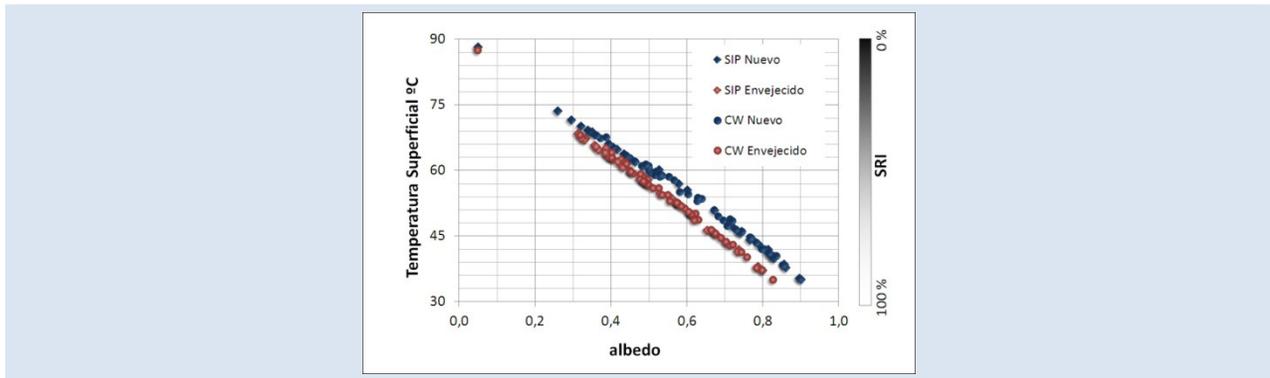


INFLUENCIA DEL ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES EN SU DESEMPEÑO TÉRMICO. EL CASO DE REVESTIMIENTOS TEXTURADOS PARA FACHADAS

Noelia L. Alchapar*, Erica N. Correa, M. Alicia Cantón

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

Los resultados presentados en éste artículo se encuadran dentro de una investigación que estudia soluciones de diseño para los espacios urbanos (morfología, materiales, tecnologías constructivas, etc.) con el objeto de atenuar el efecto de los Islas de Calor Urbanas. Los materiales con alto albedo y alta emitancia térmica (cool material) presentes en la envolvente urbana contribuyen a disminuir la demanda de energía para refrigeración en edificios con aire acondicionado y mejoran el confort de los espacios abiertos, contribuyendo a la sustentabilidad ambiental mediante un uso racional de la energía. Las reflectancias solares de materiales de la envolvente edilicia tienden a cambiar con el tiempo, debido a la intemperie y a la acumulación de suciedad. Es por ello, durante un período de dos años se monitoreó el comportamiento termo-físico de 80 revestimientos texturados para fachadas en dos composiciones acrílica (SIP) y cementicia (CW), con colores y terminaciones difundidas a nivel local para la resolución de las envolventes verticales. La variación de su comportamiento térmico con el desgaste se evaluó mediante la modificación del indicador de Reflectancia Solar a través del tiempo. El Índice de Reflectancia Solar -SRI- se define como la determinación de la reflectancia solar, la emitancia térmica y la temperatura relativa de las superficies con respecto a una temperatura de referencia de un patrón blanco y negro. Este índice permite ponderar el efecto del envejecimiento sobre el comportamiento térmico de los materiales evaluados. Los resultados muestran que el 35% de los revestimientos acrílicos disminuyeron su habilidad para mitigar los efectos de la isla de calor, mientras que el 98% de los cementicios mantuvieron o aumentaron su capacidad de mitigación.

Palabras Claves: Envejecimiento de materiales, Propiedades Ópticas, Índice de Reflectancia Solar.

INFLUENCE OF MATERIALS AGE ON THEIR THERMAL PERFORMANCE THE CASE OF TEXTURED COATINGS FOR FACADES

ABSTRACT

The results presented in this article are framed within a research project that studies solutions for urban spaces (morphology, materials, construction techniques, etc.) in order to mitigate the impact of Urban Heat Islands. The cold materials present in the urban envelope help to reduce energy demand for cooling in air conditioned buildings and improve the comfort of open spaces, contributing to environmental sustainability through the rational use of energy. Solar reflectance of the building envelope tends to change with time due to outdoors and dirt accumulation. Therefore, for a period of two years it was measured thermo-physical behavior of 80 textured coatings for facades on two compositions: acrylic (SIP) and cement (CW), with colors, textures and finishes spread locally to the vertical resolution of the urban envelopes. The variation of the thermal behavior with erosion was evaluated by modifying the Solar Reflectance indicator over time. Solar Reflectance Index -SRI- is defined as the determination of the solar reflectance, thermal emitancia and the relative temperature of the surfaces with respect to a reference temperature of a black and white pattern. This index allows weighting the effect of aging on the thermal behavior of the materials evaluated. The results show that 35% of acrylic coatings decrease their ability to mitigate the effects of heat island, while 98% of the cementitious maintained or increased their capacity of mitigating.

Keywords: Aging of materials, Optical Properties, Solar Reflectance Index.

1. INTRODUCCIÓN

La urbanización es una tendencia mundial que se traduce en la concentración de la población en las ciudades. La escasa vegetación, la condición artificial del medio y las superficies selladas con bajos albedos derivan en la formación de islas de calor urbanas. Este fenómeno puede producir discomfort, incrementar los consumos energéticos, disminuir la calidad ambiental y agravar enfermedades relacionadas con el estrés térmico y la contaminación. Las temperaturas altas del aire aceleran la formación de smog y aumentan la demanda de aire acondicionado.

A mediados de la década del 80', diversas investigaciones comenzaron a estudiar el impacto de los materiales reflectivos de la envolvente edilicia (techos, pisos y fachadas) para mitigar las islas de calor urbanas. Los materiales fríos (cool materials) reducen la demanda de energía para refrigeración en edificios con aire acondicionado y mejoran el confort de los edificios sin acondicionamiento. (Akbari et al, 1992 [1]; Givoni, 1998 [7]; Scudo y Ochoa, 2003 [15]). Debido a que ellos reflejan la mayor parte de la radiación solar incidente al cielo, disminuyendo sus temperaturas superficiales.

Es por ello que definir parámetros que caractericen el comportamiento térmico y óptico de los materiales de la envolvente urbana resulta indispensable. Las investigaciones sugieren que el albedo y la emitancia térmica tienen una gran influencia en la forma con la que un material eleva o disminuye su temperatura (Sailor y Fan, 2002 [14]; Simpson y Mc Pherson, 1997 [17]; Santamouris et al., 1998 [15]; Doulos et al 2004 [5]; Araújo y Laurencio, 2005 [2]; Niachou et al, 2008 [10]).

El albedo o reflectancia solar, es el porcentaje de la energía solar reflejada por una superficie. Esta propiedad es determinante de las máximas temperaturas en un material. (Levinson, et al, 2002 [9]). Para demostrar la influencia significativa del albedo en la temperatura de una superficie se realizó una experiencia sobre una pared de ladrillo visto pintando una columna en color claro, es decir con un mayor albedo. (Cool Pavements Compendium, EPA 2008 [6]). El resultado de la imagen indica un intervalo térmico que oscila entre los 38° (área pintada) y 59°C en el área de ladrillo sin pintar. La Figura 1 ejemplifica cómo con la sola modificación de albedo se altera significativamente

la temperatura superficial de un material.

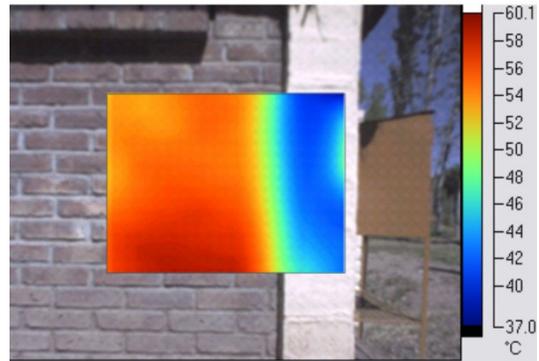


Figura 1. El efecto del albedo en las Temperaturas Superficiales.

La emitancia térmica de un material determina la cantidad de calor que se irradia por unidad de superficie a una temperatura dada, es decir, la facilidad con la que una superficie arroja calor. Cualquier material expuesto a la energía radiante se calienta hasta que alcanza el equilibrio térmico. Cuando una superficie con emitancia térmica elevada es expuesta a la luz solar alcanza el equilibrio a una temperatura inferior en comparación a una superficie con baja emisión. Debido a que las superficies con alta emitancia emiten calor más fácilmente. (Avdelidis and Moropoulou, 2003 [3])

La determinación de la reflectancia solar, la emitancia térmica y la temperatura relativa de las superficies con respecto a una temperatura de referencia de un patrón blanco y negro se define como Índice de Reflectancia Solar, -SRI-, este indicador es adecuado para ayudar a diseñadores y usuarios a elegir los materiales apropiados en torno a mejorar la eficiencia energética de edificios y comunidades.

El Índice de Reflectancia Solar (SRI) es inicialmente influenciado por dos factores: la composición del material y la textura superficial. Con el tiempo, el SRI puede ser modificado como resultado del desgaste, y decoloración.

Investigaciones realizadas por EPA 2008 [6] descritas en el Compendio de Pavimentos Fríos demostraron que las reflectancias solares de materiales de la envolvente edilicia tienden a cambiar con el tiempo, debido a la intemperie y a la acumulación de suciedad.

Por ejemplo, materiales convencionales para

pavimento vehicular, tales como asfalto y concreto tienen reflectancias solares que oscilan entre 5 a 40 por ciento, lo que significa que absorben 95 a 60 por ciento de la energía que llega a ellos en lugar de reflejarla a la atmósfera. El asfalto se compone principalmente de derivados de petróleo como mezcla aglutinante con arena o piedras agregadas. El asfalto tiende a aligerar, el aglutinante se oxida y los agregados se desgastan. El hormigón también utiliza arena y agregado de piedra, pero en contraste con el asfalto, normalmente utiliza cemento Portland como aglutinante. (The Portland Cement Association [18]). El tráfico peatonal y vehicular en general ensucian el cemento oscureciéndolo con el tiempo.

El objetivo del trabajo es evaluar la influencia del desgaste en la modificación del desempeño térmico de diversos revestimientos para fachadas. Para ello en un lapso de dos años se ha calculado la variación del índice de Reflectividad Solar (SRI), de acuerdo al método descrito por la norma ASTM E1980-11 [12], de 80 revestimientos texturados de distinta composición, color y textura, presentes en la envolvente urbana local.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Casos de estudio

Se estudiaron 80 tipos de revestimientos para fachada de composición acrílica (SIP) y cementicia (CW) durante un período de dos años de exposición a condiciones de intemperie.

Los revestimientos texturados acrílicos (SIP), están compuestos a base polímeros acrílicos, cargas minerales de granulometría múltiple, pigmentos inorgánicos con elevada resistencia U. V., y aditivos químicos.

Los morteros cementicios (CW), están compuestos a base de cemento blanco, marmolinas, cal, pigmentos, aditivos orgánicos e inorgánicos, cargas minerales de granulometría clasificada, resinas sintéticas, fungicidas y alguicidas en polvo aptos para revestimientos de muros y fachadas.

De acuerdo a la demanda en el mercado local y frecuencia de uso, se seleccionaron ocho colores y cinco texturas de granulometría y acabado variado para la composición acrílica y cementicia.

Para ésta etapa se seleccionaron 8 colores, de acuerdo a la demanda en el mercado local y frecuencia de uso: blanco, marfil, piedra parís, ocre,

terracota, gris perla, gris cemento y gris plomo. Los colores se describen según el sistema CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) según diagrama de color CIELAB. (CIE, 1931[4]).

Las texturas monitoreadas de composición acrílica, se clasificaron en: rulato travertino fino (rf) y grueso (rg), llaneado fino (lf) y grueso (lg), granitex mediano (gm). Los revestimientos cementicios (CW) fueron clasificados en: texturable rulato (tr) y travertino (tt), salpicrate salpic (ss) y planchado (sp), granitex mediano (gm). Ésta denominación fue dada según fabricante. (ver Tabla 1).

2.2 Descripción de la experiencia e instrumentación

Las mediciones se realizaron durante el período estival del año 2011 y 2012, en condiciones ambientales estándar a las 13.00hs y sobre superficie horizontal ($< 9.5^\circ$), según lo que establece la norma que sustenta la investigación (ASTM E 1980-11[12]). En el año 2011 se registró un flujo de radiación solar de 846.3 W/m^2 , temperatura media de aire 33°C , humedad relativa de 36.4% y velocidad de viento promedio de 1.2 m/s. En el periodo 2012 se obtuvieron los siguientes datos: 938.2 W/m^2 de radiación solar, 27°C de temperatura media de aire, 31.5% de humedad relativa y 1.3 m/s de velocidad de viento.

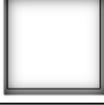
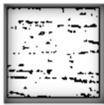
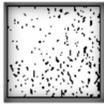
Para estudiar el comportamiento térmico de las muestras, éstas fueron expuestas a la intemperie de forma continua durante el período 2011-2012 y dispuestas sobre una plataforma horizontal de 7cm de espesor de poliestireno expandido ubicada en un predio del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Mendoza, Argentina. Coordenadas geográficas: $32^\circ 53' 45''$ de latitud sur y $68^\circ 52' 28''$ de longitud Oeste. (ver figura 2).

Se estimó el envejecimiento de los revestimientos mediante el registro de emisividad, temperatura superficial, radiación solar sobre superficie horizontal y temperatura del aire correspondiente a las 13:00hs utilizados para calcular el SRI, de acuerdo a lo establecido por la norma de referencia ASTM E1980-11 [12].

Para determinar el valor del albedo ($\hat{\alpha}$), se utilizó un albedómetro tipo Kipp & Zonen CMA11. Éste instrumento posee un rango espectral de 285 a 2800 nm, con una irradiancia solar máxima de 4000 W/m^2 (Kipp & Zonen Product Catalogue, 2012 [8]). El albedómetro 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.

Tabla 1. Clasificación de muestras, según composición, textura, terminación^a y color.

REVESTIMIENTOS VERTICALES					
COMPOSICIÓN	TEXTURA	TERMINACIÓN	COLOR	L*a*b	
ACRÍLICA (SIP)		Fino (rf)	Blanco	98.618/0.005/ 0.010	
		Grueso (rg)	Marfil	94.320/-1.381/22.189	
		Fino (rf)	Piedra Paris	67.857/6.516/23.710	
		Grueso (rg)	Ocre	58.607/13.716/58.966	
		Granitex	Medio (gm)	Terracota	32.882/42.305/25.852
				Gris Perla	76.309/-1.156/-2.14
CEMENTICIA (CW)		Rulato (tr)	Verde Hormigón	58.426/-5.622/7.638	
		Travertino (tt)	Gris Plomo	50.070/2.358/-2.886	
		Salpic (ss)	Blanco	98.618/0.005/-0.010	
		Planchado (sp)	Marfil	94.320/-1.381/22.189	
		Granitex	Medio (gm)	Piedra Paris	67.857/6.516/23.710
				Ocre	58.607/13.716/58.966

^aDesignación dada por el fabricante "Weber-Sanit Gobain". Argentina S.A.



Figura 2. Evaluación térmica y óptica de los materiales en el predio.

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 E 1933-99^a [11]).

Los registros del comportamiento térmico superficial (T_s) se tomaron con la cámara IR Fluke Ti 55 que detecta la radiación infrarroja de onda larga en el rango de 7.5 a 14 μm 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 está en 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. Debido a la falta de uniformidad de las temperaturas superficiales de

un mismo material estudiado, los valores corresponden al promedio del total de la superficie horizontal. Ésta escasa uniformidad se debe principalmente a una concentración de pigmentación en algunos sectores, rugosidades diversas de una misma textura, o por componentes varios del mortero. Éste efecto se acentúa en terminaciones de granulometría gruesa. (ver Figura 3).

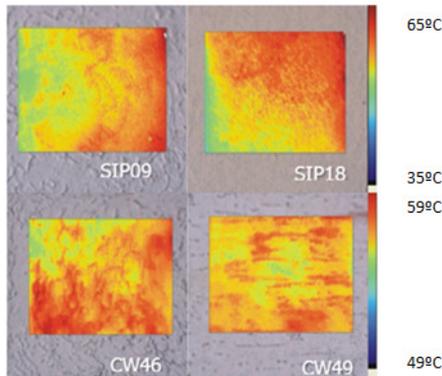


Figura 3. Distribución infrarroja no uniforme, en revestimientos acrílicos y cementicios.

Se utilizó un luminancímetro colorímetro Konica Chroma Meter CS-100A para determinar la composición de color de las muestras, según establece la norma ASTM D2244-11[13]). Éste instrumento percibe las longitudes de onda de luz reflejada como valor numérico según diagrama de cromaticidad Yxy. Mediante el software Data Management Software CS- C10W estándar se expresa en CIE Lab los datos obtenidos en cada muestra.

2.3 Cálculo de Índice de Reflectancia Solar

El Índice de Reflectividad Solar (SRI) se obtiene bajo la norma ASTM E1980 [12]. Éste es un indicador que incorpora la reflectancia y la

emitancia en un único término que representa la temperatura de un material expuesto al sol.

El SRI cuantifica el calor que acumularía un material en relación a una superficie estándar negra y una blanca, bajo condiciones ambientales estándar. Se define como patrón negro a un material con una reflectancia de 0.05 y una emitancia 0.90; y el patrón blanco posee una reflectancia 0.80 y una emitancia 0.90. El SRI es un valor entre 0% (tan caliente como una superficie de color negro) y 100% (tan fresco como una superficie blanca).

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

$$T_s = 309,07 + ((1066,07\alpha - 31,98\epsilon) / (6,78\epsilon + h_c)) - ((890,94\alpha^2 + 2153,831.98\alpha\epsilon) / (6,78\epsilon + h_c)^2) \quad (1)$$

El índice de Reflectividad Solar se define como:

$$SRI = 100(T_b - T_s) / (T_b - T_w) \quad (2)$$

Dónde:

α = absortancia solar = 1- reflectancia solar.

ϵ = emisividad térmica

T_s = temp. superficial en estado estacionario. K.

h_c = coeficiente convectivo. $W.m^{-2}.K^{-1}$, and

T_b = temperatura superficial patrón negro. K.

T_w = temperatura superficial patrón blanco. K.

Mediante el uso de Ec. (1) se calcularon las temperaturas superficiales de los patrones, bajo condiciones ambientales locales. (Ver tabla 2).

A través del cálculo de Ec. (2) se obtuvieron los índices de reflectividad solar iniciales (SRI₁) para los revestimientos acrílicos y cementicios. (Ver tabla 3 y 4).

Tabla 2. Albedo (\hat{a}); Emisividad (ϵ); Temperatura superficial inicial (Ts₁) y Temperatura Superficial de material envejecido (Ts₂); e Índice de Reflectividad Solar (SRI) de superficies patrones.

Patrones	\hat{a}	ϵ	Ts ₁ (°C) 2011	Ts ₂ (°C) 2012	SRI (%)
Negro (T _b)	0,05	0,90	88	88	0
Blanco (T _w)	0,80	0,90	33	33	100

Tabla 3. Enumeración de los revestimientos verticales de composición acrílica (SIP) y cementicia (CW) estudiados durante el primer y segundo año, con sus respectivos códigos asignados; albedo (\hat{a}); emisividad (ϵ); Índices de Reflectancia Solar ($SRI_1 - SRI_2$) en porcentajes; y diferencias de Índice de reflectancia Solar (ΔSRI).

Cod.	1 ^a Año			2 ^a Año			ΔSRI	Cod.	1 ^a Año			2 ^a Año			ΔSRI
	SRI %	\hat{a}	ϵ	SRI %	\hat{a}	ϵ			SRI %	\hat{a}	ϵ	SRI %	\hat{a}	ϵ	
SIP 1	97	0.86	0.85	82	0.65	0.95	-15	CW 41	98	0.85	0.90	99	0.79	0.90	1
SIP 2	104	0.90	0.90	84	0.68	0.90	-20	CW 42	88	0.78	0.85	89	0.71	0.90	1
SIP 3	92	0.81	0.88	70	0.58	0.90	-22	CW 43	77	0.72	0.80	84	0.68	0.90	6
SIP 4	57	0.51	0.95	53	0.43	0.95	-4	CW 44	58	0.55	0.85	62	0.50	0.95	4
SIP 5	50	0.45	0.95	50	0.39	0.97	0	CW 45	58	0.53	0.93	57	0.46	0.95	-1
SIP 6	64	0.60	0.85	61	0.49	0.95	-3	CW 46	68	0.64	0.82	70	0.58	0.90	2
SIP 7	49	0.44	0.95	56	0.45	0.95	7	CW 47	51	0.47	0.95	67	0.55	0.90	15
SIP 8	37	0.34	0.95	50	0.40	0.95	13	CW 48	41	0.37	0.95	56	0.45	0.95	15
SIP 9	89	0.79	0.85	75	0.61	0.90	-13	CW 49	60	0.57	0.85	104	0.83	0.85	44
SIP 10	99	0.86	0.90	75	0.61	0.90	-24	CW 50	86	0.77	0.85	92	0.75	0.85	6
SIP 11	94	0.82	0.90	58	0.48	0.90	-36	CW 51	79	0.71	0.90	86	0.69	0.90	7
SIP 12	51	0.47	0.95	42	0.33	0.95	-10	CW 52	69	0.63	0.90	67	0.54	0.95	-2
SIP 13	38	0.35	0.94	47	0.37	0.97	9	CW 53	53	0.48	0.95	70	0.56	0.95	16
SIP 14	56	0.51	0.95	61	0.49	0.95	5	CW 54	78	0.70	0.90	75	0.62	0.85	-3
SIP 15	46	0.42	0.95	42	0.33	0.97	-4	CW 55	58	0.54	0.90	62	0.50	0.95	4
SIP 16	38	0.34	0.95	45	0.36	0.95	7	CW 56	54	0.50	0.90	50	0.40	0.95	-3
SIP 17	91	0.82	0.80	75	0.61	0.90	-16	CW 57	91	0.81	0.85	89	0.72	0.85	-2
SIP 18	55	0.53	0.85	70	0.58	0.90	15	CW 58	91	0.80	0.90	88	0.70	0.90	-3
SIP 19	104	0.90	0.90	66	0.53	0.95	-37	CW 59	76	0.68	0.90	73	0.60	0.90	-3
SIP 20	95	0.83	0.90	60	0.50	0.90	-35	CW 60	65	0.58	0.95	70	0.58	0.90	5
SIP 21	48	0.43	0.95	42	0.32	0.97	-6	CW 61	66	0.60	0.90	56	0.45	0.95	-10
SIP 22	87	0.77	0.90	68	0.56	0.90	-18	CW 62	79	0.72	0.85	78	0.63	0.90	-1
SIP 23	45	0.41	0.95	51	0.41	0.95	6	CW 63	56	0.52	0.90	52	0.44	0.90	-4
SIP 24	29	0.26	0.95	51	0.43	0.90	22	CW 64	41	0.39	0.90	40	0.32	0.95	-1
SIP 25	94	0.83	0.85	98	0.79	0.85	5	CW 65	94	0.84	0.80	94	0.76	0.85	0
SIP 26	83	0.75	0.85	91	0.74	0.85	8	CW 66	83	0.75	0.85	82	0.66	0.90	-1
SIP 27	61	0.58	0.85	71	0.58	0.90	10	CW 67	68	0.63	0.85	72	0.59	0.90	4
SIP 28	83	0.74	0.90	48	0.39	0.95	-34	CW 68	58	0.52	0.95	64	0.51	0.95	6
SIP 29	56	0.50	0.95	55	0.43	0.97	-1	CW 69	54	0.48	0.95	61	0.49	0.95	7
SIP 30	83	0.74	0.90	62	0.50	0.95	-21	CW 70	73	0.67	0.85	78	0.62	0.95	5
SIP 31	39	0.36	0.95	45	0.36	0.95	6	CW 71	54	0.50	0.90	61	0.49	0.95	7
SIP 32	33	0.30	0.95	46	0.39	0.90	13	CW 72	40	0.36	0.95	50	0.40	0.95	10
SIP 33	98	0.86	0.85	92	0.73	0.90	-6	CW 73	92	0.82	0.85	88	0.70	0.90	-5
SIP 34	86	0.77	0.85	84	0.67	0.90	-2	CW 74	85	0.77	0.85	82	0.67	0.90	-3
SIP 35	73	0.67	0.85	60	0.48	0.95	-14	CW 75	82	0.73	0.90	75	0.61	0.90	-7
SIP 36	80	0.72	0.90	52	0.42	0.95	-28	CW 76	57	0.53	0.90	64	0.53	0.90	6
SIP 37	49	0.44	0.95	50	0.40	0.95	1	CW 77	57	0.53	0.9	58	0.48	0.90	0
SIP 38	54	0.50	0.92	60	0.48	0.95	6	CW 78	78	0.72	0.80	74	0.61	0.90	-4
SIP 39	43	0.39	0.95	49	0.39	0.95	5	CW 79	53	0.49	0.9	53	0.44	0.90	0
SIP 40	35	0.32	0.95	40	0.31	0.95	5	CW 80	80	0.71	0.95	48	0.40	0.90	-32

2.4 Cálculo de diferencias de Índice de Reflectancia Solar entre registros térmicos 2011 - 2012

Para ponderar cómo han resistido los revestimientos al paso del tiempo, al clima, y a la suciedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$SRI_1 - SRI_2 = \Delta SRI \quad (3)$$

Dónde:

SRI₁= Índice de Reflectancia Solar *inicial*

SRI₂= Índice de Reflectancia Solar *de materiales envejecidos*.

ΔSRI= Diferencia entre valores de SRI₁ y SRI₂.

Para simplificar el análisis se estableció un rango de valores que determina que un material muestra un comportamiento estable cuando presenta diferencias de SRI menores a (±) 10 % entre ambos periodos. Resulta favorable su envejecimiento cuando el SRI inicial (SRI₁) es menor que el SRI del material envejecido (SRI₂). En caso contrario, registros de SRI₁ mayores que el SRI₂ registros de SRI₁ mayores que el SRI₂ se clasifican como materiales cuya habilidad para disminuir las temperaturas urbanas disminuye cuando se los somete al paso del tiempo.

Es decir:

Δ SRI > 10 % = Degradado;

Δ SRI ≤ (±) 10% = Estable;

Δ SRI < 10 % = Mejorado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la Ec. (3) se calcularon los índices de reflectividad solar para los revestimientos acrílicos y cementicios de materiales envejecidos (SRI₂) y se obtuvieron sus correspondientes diferencias (Δ SRI) durante el solsticio de verano 2011 y 2012. (ver Tabla 3).

3.1 Diferencias de Índice de Reflectancia Solar según composición

3.1.1 Revestimientos acrílicos (SIP) versus Revestimientos cementicios (CW).

Después de someter a los revestimientos a condiciones climáticas exteriores, se calcularon diferencias en los niveles de SRI para los materiales de composición acrílica y cementicia.

El 35% de los materiales acrílicos disminuyeron su

capacidad para mitigar los efectos negativos de las ICU y tan solo 2.5% de los cementicios integraron éste rango. Dentro de los materiales que se mantienen estables, se encuentran el 32.5% de los acrílicos y el 65% de los cementicios evaluados. Se registró que el 32.5% de cada composición mejoró su índice entre un 10% y un 35%.

La figura 5 muestra que el SRI de los revestimientos cementicios sufre menos degradación y por lo tanto son mayormente estables. Mientras que el 22.5 % de los materiales de composición acrílica registra una disminución de los niveles de SRI mayor al 20% de degradación. (ver Figura 4 y Tabla 4).

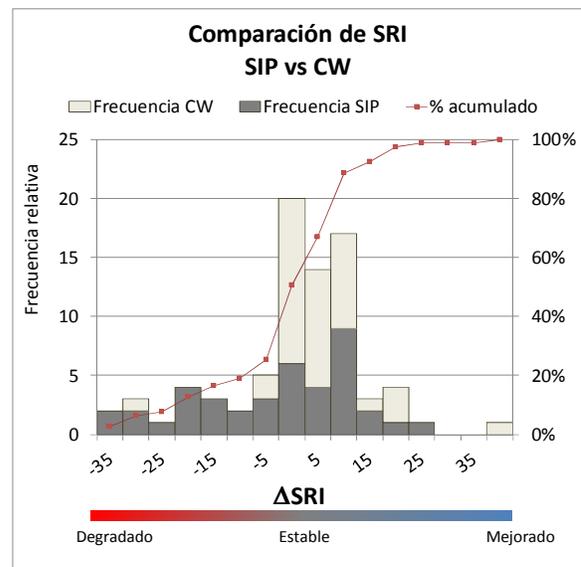


Figura 4. Distribución de frecuencias relativas de diferencias de SRI (ΔSRI) en revestimientos según composición (acrílicos y cementicios).

3.2 Diferencias de Índice de Reflectancia Solar entre colores

Al evaluar de forma aislada la variable color, para ambas composiciones, detectamos que el 80% de los materiales de color verde cemento, el 70% de los gris plomo y el 50% de los terracota, han mejorado su habilidad reflectiva entre un 10 y un 40 por ciento.

Dentro de los colores que mantuvieron constante su SRI a lo largo del tiempo se encuentra, en primer lugar, los revestimientos de tonalidad terracota, ya que la mitad (50%) de las muestras no han sufrido el desgaste de la exposición a la intemperie. En segundo lugar, se ubican las tonalidades marfil y gris perla, con un 40% para cada color.

Los colores que más redujeron sus propiedades reflectivas son: el piedra parís (40%) y el blanco

(30%), con disminuciones de SRI entre 10 y un 35%.(ver Figura 5).

Tabla 4. Frecuencias absolutas, relativas y porcentajes acumulados de revestimientos acrílicos (SIP) y cementicios (CW) degradados, estables y mejorados con el envejecimiento.

Comportamiento	Δ SRI	Rev. Acrílicos (SIP)			Rev. Cementicios (CW)		
		Frec. Absoluta SIP	Frec. Relativa SIP	% acumulado SIP	Frec. Absoluta CW	Frec. Relativa CW	% acumulado CW
Degradado	-35	2	5%	5%	0	0%	0%
	-30	2	5%	10%	1	3%	3%
	-25	1	3%	13%	0	0%	3%
	-20	4	10%	23%	0	0%	3%
	-15	3	8%	30%	0	0%	3%
	-10	2	5%	35%	0	0%	3%
Estable	-5	3	8%	43%	2	5%	8%
	0	6	15%	58%	14	35%	43%
	5	4	10%	68%	10	25%	68%
Mejorado	10	9	23%	90%	8	20%	88%
	15	2	5%	95%	1	3%	90%
	20	1	3%	98%	3	8%	98%
	25	1	3%	100%	0	0%	98%
	30	0	0%	100%	0	0%	98%
	35	0	0%	100%	0	0%	98%
	mayor...	0	0%	100%	1	3%	100%

3.3 Diferencias de Índice de Reflectancia Solar entre texturas y terminaciones.

Al analizar por separado a los materiales de acuerdo a su textura y terminación, se observa que la textura más eficiente es la Llaneada fina. Es decir, que el 50% de los materiales que poseen dicho acabado han disminuido su capacidad reflectiva entre un 10 y un 45%. Luego continúa con un 39% de frecuencia la Llaneada Gruesa.

Las texturas que han mantenido su índice de reflectancia más estable al paso del tiempo, al clima y a la suciedad son: en primer lugar, la Salpicrate salpic con una frecuencia relativa del 88%; seguida por la Texturable travertino, Granitex medio y Rulato travertino fino con iguales porcentajes registrados (38% en cada caso).

La textura Salpicrate planchada y la Texturable travertino han mostrado una notable mejoría en su comportamiento térmico. El 88% de ambas texturas aumentó su SRI en un rango de 10 a 40%. El segundo lugar lo ocupan los acabados Llaneado grueso y Texturable travertino, con un 63% de frecuencia en cada configuración. (ver Figura 6).

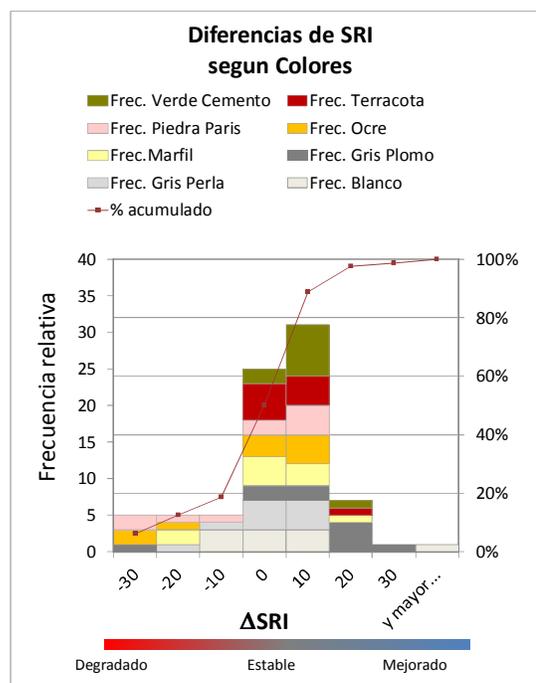


Figura 5. Distribución de frecuencias relativas de diferencias de Índice de Reflectancia Solar (Δ SRI) en revestimientos según color.

4. CONCLUSIONES

El papel de la envolvente urbana es decisivo para la reducción de las ganancias térmicas y el sobrecalentamiento de una ciudad. Éste estudio demostró que las reflectancias solares de revestimientos texturados para fachadas tienden a cambiar con el tiempo, debido al desgaste producido por las condiciones de intemperie y acumulación de suciedad.

Los niveles del Índice de Reflectancia Solar dependen de la edad y del material, y por lo tanto en la mayoría de los casos cambian con el tiempo.

Al momento de seleccionar un revestimiento para fachada de acuerdo a su resistencia al envejecimiento según su *composición*, se recomienda la elección de los cementicios (CW), ya que el 98% de ellos han mostrado estabilidad o crecimiento en sus capacidades para disminuir su temperatura superficial. En contraste con un 65% de frecuencia en los materiales de composición acrílica.

La variable *color* evidencia un comportamiento más eficiente en la tonalidades oscuras, en el orden de mitigar los efectos negativos de la ICU a lo largo del tiempo. Es decir que el desgaste aumenta los niveles de SRI registrados inicialmente. El 80% de las muestras de color verde cemento, el 70% del gris plomo y el 50% del terracota, han aumentado su SRI entre un 10 y 45%. Para el resto de los colores de tonalidades más claras la mejoría fue en un 40% de los casos estudiados.

Resulta distintiva la elección de la textura y terminación, ya que se registraron aumentos de SRI en un 88% de las muestras de acabado Salpicrate planchado y Texturable rulato. Manteniéndose en condiciones estables la textura Salpicrate salpic con registros del 88% de frecuencia.

El seguimiento y categorización anual de las modificaciones de niveles de SRI, permite ponderar el efecto del envejecimiento sobre el comportamiento térmico de los materiales evaluados. Con ello se pretende obtener una visión global del comportamiento térmico de los materiales a través de los años. Para transferir esta información a los responsables del desarrollo del hábitat en nuestra región.

5. REFERENCIAS

- [1]. 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.
- [2]. Araújo P. and Laurenc F. 2005. Measurement of Albedo and Analysis of Influence the Surface Temperature of Building Roof Materials. *Energy and Buildings*; 37: 295-300.
- [3]. Avdelidis N., Moropoulou A. 2003. Emissivity considerations in building thermography, *Energy and Buildings*; 35: 663-667.
- [4]. Comisión Internacional de la Iluminación. CIE. 1937.
- [5]. Doulos M., Santamouris M., and Livada I., 2004. Passive Cooling of Outdoor urban spaces. *The Role of Materials. Solar Energy*; 77: 231-249.
- [6]. Environmental Protection Agency. EPA, 2008. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies: Basic and Cool Pavements Compendium.
- [7]. Givoni, B., 1998. *Climate Considerations In Building And Urban Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York, P-241.
- [8]. Kipp & Zonen Product Catalogue. Disponible en: <<http://www.kippzonen.com>>. Acceso: 1 mar. 2012.
- [9]. Levinson, R., H. Akbari, S. Konopacki, and S. Bretz. 2002. Inclusion of Cool Roofs in Nonresidential Title 24 Prescriptive Requirements. Paper LBNL-50451. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- [10]. Niachou, K., Livada, L., Santamouris, M., 2008. Experimental study of temperature and airflow distribution inside and urban street canyon during hot summer weather conditions.-Part I: Air and surface temperatures. *Building and Environment*, vol.43, pp.1383-1392.
- [11]. Norma ASTM E 1933-99^a, Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. American Society for Testing And Materials, 2006.
- [12]. Norma ASTM E-1980-11, Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. American Society For Testing And Materials, 2011.
- [13]. Norma ASTM D2244-11. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates, 2011.
- [14]. Sailor D., Fan H., 2007. Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities.

- Atmospheric Environment, vol.36, pp. 713–725.
- [15]. Santamouris M., Papanikolaou N., and Georgakis C., 1998. Square, Athens, Greece. Internal Report.Group Building Environmental Studies, Physics Department, University of Athens, Athens, Greece.
 - [16]. Scudo, G. y Ochoa, J.M., 2003. Spazi Verdi Urbani. La Vegetazione Come Strumento Di Progetto Per Il Comfort Ambientale Negli Spazi Abitati. Napoli: Sistemi Editoriali.
 - [17]. Simpson J., McPherson, E., 1997.The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. Energy and Buildings, vol. 25, pp.127-137.
 - [18]. The Portland Cement Association. Disponible en www.cement.org/tech/cct_concrete_prod.asp.