). Passive Cooling for Air-Conditioning Energy Savings with New Radiative Low-Cost Coatings. *Energy and Buildings*, **42**, 6, 945-954.
- Synnefa, Santamouris, M., Livada I. (2005). A Study of the Thermal Performance of Reflective Coatings for the Urban Environment. *Solar Energy*, **80**, 8, 968–981.